

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. Ширшова РАН
МГТУ им. Н.Э.Баумана**

ХIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ» (МСОИ-2013)

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том I

МОСКВА 2013

УДК 551.46.07

ББК 26.221

М 34

М 34 **Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013».** – М. : АПР, 2013. – ISBN 978-5-904761-35-6
Т. 1. – 2013 – 382 с.
ISBN 978-5-904761-36-3

В настоящем издании представлены доклады ученых-океанологов, инженеров, аспирантов и студентов, посвященных разработке и эксплуатации технических средств и методов исследования и освоения Мирового океана.

В томе I представлены методы гидрофизических исследований океана, измерительные приборы и комплексы, приборы и технологии ресурсных геолого-геофизических исследований в океане, доклады, посвященные проектированию и эксплуатации подводных аппаратов и роботов, созданию элементной базы подводных технических средств.

This publication presents the reports of scientists, oceanographers, engineers, and students dedicated to the creation and operation of technical means and methods of research and exploration of the oceans.

Volume I considered hydrophysical underwater instrumentation and systems, methods of sensing technology, geological and geophysical studies in the ocean resource, reports on the design and operation of underwater vehicles and robots, the element base of underwater technology.

УДК 551.46.07

ББК 26.221

Конференция проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 13-05-06005), Отделения наук о Земле РАН, МГТУ им.Н.Э.Баумана.

Авторы-составители: д.т.н. Римский-Корсаков Н.А., к.т.н. Зарецкий А.В.

Все доклады публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-904761-36-3 (т. 1)

ISBN 978-5-904761-35-6

© ИО РАН 2013

НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ «МСОИ-2013»

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. Лаверов Н.П. | академик, вице-президент РАН, председатель |
| 2. Нигматулин Р.И. | академик РАН, директор ИО РАН, сопредседатель |
| 3. Римский-Корсаков Н.А. | д.т.н., заместитель директора по морской технике ИО РАН, сопредседатель |
| 4. Смирнов Г.В. | академик РАН, зав. лабораторией ИО РАН, сопредседатель |
| 5. Жмур В.В. | д.ф.-м.н., нач. управления РФФИ, сопредседатель |
| 6. Зарецкий А.В. | к.т.н., вед.н.с., ИО РАН, ученый секретарь |
| 7. Сагалевиц А.М. | д.т.н., зав. лаб. ИО РАН, герой России |
| 8. Студенецкий А.С. | заведующий отделом Министерства образования и науки РФ |
| 9. Иванов В.А. | академик НАНУ, директор Морского гидрофизического института (Украина) |
| 10. Палазов Атанас | директор Института океанологии БАН (Болгария) |
| 11. Алексеев А.В. | чл.-корр. РАН, гл.н.с., ИО РАН |
| 12. Добролюбов С.А. | чл.-корр. РАН, зам декана географического факультета МГУ |
| 13. Нерсесов Б.А. | д.т.н., гл.н.с., ИО РАН |
| 14. Владимиров М.В. | д.г.-м.н., зам.нач. департамента МЧС РФ |
| 15. Корчагин Н.Н. | д.ф.-м.н., гл.н.с., ИО РАН |
| 16. Вязилов Е.Д. | д.т.н., зав. лаб. ЦОД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидромета |
| 17. Вельтищев В.В. | к.т.н., зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э.Баумана |
| 18. Суконкин С.Я. | к.т.н., директор ОКБ ОТ РАН |
| 19. Егоров А.В. | к.г.-м.н., зав. лабораторией нефтегазонасности ИО РАН |
| 20. Свиридов С.А. | зав. отделом инф. технологий ИО РАН |
| 21. Покрышкин А.А. | к.т.н., заместитель директора ИО РАН |
| 22. Куренков Г.И. | к.б.н., с.н.с. ИО РАН |

ОРГКОМИТЕТ «МСОИ-2013»

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. Римский-Корсаков Н.А. | председатель, д.т.н., зам. директора ИО РАН |
| 2. Смирнов Г.В. | сопредседатель, академик РАН, зав. лаб. ИО РАН |
| 3. Зарецкий А.В. | ученый секретарь, к.т.н., вед.н.с. ИО РАН |
| <i>Члены оргкомитета:</i> | |
| 4. Родионов А.А. | д.т.н., директор СПб филиала ИО РАН |
| 5. Чубаренко Б.В. | к.ф.-м.н, заместитель директора АО ИО РАН |
| 6. Метальников А.А. | ст.н.с, к.ф.-м.н. ИО РАН |
| 7. Смирнов А.В. | к.т.н., ученый секретарь НИИСМ МГТУ им. Н.Э.Баумана |
| 8. Панов В.А. | зам. директора ИО РАН |
| 9. Оленин А.Л. | к.т.н., вед. инженер ИО РАН |
| 10. Скалацкий О.Н. | к.т.н., помощник директора ЮО ИО РАН |
| 11. Карабашева Э.И. | научн.с. ИО РАН |
| 12. Белевитнев Я.И. | инженер ИО РАН |
| 13. Куликова Т.А. | секретарь конференции |

Координационная рабочая группа:

Науч. сотр. Тихонова Н.Ф., вед. инж. Водяная Е.Г., ст. инж. Ёлкина М.М., вед. инж. Соколов А.А., вед. инж. Молчанов Б.В., вед. инж. Марин В.М.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ! Городничкий А.М.	14
--	----

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДОКЛАДЫ

Творческий путь профессора В.С.Ястребова

(к 80-летию юбилею)

<i>Зарецкий А.В., Римский-Корсаков Н.А., Карабашева Э.И.</i>	17
---	----

Опыт применения глубоководных обитаемых аппаратов «Мир»

(к 25-летию создания)

<i>Сагалевиц А.М.</i>	22
----------------------------	----

К 90-летию отечественной гидроавтики: От «снаряда Эпрон»

до «Руси» и «Консула»

<i>Королев А.Б., Гагонин Д.А.</i>	41
--	----

I. ГИДРОФИЗИКА: ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ, МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ОКЕАНА

Технологическая платформа для разработки и натурных испытаний новых океанографических измерительных каналов

<i>Смирнов Г.В., Оленин А.Л., Аустов Е.А.</i>	47
--	----

Использование стеклянного Au-Hg микроэлектрода для профилирования донных отложений

<i>Орехова Н.А., Коновалов С.К.</i>	60
--	----

Использование высокоэффективной жидкостной хроматографии для определения полициклических ароматических углеводородов в воде и донных отложениях

<i>Халиков И.С., Пронин А.А.</i>	65
---------------------------------------	----

Лабораторные исследования возможности регистрации растворенных в воде веществ

<i>Аустов Е.А.</i>	69
-------------------------	----

Лазерный доплеровский измеритель скорости течения водных потоков

<i>Каминский Ю.Д., Серых В.Я.</i>	84
--	----

Применение данных дистанционного зондирования при исследовании осеннего дифференциального прибрежного выхолаживания в Юго-Восточной Балтике

<i>Есюкова Е. Е., Чубаренко И.П.</i>	89
---	----

Газобиогеохимические методы исследования придонной среды <i>Авилов В.И.</i>	93
Металлоносность вод и донных осадков северного Каспия как показатель субмаринной разгрузки флюидов из его недр <i>Амбросимов А.К., Голубов Б.Н.</i>	98
Сезонная изменчивость и аномалии температуры в Каспийском море <i>Амбросимов А.К.</i>	102
Гирлянда точечно-распределённых датчиков температуры (термокоса) <i>Катович А.А., Пака В.Т., Баранов В.И., Подуфалов А.П., Кондрашов А.А., Корж А.О.</i>	106
Датчик придонного течения ДПТ <i>Кондрашов А.А., Пака В.Т., Баранов В.И., Подуфалов А.П., Корж А.О.</i>	109
Гидроакустический размыкатель <i>Кондрашов А.А., Пака В.Т., Баранов В.И., Подуфалов А.П., Корж А.О.</i>	110
Новый вариант метода определения плотности морской воды с помощью дифференциальных датчиков давления <i>Федотов Г.А.</i>	112
Прецизионный параметрически инвариантный измеритель температуры ПИТ–1 <i>Гайский П.В.</i>	115
Термопрофилемеры с распределёнными датчиками <i>Гайский В.А., Гайский П.В.</i>	117
Результаты опытной эксплуатации <i>Гайский П.В., Забурдаев В.И., Клименко А.В.</i>	119
Оценка синоптической изменчивости гидрофизических параметров по результатам полигонных наблюдений <i>Гасников О.А.</i>	123
Подспутниковый гидрофизический полигон ИО РАН в Черном море <i>Зацетин А.Г., Островский А.Г., Баранов В.И., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кременецкий В.В., Кубряков А.А., Куклев С.Б., Куклева О.Н., Москаленко Л.В., Пака В.Т., Пиотух В.Б., Подымов О.И., Соловьев В.А., Соловьев Д.М., Станичный С.В.</i>	125

Технология развертывания автоматизированного мобильного аппаратно-программного комплекса вертикального зондирования морской среды со стационарных сооружений на морском шельфе <i>Островский А.Г., Швоев Д.А., Суконкин С.Я., Эмба Я.А.</i>	129
Ветровая динамика волнения на поверхности и на дне Вислинского залива <i>Якубов Ш.Х.</i>	133
Восстановление характеристик поверхностного волнения по данным измерения скорости течений в толще моря <i>Амбросимов А.К., Горбацкий В.В., Якубов Ш.Х.</i>	137
О влиянии испарения на возмущение термохалинной структуры и течений в водной толще Среднего Каспия <i>Амбросимов А.К., Панин Г.Н.</i>	141
Развитие времяимпульсного метода измерения скорости звука в воде <i>Греков А.Н.</i>	145
Акустический волнограф ИПВ <i>Греков А.Н.</i>	148
Специфика гидрофизических измерений в океане <i>Бабий В.И.</i>	152
Исследование водообмена, вызываемого дифференциальным прибрежным охлаждением в бассейне с наклонным дном: лабораторное и численное моделирование <i>Степанова Н.Б.</i>	156
Цифровая система пингерного контроля глубоководных приборов – тестирование в океане <i>Демидова Т.А., Носов А.В., Тихонова Н.Ф.</i>	158
Развитие аппаратуры для обслуживания пингеров <i>Носов А.В., Демидова Т.А., Тихонова Н.Ф., Юрицын В.В.</i>	162
Статистический анализ некоторых гидрометеорологических характеристик аномально теплой зимы в северо-восточной части Черного моря <i>Прокопов О.И.</i>	166
Измеритель уровня моря ИУМ-1 <i>Греков А.Н., Греков Н.А., Клименко А.В., Пеньков М.Н., Буланов И.А.</i>	170

Натурные испытания измерителей вектора скорости течения морского и речного назначения <i>Греков А.Н., Греков Н.А.</i>	173
Сравнение различных датчиков кислорода при работе в редокс зоне Черного моря <i>Стунжас П.А., Мошаров В.Е., Радченко В.Н.</i>	176
Разработка методики концентрирования молибдена и вольфрама для определения методом ИСП-МС в океанской воде <i>Римская-Корсакова М.Н., Бережная Е.Д., Дубинин А.В.</i>	180
Определение низких концентраций кислорода методом Винклера <i>Якушев Е.В., Виноградова Е.Л., Дубинин А.В., Костылева А.В., Меньшикова Н.М., Пахомова С.В.</i>	182
Лабораторное моделирование пресных взвесенесущих потоков в солёной воде <i>Петрига А.А., Зацепин А.Г., Низов С.С.</i>	186
Распределение сроков начала и длительности замкнутых гидрологических циклов в прибрежных водах по данным многолетних наблюдений <i>Прокопов О.И.</i>	190
Абсорбционный спектральный анализ морской взвеси при экологическом мониторинге <i>Коновалов Б.В., Грабовский А.Б.</i>	193
Дистанционные измерения ветрового волнения навигационными локаторами ФУРУНО-М1715 И «РЕКА» (НПФ МИКРАН) <i>Ивонин Д.В., Телегин В.А., Мысленков С.А., Азаров А.И., Куклев С.Б., Чернышов П.В.</i>	195
Перспективный спутниковый и самолетный интерферометрический РСА для измерения вектора скорости поверхностных океанских течений <i>Переслегин С.В., Ивонин Д.В.</i>	198

II. ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ РЕСУРНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОКЕАНЕ

Проблемы и перспективы создания глобальной сейсмологической сети <i>Левченко Д.Г., Лобковский Л.И., Римский-Корсаков Н.А.</i>	201
--	-----

Экспериментальное исследование скоростей звуковых волн в донных отложениях <i>Лужецкий В.Г.</i>	212
Синхронная гидролокационная и видео съемка при геоморфологическом картировании дна водных объектов <i>Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Белевитнев Я.И., Коротаев В.Н., Иванов В.В.</i>	216
Аэрогравиметрические съемки ИФЗ РАН в Арктике <i>Конешов В.Н., Абрамов Д.В., Клевцов В.В., Макушин А.В.</i>	220
30 лет исследований природы течений в океанах, морях и озерах <i>Щевьёв В. А.</i>	223
Луна и Солнце – двигатели крупномасштабных циркуляций в океанах, морях и в крупных озерах <i>Щевьёв В. А.</i>	226
О некоторых неверных интерпретациях измерений течений Мирового океана <i>Бондаренко А.Л.</i>	230
Фундаментальные проблемы моделирования динамики внутренних волн в океане с переменными и нестационарными параметрами <i>Булатов В.В., Владимиров Ю.В.</i>	234
Устьевые осадочные системы <i>Коротаев В.Н., Римский-Корсаков Н.А.</i>	238
Гидролокационные и сейсмоакустические исследования нижнего Дона и его дельты <i>Иванов В.В., Коротаев В.Н., Пронин А.А.</i>	245
Применение акустического доплеровского профилографа течений ADCP в Каспийском море <i>Амбросимов А.К., Либина Н.В., Корж А.О., Баранов В.И.</i>	249
Возможности оптимизации гидрофизических исследований <i>Либина Н.В., Никитин Г.А.</i>	253
Приборы и оборудование для обследования морских и речных трубопроводов <i>Бриллиантов А.Н., Глотко А.В.</i>	257

Применение широкополосного зондирующего сигнала с линейной частотной модуляцией в параметрическом эхолоте-профилографе <i>Каевицер В.И., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В.</i>	260
Гидролокация дна в 39 рейсе НИС «РИФТ» <i>Белевитнев Я.И., Лискин В.А., Пронин А.А.</i>	264
Повышение распознаваемости мелких техногенных целей при их поиске с помощью гидролокатора бокового обзора <i>Белевитнев Я.И., Пронин А.А.</i>	269
Новый алгоритм 3d-моделирования геологического строения подповерхностных отложений морских акваторий <i>Черников Г.А., Либина Н.В.</i>	272
Импульсный низкочастотный электротермоакустический излучатель с большой апертурой для морской сейсморазведки <i>Дегтярев В.П., Тарасов С.П.</i>	277
Низкочастотные переменные электрические поля в придонном слое: их происхождение и методы измерения <i>Пальшин Н.А., Егоров И.В.</i>	281
Методы исследования тепловых эффектов при формировании и разложении газовых гидратов в глубоководных условиях <i>Егоров А.В., Рожков А.Н., Черняев Е.С.</i>	285
Оценки химического обмена между донными осадками и морской водой (метод иловых вод, боксовые эксперименты, лендеры) <i>Розанов А.Г., Егоров А.В.</i>	288
Использование высокоразрешающего сейсмоакустического и геолого-геофизического комплексов для изучения проблем газовыделения со дна морей Восточной Арктики <i>Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Мелузов А.А., Мutowкин А.Д., Росляков А.Г.</i>	292

III. ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТЫ, ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Приоритеты подводной робототехники <i>Наумов Л.А., Матвиенко Ю.В., Киселев Л.В.</i>	296
--	-----

Перспективные водолазные технологии с неограниченной глубиной погружения и освоение минеральных ресурсов Мирового океана <i>Стрельцов А.А.</i>	297
О содержании курса «Подводная робототехника» <i>Алексеев Ю.К.</i>	299
Возможности он-лайн идентификации параметров подводного аппарата для построения систем управления на базе инверсной модели <i>Блинцов С.В., Надточий В.А.</i>	305
Моделирующий комплекс для исследования динамики движения привязной подводной системы с самоходным аппаратом и манипулятором <i>Блинцов А.В., Надточий В.А.</i>	309
Мобильный робототехнический комплекс мониторинга подводных объектов <i>Вельтищев В.В., Сарвира Д.В., Малов М.А., Антоненко С.Л., Космачев П.В.</i>	313
Критерии сравнения характеристик подводных аппаратов с точки зрения возможности выполнения ими подводных работ <i>Краморенко А.В., Скакун А.Н.</i>	316
Построение схемы противоминных действий для группы автономных необитаемых подводных аппаратов <i>Крючков Р.С., Егоров С.А.</i>	319
К вопросу определения дальности хода автономного необитаемого подводного аппарата <i>Костенко В.В.</i>	322
О преимуществах использования в гидролокации в качестве зондирующих сигналов сверхширокополосных сигналов <i>Демидов А.И., Залогин Н.Н., Комочков Р.Ш., Скняря А.В., Тоцов С.А.</i>	326
Этапы и технологии создания малогабаритных ТПА <i>Артамонова А.В.</i>	330
Проблемы проектирования подводных лазерных дальномеров <i>Северов С.П., Ковалевич Д.А.</i>	333
Визуализация управляемого движения подводного робота <i>Козинов А.В., Северов С.П.</i>	338

Структурная оптимизация волновых гидроглайдеров <i>Северов С.П., Радченко А.А.</i>	344
Системы контроля и управления литий-ионных аккумуляторных батарей для автономных и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов <i>Мещерякова Р.И.</i>	348
Опыт использования акустического профилографа для мониторинга морского дна <i>Касаткин Б.А., Косарев Г.В.</i>	352
Вопросы проектирования малогабаритных ТПА <i>Артамонова А.В., Капцов А.С., Розман Б.Я.</i>	356
Информационно-управляющая система телеуправляемого подводного аппарата <i>Капцов А.С., Артамонова А.В., Елкина М.М.</i>	359
Подводная телеуправляемая научно-исследовательская платформа с сетевой архитектурой для оперативного мониторинга гидросферы <i>Елкин А.В., Розман Б.Я., Шерстов Е.А.</i>	363
Комбинированные гидроакустические приборы подводных аппаратов <i>Колосов К.В.</i>	369
Усовершенствование информационно-управляющей системы телеуправляемого подводного аппарата рабочего класса <i>Молчанов А.В., Куценко А.С., Егоров С.А., Сарвира Д.В., Вельтищев В.В., Медвецкая У.В., Крючков Р.С., Плясунов В.М.</i>	372
Система видеопозиционирования подводного аппарата, использующая маркеры специального вида <i>Плясунов В.М., Кротонов А.Н., Макашов А.А.</i>	375
Авторский указатель	379

ПОЗДРАВЛЕНИЯ ЮБИЛЯРАМ



Городницкий Александр Моисеевич

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ!

Геофизик, доктор геолого-минералогических наук (1982), профессор (1991), академик Российской академии естественных наук (1992), заслуженный деятель науки Российской Федерации (2005), главный научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, автор более 250 научных работ, посвященных геофизике и тектонике океанского дна. Родился в Ленинграде 20.03.1933. Пережил блокаду.

В 1957 г. окончил геофизический факультет Ленинградского горного института. В 1957–1972 гг. работал в Научно-исследовательском институте геологии Арктики. Был одним из первооткрывателей Игарского меднорудного поля (1962). С 1972 г. работает в Институте океанологии им. П. П. Ширшова РАН. С 1962 г. принимал участие в океанологических экспедициях в различные районы Мирового океана на судах РАН и военной гидрографии. Многократно погружался в подводных обитаемых аппаратах. Был на Северном полюсе и в Антарктиде. Является одним из авторов нового метода измерений электрического поля океана (1966) и первооткрывателем биоэлектрического эффекта фитопланктона в море (1968).

А. М. Городницкий – один из ведущих российских ученых в области геологии и геофизики океана. Им впервые рассчитана карта мощности океанической литосферы (1977), предложена оригинальная модель формирования вулканических подводных гор в океане (1978), предложена и обоснована новая петромагнитная модель океанической литосферы (1987), составлена серия палеомагнитных реконструкций океанов и континентов в фанерозое (1977).

Широко известен также как поэт, автор песен и писатель. Автор 42 книг стихов, песен и мемуарной прозы, и нескольких десятков дисков с авторскими песнями. Один из основоположников жанра авторской песни. Член союза писателей России (1972) и Международного Пен-клуба (1998). Лауреат Царскосельской художественной премии (1998, 2012) и Национальной общественной премии «Благодарность» (2005). Первый лауреат Государственной премии имени Булата Окуджавы (1999). Стихи и песни А.М. Городницкого переведены на языки многих народов мира, включены в школьные программы. Его творчеству посвящены многочисленные статьи, монографии, кандидатские и докторские диссертации. Решением Российской академии наук от 04.05.1999 г. в честь А. М. Городницкого названа малая планета Солнечной системы под № 5988. Его именем назван также горный перевал на Восточном Саяне.

Имеет государственные и общественные награды.

Вы коллега и ученый,
И профессор, спору нет...
Между нами нареченный
Скромным прозвищем «Поэт».

Снег кружит, не перестанет...
Куртки брошены в углу...
И не смогут Галя с Таней
Стать женой тому послу!

Хватит пусть питья и хлеба!
Жизни пусть течет река!
Пусть Атланты держат небо
Вам на каменных руках!

ОРГКОМИТЕТ МСОИ-2013

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДОКЛАДЫ

ТВОРЧЕСКИЙ ПУТЬ ПРОФЕССОРА В.С.ЯСТРЕБОВА (к 80-летию юбилею)

Зарецкий А.В., Римский-Корсаков Н.А., Карабашева Э.И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва
8 (499)124-5987, zaretsky@ocean.ru*

80th anniversary of Prof. V.S.Yastrebov

ВЯЧЕСЛАВ СЕМЕНОВИЧ ЯСТРЕБОВ (1932–2005 гг.). Доктор технических наук (1973), профессор (1979), действительный член РАЕН (1991), Заслуженный деятель науки и техники, с 1987 по 1992 г. – директор Института океанологии.



Вся творческая научная деятельность В.С. Ястребова была связана с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН. За годы работы в Институте он прошел путь от младшего научного сотрудника до ведущего специалиста в области методов и технических средств подводных океанологических исследований.

Родился в 1932 г. селе Тощое Сорочинского Оренбургской области в семье врачей. В 1939 году Вячеслав Семёнович поступил в школу в Самаре, которую окончил в 1949 г. В том же, 1949 г., он студент Московского института химического машиностроения. После окончания института в 1954 г. работает в СКБ при Московском насосном заводе им. М.И.Калинина на должности инженера-конструктора.

В 1956 г. круто меняется его рабочая биография – он переходит в Институт океанологии на должность младшего научного сотрудника Лаборатории морской электроники. После защиты кандидатской диссертации в 1964 г. он возглавил Лабораторию техники подводных исследований, где под его руководством и при непосредственном участии была создана и в течение десяти лет успешно эксплуатировалась на шельфе СССР и Болгарии подводная база-лаборатория «Черномор», которая положила начало развитию нового научного направления – методам и технике гипербарических исследований.

В 1973 г. им защищена диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. В 1975 г. В.С.Ястребов стал заместителем директора института и возглавил физико-техническое направление. В 1979 г. за педагогическую деятельность ему присвоено ученое звание профессора. В 1987 г. был утвержден (избран) директором Института и занимал эту должность до 1992 г.

К важнейшим научным достижениям В.С. Ястребова следует отнести создание научных основ теории многосистемных автоматизированных глубоководных аппаратов. Под его руководством была создана и внедрена в практику океанологических исследований серия таких аппаратов. Применение буксируемых аппаратурных комплексов позволило впервые длительно наблюдать поверхность дна, изучать его микрорельеф, получать комплексную информацию в виде фотоснимков, сонограмм и видеозаписей высокого разрешения.

Под руководством и при непосредственном участии В.С. Ястребова успешное развитие получила техника и методика глубоководных водолазных погружений. Осуществлены первые погружения водолазов с целью проведения геологических исследований на глубинах до 200 м в условиях открытого океана. Внедрению водолазного метода в океанологические исследования на НИС «Витязь» предшествовала большая серия исследований на береговом гипербарическом комплексе. В 1986 г. проведен уникальный эксперимент, который не имеет аналогов в мировой практике и свидетельствует о возможности работы человека при плотности неонов-кислородной дыхательной смеси, соответствующей глубине 2000 м.

В.С. Ястребовым разработан и многократно опробован в экспедициях института метод комплексного применения подводно-технических средств в изучении океана, позволивший по-новому вести исследования и получать уникальные научные результаты в важнейших разделах океанологии. Применение метода позволило поднять океанологические исследования на качественно новый уровень, обеспечивший высокую разрешающую способность при изучении придонных объектов на больших глубинах, сопоставимых по детальности с аналогичными исследованиями на суше.

При непосредственном участии В.С. Ястребова проведены десятки экспедиционных исследований в океане с использованием обитаемых подводных аппаратов, которые привели к новым представлениям о рельефе и строении дна Мирового океана в тектонически активных районах. Исследования Красноморского рифта принесли прямые свидетельства образования новой океанической коры. Изучение подводных гор позволило обосновать тектоническую модель эволюции дна Тирренского моря и предложить новую геодинамическую модель формирования покровно-надвиговых структур коры как результат их перемещения по механически ослабленному серпентинитовому слою.

В.С. Ястребов выдвинул, обосновал и развил новое научное направление — придонную океанологию. Под его руководством и при непосредственном участии развиты работы по созданию моделей придонных высокоэнергетических слоев океана и созданы научные основы для разработки принципиально новой аппаратуры для всесторонних исследований этих важных явлений. Эти работы представляют собой комплекс физических, геологических и технических исследований, привлечших широкое внимание отечественных и зарубежных специалистов.

В последние годы жизни В.С. Ястребов уделял большое внимание идеологическим основам создания подводных интеллектуальным робототехнических комплексов, рассматривая их как класс сложных систем. Он отстаивал позицию, в которой синергетический подход является наиболее плодотворным в изучении и создании подобных сложных многомерных самоорганизующихся систем. Он излагал идеи и подходы к формированию интеллекта подводного робота на основании первичной, базовой («генной») инженерии и последующего обучения путем активного общения робота со средой обитания. К сожалению, он не успел донести эти идеи до широкой научной общественности.

В.С. Ястребов является автором свыше 200 научных публикаций, из них двенадцать монографий, посвященных широкому кругу вопросов методов и техники исследования в океане.

В.С. Ястребов является инициатором и первым организатором Всесоюзных совещаний и школ, посвященных техническим средствам и методам изучения океана и подводным робототехническим системам, начиная с середины 1970-х годов. Всесоюзные совещания и школы проводились традиционно в течение 15 лет в г. Геленджике на базе Южного отделения Института океанологии и собирали порой до 1.5 тыс. участников.



Всесоюзная школа, г. Геленджик, 1987 г.



Всесоюзная школа, г. Геленджик, 1987 г.

В.С. Ястребов был постоянным членом редколлегии журнала «Океанология».

Под руководством В.С. Ястребова свыше тридцати соискателей защитили кандидатские диссертации. Многие из его учеников заведуют лабораториями в ИО РАН, занимают руководящие посты в других организациях страны. Он вел активную преподавательскую деятельность, являясь профессором в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В.С. Ястребов много сделал для развития научных связей и роста авторитета Института океанологии в международном научном содружестве (США, Франция, Индия, Сирия и др.).

Признанием научных заслуг В.С. Ястребова явилось избрание его в 1991 г. действительным членом и академиком-секретарем Отделения «Безопасности в экстремальных ситуациях» Российской академии естественных наук.



Сотрудники и гости Лаборатории телеуправляемых аппаратов и роботов в день ее 25-ти летия

Фактически более чем за 40 лет руководства техническим направлением Института океанологии В.С. Ястребов создал школу подводной технической океанологии, собравшую многих талантливых учёных и инженеров.

Фотоальбом, подготовленный к 20-летию Отдела техники глубоководных исследований (1987 г.), можно посмотреть на сайте МСОИ-2013 по адресу <http://msoi.ocean.ru/fotogalereya/20.html>.

За свою научную, научно-организационную и общественную деятельность В.С. Ястребов награжден Орденом «Трудового Красного Знамени» (1978 г.) медалями «За трудовую доблесть» (1975 г.), «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина» (1970 г.), «300 лет Российскому флоту» (1996 г.), Золотой медалью ВДНХ СССР (1982 г.) и др., имеет звания «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР» и «Почетный разведчик недр».

С творческой деятельностью и жизненным путем Вячеслава Семёновича можно ознакомиться по фотографиям, размещенным на сайте МСОИ-2013 по адресу <http://msoi.ocean.ru/fotogalereya.html>.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ОБИТАЕМЫХ АППАРАТОВ «МИР» (к 25-летию создания)

Сагалеви́ч А.М.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН)
Нахимовский проспект, 36, 117997, Москва,
+7(499) 124 79 94; e-mail: sagalev1@yandex.ru*

Brief historical survey of the development of deep manned submersibles with operating depth more than 6000 m are considered in the paper. Bright experience of the «Mir-1» and «Mir-2» submersibles use during 25 years for scientific research of the ocean, for the solving of important governmental tasks on sunken nuclear submarines «Komsomolets» and «Kursk»; for the shooting of the professional movies; for the conducting of unique operations like the dives under the ice on the North Pole and other operations are described.

История создания глубоководных обитаемых аппаратов насчитывает более 60 лет. На первом этапе людьми руководило стремление достижения максимальных глубин как с целью установления рекордов глубины, так и с целью проведения биологических наблюдений, которые позволили бы установить границы существования жизни в океане, поскольку существовала теория о том, что жизни на больших глубинах океана нет. В 30-е годы прошлого века глубины 923 м достиг Вильям Биб, погружаясь в батисфере на тросе. Следующим этапом в непосредственном покорении глубин человеком было изобретение Огюстом Пикаром батискафа. Первое погружение О.Пикара и Т.Моно в батискафе «FNRS-2» 3 ноября 1948 г. на глубину 1515 м считается датой рождения глубоководных обитаемых аппаратов – автономных и свободно перемещающихся в водной толще. Особенностью конструкции батискафа являлось то, что в качестве плавучего материала использовалась легкая жидкость – бензин, который по мере погружения замещался водой. Бензин в количестве 200 тонн закачивался перед погружением в громадный поплавков длиной около 20 м; поэтому конструкция батискафа была довольно громоздкой, что ограничивало его маневренность. По окончании работ на дне всплытие батискафа обеспечивалось путем сбрасывания нескольких тонн стальной дробы, удерживаемой в громадных бункерах электромагнитами. Максимальная глубина погружения 10916 м была

достигнута 23 января 1960 г. батискафом «Триест», пилотируемом Жаком Пикаром и Доном Волшем при погружении в Марианскую впадину. Этот рекорд продержался 52 года и был побит 26 марта 2012 г. Дж. Камероном, погрузившимся также в Марианскую впадину на глубину 11034 м на одноместном аппарате «ДипСи Челленджер», который представляет собой ГОА нового поколения, конструкция которого базируется на твердом глубоководном плавучем материале синтактик. Начало созданию аппаратов такого типа, но рассчитанных на значительно меньшие глубины было положено в начале 60-х годов прошлого века. Оно было инициировано гибелью американской атомной подводной лодки «Трешер», затонувшей в 1963 г. на глубине 2800 м. Тогда стало очевидным, что кроме громоздкого «Триеста» нет ни одного технического средства, способного погрузиться на эту глубину и установить причины гибели лодки. Поэтому в 60-е годы наблюдается бурное развитие создания малогабаритных и легких обитаемых аппаратов, базирующихся на уже изобретенном к тому времени синтактике. Однако, рабочая глубина этих аппаратов ограничивалась 2000 м, что было обусловлено возможностями синтактика. Дальнейшее развитие глубоководных технологий позволило в 80-е годы прошлого века создать 5 ГОА с рабочей глубиной 6000 м (табл. 1). Толчком к созданию этих аппаратов было две причины: открытие гидротермальных полей на дне океана (1977 г.) и соревнование двух противостоящих друг другу систем, которые не хотели уступить друг другу в части развития престижных новейших технологий двойного назначения.

В конце 90-х годов «Си Клифф», находившийся в распоряжении ВМФ США, был выведен из эксплуатации, а остальные 4 аппарата до настоящего времени активно используются для проведения научных исследований океана, решения подводно-технических задач, образовательных и других целей.

В 2002 году началось создание ГОА на рабочую глубину 7000 м в Китае, которое закончилось в 2012 г. проведением глубоководных испытаний на глубину 7062 м. В первой декаде XXI века были проведены глубоководные испытания российских шеститысячников «Русь» и «Консул» (6240 м), находящихся в ведении ВМФ РФ. Строительство этих аппаратов было начато еще в 80-е годы Министерством геологии СССР и продолжалось около четверти века. Начиная с 2002 г. в США производится строительство нового ГОА «Алвин-2», предназначенного для погружения на глубину 6500 м. Столь длительный срок создания аппарата связан с переборами в финансировании. Лишь в 2012 г. была изготовлена и испытана прочная сфера аппарата. В настоящее время

производится сборка аппарата. Океанические испытания ГОА «Алвин-2» намечены на июнь 2013 г.

В последние годы возродилась идея проведения погружений на максимальную глубину океана – в Марианскую впадину. Помимо упомянувшегося уже аппарата «ДипСи Челленджер», Грэмом Хауксом построен также одноместный аппарат «Дип Флай», с которым однако возникли проблемы при проведении первых пробных погружений. Прочный корпус этого аппарата изготовлен из трех различных материалов: углепластика, титана и стекла. Очевидно, разная степень сжатия этих материалов под давлением привела к разрушениям в контактах между деталями из разнородных материалов. Владельцы и конструктор аппарата решают его дальнейшую судьбу.

Таблица 1. ГОА на глубины более 6000 м, построенные в последние 30 лет

№	Название ГОА	Страна	Глубина, м	Экипаж, чел.	Год постройки	Год вывода из эксплуатации	Площадь океанского дна, которую можно исследовать, %
1	Нотиль	Франция	6000	3	1986		98
2	Си Клифф	США	6000	3	1986	1998	98
3	Шинкай 6,5	Япония	6500	3	1989		98,3
4	Мир-1	Россия	6000	3	1987		98
5	Мир-2	Россия	6000	3	1987		98
6	Консул	Россия	6000	3	2009		98
7	Русь	Россия	6000	3	2006		98
8	Яолонг	Китай	7000	3	2012		98,5
9	Алвин-2*	США	6500	3	2013		98,3
10	ДипСи Челленджер	США	11000	1	2012		100
11	Дип Флай*	США	11000	1	-		100
	* – в процессе создания						

В прессе была информация о создании обитаемого аппарата «Тритон» со стеклянной сферой, рассчитанного на погружение трех человек на предельную глубину океана. Прямые контакты автора этой статьи с президентом фирмы показали, что создание этого аппарата является лишь идеей.

Данные таблицы 1 объясняют, почему при создании аппаратов в 80-е годы рабочая глубина 6000 м являлась базовой. Шеститысячникам доступно 98% площади океана, лишь 2% глубоководных желобов и впадин, главным образом, в зонах субдукции северо-западной части Тихого океана не могут быть исследованы с помощью этих аппаратов.

В 1994 г. Американский Центр развития технологий провел анализ конструкций созданных к тому времени ГОА и сделал заключение о том, что аппараты «Мир-1» и «Мир-2» являются наиболее совершенными из всех аналогичных технических средств, когда-либо создававшихся (рис. 1). Такое признание подтверждено многолетней эксплуатацией аппаратов «Мир», которыми за прошедшие с момента их создания 25 лет, решался такой широкий круг задач в глубоком океане, какой не решал ни один ГОА в мире. Аппараты «Мир» создавались для проведения научных исследований океана, однако резкие изменения в политической и экономической жизни нашей страны в 90-е годы прошлого столетия обусловили применение их для решения широкого круга задач, включая и съемки глубоководных фильмов, и погружения с пассажирами, и проведение археологических исследований на больших глубинах и т. д. Такой подход позволил сохранить аппараты «Мир» в самые сложные для страны годы, а также решать задачи большой государственной значимости на затонувших атомных лодках «Комсомолец» и «Курск».

Рассмотрим основные направления научных исследований и водоно-технических работ, проводившихся с помощью ГОА «Мир».

1. Исследования гидротермальных полей

Одной из важнейших проблем нашего времени является изучение гидротермальных полей на дне океана. В настоящее время известно более 100 районов в Мировом океане, в которых происходят активные гидротермальные процессы (рис. 2). В этих районах глубинное вещество под большим давлением по каналам в земной коре выносится на поверхность дна через небольшие отверстия, заканчивающиеся трубами разного диаметра и разной высоты. Температура в жерле этих труб в различных районах океана лежит в пределах $+100^{\circ}\dots+380^{\circ}\text{C}$ (рис. 3). Высокотемпературная глубинная масса при выносе в придонные слои океана охлаждается и оседает на дно, создавая при этом гидротермальные постройки до десятков метров высотой и до 200–300 м в диаметре. Эти постройки сложены сульфидными полиметаллическими рудами с высокой концентрацией различных металлов, в том числе и редких. Так на дне океана происходит естественное образование полиметаллических массивов.

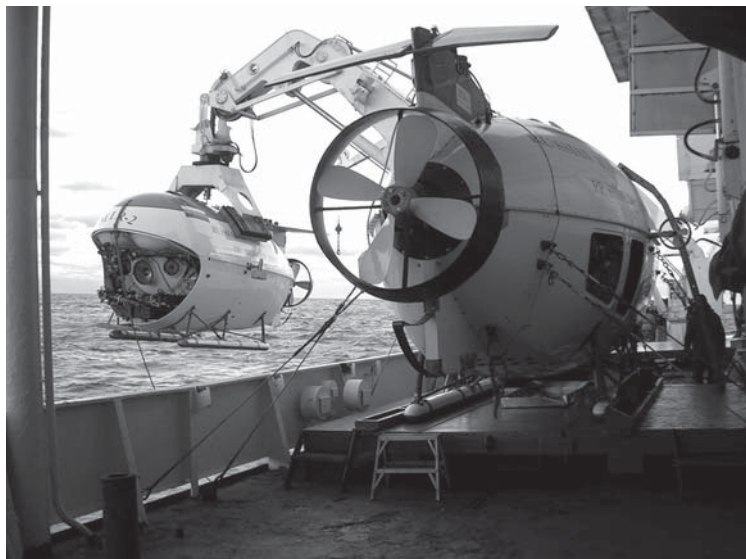


Рис. 1. Глубоководные обитаемые аппараты «Мир-1» и «Мир-2»

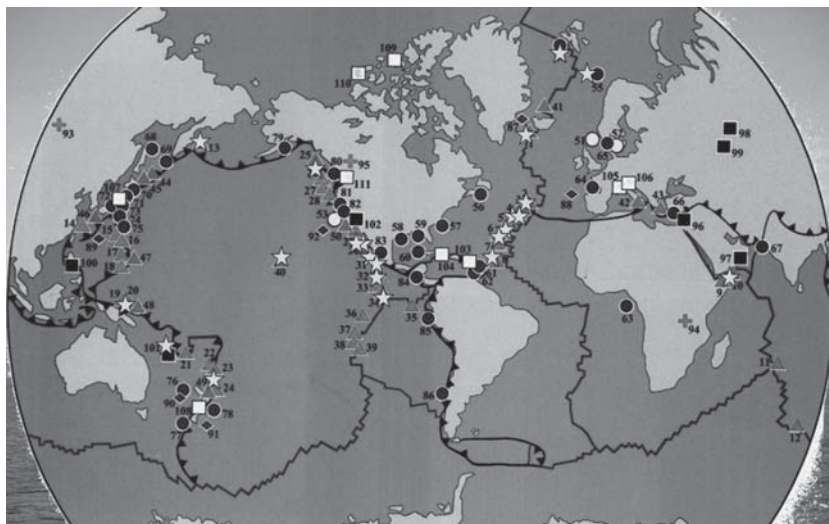


Рис. 2. Карта распределения гидротермальных полей на дне Мирового океана (звездочками обозначены районы работ с ГОА «Мир»)



Рис. 3. Черные курильщики на гидротермальном поле Рэйнбоу

Другое замечательное явление, наблюдаемое в гидротермальных районах, это рождение органического вещества на дне океана при полном отсутствии солнечного света. Вокруг гидротерм обитают необычные сообщества животных, рождающихся в результате окислительно-восстановительных реакций, протекающих при участии бактерий, главным образом серных. Это явление получило название «хемосинтез», или «хемобиос», в отличие от фотосинтеза, использующего солнечную энергию. И открытие гидротермальных полей в океане, и дальнейшее их изучение осуществлялось с применением ГОА.

Исследованиям гидротермали в 20 активных районах Атлантического и Тихого океанов были посвящены 22 экспедиции с аппаратами «Мир».

Сразу после приемочных испытаний аппаратов «Мир», в начале 1988 г., была организована экспедиция в гидротермальный район ТАГ – 26° с. ш. Срединно-Атлантического хребта. Это одна из самых глубоководных гидротермалей, находящаяся на глубине 3600 м. По предварительной оценке, запасы сульфидных руд на одной из подводных гор в районе ТАГ, названной по имени аппарата «Мир», составляют около 10 млн т.

Исследования с аппаратов «Мир», проведенные в феврале 1995 г. в районе 14°45' с.ш. Срединно-Атлантического хребта, показали, что в поднятых образцах содержится до 25% меди, в других – до 30% цинка, а также высокий процент железа, марганца, кобальта, золота, серебра и других металлов. В этом районе со дна были подняты образцы ультраосновных пород – серпентинитов, что дало возможность предположить, что в данном районе имеет место процесс глубинной гидротермальной циркуляции, что гидротермальный флюид, выходящий на поверхность дна, формируется на границе глубинных слоев океанической коры и верхней мантии. Приоритет открытия этого явления российскими учеными несомненен, ибо это гидротермальное поле, названное полем Логачева, открыто российскими учеными. Зарубежные коллеги называют этот район «русской точкой».

В Тихом океане аппараты «Мир» посетили девять гидротермальных районов. Эти работы проводились во время 21-го и 22-го рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш». Степень детальности исследований в различных районах зависела в основном от имеющегося времени для проведения работ в том или ином районе. Одним из главных приоритетов аппаратов «Мир» в Тихом океане являются исследования гидротермальных излияний на подводном вулкане Пийпа, открытые российскими учеными Института вулканологии ДВНЦ РАН в 1989 г. Погружения аппаратов «Мир» состоялись в июле 1990 г. Ученые Института океанологии и Института вулканологии увидели из иллюминаторов аппаратов «Мир» гидротермальные излияния, отличающиеся от наблюдавшихся ранее в других районах Атлантического и Тихого океанов. Вместо мощных темных труб, из которых валит черный дым, на вулкане Пийпа были обнаружены небольшие белые трубы высотой до 1,5 м, из которых под большим давлением выходит белое вещество (рис. 4). Это очень напоминает газовую горелку, используемую для сварки. В диаметре нескольких метров вокруг такого «белого курильщика» поверхность дна покрыта коркой белого вещества, фауна на этом участке дна отсутствует. Как показали анализы поднятых образцов, здесь преобладают сульфаты кальция и бария.

Анализ отобранных из источников газовых проб показал высокое содержание метана (до 81 %). Наличие метана объясняет найденное в этом районе поселение гигантских двухстворчатых моллюсков калиптоген – самое северное из открытых в настоящее время. Кроме того, в этом районе обнаружены обширные площади дна, покрытые бактериальными матами: местами более 100 м². Это говорит о высокой гидротермальной активности района вулкана Пийпа, которая, по-видимому,

находится в начальной стадии своего развития и требует дальнейшего более детального изучения.

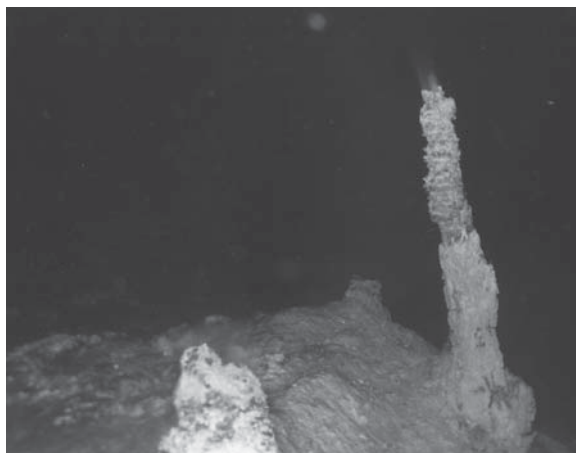


Рис. 4. Выход флюида из сульфидной трубы на подводном вулкане Пийпа

Наиболее глубоководное гидротермальное поле из известных в настоящее время наблюдалось из аппарата «Мир-1» в районе подводного вулкана Лоихи к югу от Гавайских островов. В этом погружении экипаж в составе: Анатолий Сагалевич (командир), Терри Керби и Александр Малахов (оба – Гавайский Университет) наблюдали на глубине 5000 м массу небольших сульфидных трубок высотой 15–30 см с желтым веществом наверху (очевидно бактериальными матами). Поверхность вокруг этих трубок была покрыта черным налетом: как будто обуглена. К сожалению, активных гидротерм найдено не было ввиду недостатка времени для проведения более детальных и продолжительных исследований. Это гидротермальное поле, очевидно, будет исследовано в ближайшем будущем, но первые визуальные наблюдения здесь были проведены с аппаратов «Мир».

Собранные «МИРами» в гидротермальных районах обширные биологические коллекции позволили приступить к всестороннему изучению глубоководных биологических сообществ, занимающих небольшие площади дна, но характеризующихся очень высокими плотностями биомассы. Потребляемая ими первичная продукция базируется на энергии окисления восстановленных соединений серы и углерода (серово-

дорода, метана, углеводов), а не на энергии Солнца. Эти исследования привели и к описанию новых для науки таксонов – семейств, родов и видов. Известно, что в 9 гидротермальных районах Северной Атлантики одной из ландшафтоопределяющих форм являются креветки, их здесь обитает 9 видов, относимых к 5 родам и 2 семействам, из них 2 вида (*Iorania concordia*, *Mirocaris keldyshi*), 2 рода (*Iorania*, *Mirocaris*) и 1 семейство (*Mirocarididae*) собраны и описаны сотрудником Института океанологии А.Л. Верещакой, увековечившим названия Института (ИО РАН), глубоководных обитаемых аппаратов «МИР» и их судна-носителя («Академик Мстислав Келдыш») в латинских названиях каридных креветок. С.В. Галкин в соавторстве с Е. Саусворд (Англия) описал *Arcovestia ivanovi* – новый вид, род и семейство (*Arcovestiidae*) подкласса вестиментифер в типе погонофор из гидротермала бассейна Манус в западной Пацифике. Е.М. Крылова и Л.И. Москалев описали новый вид везикомиидного двустворчатого моллюска *Ectenagena extenta*, добытого в заливе Монтерей на глубине более 3000 м на небольшом поле холодного сероводородного высачивания.

Подобных примеров можно привести много. Они говорят о том, что за первое десятилетие работы «Миров» школу на них прошли не только пилоты и бортинженеры, но и ученые-наблюдатели, приобретшие опыт визуальных наблюдений, соединив которые со знанием научной литературы и пониманием проблем современной глубоководной биологии и геологии, могут решать сложнейшие задачи. Собраны уникальные коллекции геологических образцов и биологических объектов, подводных фотографий и видеозаписей. Все это составляет золотой фонд российской океанологии.

2. Работы на АПЛ «Комсомолец» и «Курск»

7 апреля 1989 г. в Норвежском море произошла авария с атомной подводной лодкой «Комсомолец», которая вследствие пожара, возникшего внутри седьмого отсека, затонула на глубине 1700 м. НИС «Академик Мстислав Келдыш» с двумя ГОА «Мир» на борту следовал в это время в гидротермальный район ТАГ для проведения научных исследований. По приказу Президента АН СССР академика Г.И. Марчука судно изменило маршрут и направилось в район гибели лодки «Комсомолец». Наше судно было первым, которое пришло в этот район с целью осмотра места происшествия и проведения исследований. В этой экспедиции было совершено 3 погружения ГОА «Мир-1» и «Мир-2», во время которых был произведен осмотр затонувшей лодки, произведены радиационные измерения, отобраны пробы воды и грунта, сделаны детальные

видеозаписи и фотографии лежащей на дне лодки «Комсомолец». В период 1991–2007 гг. проведено еще семь экспедиций в этот район, во время которых был выполнен обширный комплекс океанологических исследований.

Для проведения научных исследований применялся большой арсенал технических средств, опускаемых с борта судна на тросах и кабелях, а также донные и притопленные буйковые станции для проведения измерений и сбора осадочного материала. Наиболее тонкие операции по измерению радиоактивности в различных местах лодки, по отбору проб воды и взвеси изнутри лодки и в районах наиболее вероятного выхода радионуклидов из нее, по отбору проб грунта в непосредственной близости от корпуса лодки, по установке автономных приборов внутри корпуса лодки и вблизи его выполнялись пилотами ГОА «Мир». В течение шести лет проводился ежегодный океанологический и радиационный мониторинг, который позволил постоянно контролировать радиационную обстановку на лодке и вблизи нее, а также установить пути переноса радионуклидов в пространстве, их направления и скорости в случае их выхода из корпуса лодки «Комсомолец». На основании измерений и анализов проб даны количественные оценки возможного переноса радионуклидов. Подробно результаты научных исследований в районе гибели АПЛ «Комсомолец» изложены в коллективной монографии ученых Института и других организаций.

Помимо научных исследований на АПЛ «Комсомолец» был проведен большой комплекс подводно-технических работ, выполнявшихся по принципиально новым, не применявшимся ранее технологиям. Первоначально, после гибели лодки существовало мнение о необходимости ее подъема; было принято соответствующее Постановление Советского Правительства. Однако после детального обследования корпуса лодки с помощью ГОА «Мир» было установлено, что подъем ее нецелесообразен ввиду существенных разрушений в носовой части, в которой находятся две торпеды с ядерными боеголовками. В результате инженерных проработок было принято решение о проведении частичной герметизации носовой части лодки, которая бы предотвратила спонтанный выброс плутония в случае нарушения целостности ядерных боеголовок. Для проведения частичной герметизации носовой части лодки в ЦКБ МТ «Рубин» совместно с ИО РАН был разработан целый ряд новых технологий, реализацию которых на глубине должны были осуществить пилоты аппаратов «Мир». Эти работы были проведены летом 1994 и 1995 гг. Первоначально было поставлено шесть массивных титановых заглушек на волнорезные щиты торпедных аппаратов, которые оказа-

лись открытыми. Таким образом, был остановлен сквозной водоток через носовую часть лодки «Комсомолец». В 1995 г. носовая часть была заглушена со стороны рубки по большому пролому в прочном корпусе лодки с помощью специальных диафрагм, разработанных в МГТУ им. Н.Э. Баумана с использованием космических технологий. Внутри носовой части лодки были помещены пластиковые емкости, которые были закачаны водой. Таким образом, внутри носовой части лодки было предотвращено свободное перемещение водных масс. Последней операцией по частичной герметизации носовой части лодки явилось закрытие всех проломов и отверстий с помощью раскладных; армированных и рулонных пластырей (рис. 5). Эффективность закрытия носовой части лодки была проверена путем измерения скорости потока внутри неё: с помощью автономного измерителя течений, помещенного внутрь с помощью ГОА «Мир-2» и провисевшего там в течение четырех дней. Эксперимент, показал, что скорость потока внутри носовой части лодки снизилась более чем на порядок. Сложнейшие глубоководные операции были выполнены с помощью аппаратов «МИР». В разработке новых технологий принял участие целый ряд организаций России. Работы проводились при участии МЧС России и ЦКБ морской техники «Рубин».



Рис. 5. Частичная герметизация носовой части АПЛ «Комсомолец»

Командиры ГОА «Мир-1» и «Мир-2» за проведение работ на АПЛ «Комсомолец» были награждены орденами и медалями Российской Федерации.

Разработанные и внедренные в практику при проведении операций на АПЛ «Комсомолец» методики были применены при работах ГОА «Мир» на потерпевшей аварию АПКР «Курск» в сентябре 2000 г. ГОА «Мир» сделали в течение 5 дней 10 погружений (5 парных), во время которых была установлена причина аварии, были сделаны детальные видеосъемки, подняты на поверхность отдельные фрагменты затонувшего крейсера. На базе полученных данных был разработан план мероприятий по ликвидации аварии АПКР «Курск».

3. Съемка глубоководных кинофильмов на легендарном «Титанике» и других объектах

Технические возможности ГОА «Мир-1» и «Мир-2» были по достоинству оценены не только зарубежными учеными, но и профессиональными киностудиями и телевизионными компаниями. Без сомнения, большую роль в том, что фирмы, занимающиеся киносъемками, обратили внимание на аппараты «Мир», сыграло то, что два аппарата были установлены на борт одного судна – НИС «Академик Мстислав Келдыш». Это значительно расширяет возможности глубоководных киносъемок в плане освещения и в плане взаимодействия аппаратов на объекте. Немаловажную роль сыграли и совершенная, каплевидная форма, высокая маневренность аппаратов и большая емкость аккумуляторов, позволяющая аппаратам «МИР» вести работы под водой в течение 15–20 ч с использованием дополнительного мощного освещения, необходимого для киносъемок. Необходимо отметить, что рабочий подводный цикл зарубежных глубоководных обитаемых аппаратов «Наутил» (Франция), «Си-Клиф» (США) и «Шинкай» (Япония), имеющих рабочую глубину 6000 м, длится не более 8–10 час., т. е. вдвое меньше, чем у ГОА «Мир».

Выбор ГОА «МИР» для глубоководных съемок профессиональными киностудиями, несомненно, явился признанием высоких подводных технологий, которыми обладает Институт океанологии.

В 1991 г. состоялась экспедиция на «Титаник» (рис. 6) с канадской фирмой IMAX, которая снимает популярные фильмы на широкую киноплёнку (70 мм шириной). Кинофильм затем демонстрируется на громадный экран площадью 600 м² в специальном кинотеатре. Каждый кадр фильма несет на три порядка больше информации, чем обычное кино. Во время экспедиции 1991 г. ГОА «Мир» совершили 17 погружений на «Титаник»

[1]. Особенностью киносъемок являлось то, что громоздкая кинокамера IMAH была установлена внутри обитаемой сферы, и центральный иллюминатор аппарата «Мир-2» использовался как объектив кинокамеры. Пилот управлял аппаратом, глядя в боковой иллюминатор. Это создавало массу неудобств, но, несмотря на это, все требования режиссера Стивена Лоу, который погружался как оператор, были выполнены.

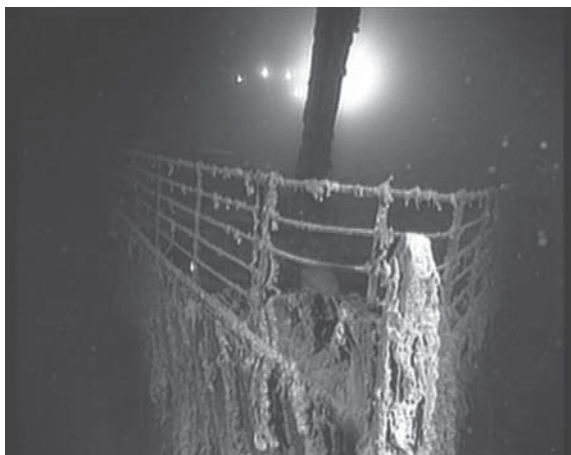


Рис. 6. Нос «Титаника». Вдали свет прожекторов ГОА «Мир-2», сидящего на мостике

Необходимо отметить, что во время экспедиции 1991 г. был снят видеофильм по заказу американской телекомпании CBS. (режиссер Эл Гиддингс, 47 мин), который посмотрело более 30 млн телезрителей США и Канады, а также фильм в трехмерном изображении, снятый Национальным Географическим Обществом США, который демонстрировался в США в специальных небольших кинотеатрах при аквариумах.

В сентябре 1995 г. с помощью аппаратов «Мир» производились глубоководные киносъемки на «Титанике» с выдающимся кинорежиссером Голливуда Джеймсом Камероном (автором «Терминатора-2»). Во время экспедиции было совершено 12 двойных погружений ГОА «МИР-1» и «МИР-2», в которых было отснято более 30 подводных сюжетов на «Титанике» при взаимодействии двух аппаратов. Фильм «Титаник» имел колоссальный успех, получил 11 «Оскаров». Благодаря этому фильму простые люди всего мира узнали о наших аппаратах «Мир», о методах проведения глубоководных операций.

В последующие годы глубоководные работы по проведению видео- и киносъемок были продолжены. С Д. Камероном было снято еще три фильма в трехмерном изображении: «Бисмарк», «Призраки бездны» и «Пришельцы глубин» – научно-популярный фильм о гидротермальных полях и населяющих их животных.

Кроме того, были сняты фильмы из серии «Голубая Планета» с английской компанией BBC, фильм о затонувшей во время Второй Мировой войны японской лодке «I-52» (5400 м, Атлантика), с Национальным Географическим Обществом США и другие фильмы.

Работы по съемкам фильмов позволили широко популяризировать аппараты «Мир» и работы, проводимые с ними на больших глубинах океана. Кроме этого они дали возможность сохранить нашу уникальную глубоководную технику и высокопрофессиональный коллектив подводников в период практически полного отсутствия бюджетного финансирования в 90-е годы прошлого века и в новом XXI веке.

4. Прямая передача с «Титаника»

25 июля 2005 г. состоялась прямая телевизионная передача с «Титаника» (3800 м), которая осуществлялась с ГОА «Мир-2». Эта операции предшествовала длительная подготовка, заключающаяся в разработке новых технологий и методов протягивания оптоволоконного кабеля с поверхности через толщу воды до лежащего на дне «Титаника» с помощью ГОА «Мир» (рис. 7).

Эта операция повторялась трижды. Дважды – успешно, т.е. видеосигнал передавался с «Титаника» на поверхность на НИС «Академик Мстислав Келдыш» и один раз операция не получилась ввиду того, что на катушке, закрепленной на ГОА «Мир», было намотано недостаточное количество кабеля, и он закончился прежде, чем аппарат пришел к месту передачи – центральной лестнице «Титаника». Однако 25 июля более 500 млн зрителей во всем мире в течение двух часов смотрели прямую передачу с «Титаника». На ГОА «Мир-2», кроме основной видеокамеры снаружи аппарата было установлено три малогабаритных телеуправляемых модуля, которые уходили от ГОА «Мир» и управлялись изнутри его кабины через оптоволоконные кабели. Они передавали видеосигнал с малогабаритных высокоразрешающих видеокамер на ГОА «Мир-2». По оптоволоконному кабелю толщиной 1,5 мм передавалось восемь видеосигналов, которые на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш» формировались в единый пакет, который передавался через спутник на приемную станцию Земли.

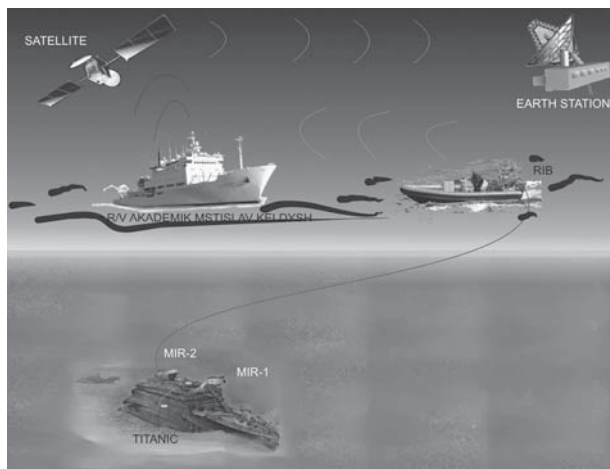


Рис. 7. Схема прямой телевизионной передачи с «Титаника»

Эту историческую передачу можно сравнить с первой радиопередачей, которая производилась по телефонному проводу во время погружения Вильяма Биб в батисфере в 1934 г. в районе Бермудских островов на глубину 923 м. Весь мир, затаив дыхание, слушал эту прямую передачу с недоступных для того времени глубин, а Вильям Биб говорил в микрофон и в деталях описывал тех животных, которых он видел через иллюминатор батискафа.

Несомненно, эта новая методика прямой телевизионной передачи с больших глубин океана имеет большое значение для повышения эффективности погружений. Она дает возможность непосредственного доступа к процессам, происходящим на глубине и наблюдаемым экипажем ГОА, большим группам ученых и специалистов. Это позволяет корректировать действия экипажей ГОА в плане принятия решений в той или иной ситуации. В особенности это важно при возникновении различных аварийных ситуаций с АПЛ, в ликвидации последствий которых принимают участие глубоководные обитаемые аппараты.

5. Погружения ГОА «Мир» в точке географического Северного полюса

2 августа 2007 г. состоялось историческое погружение ГОА «Мир-1» и «Мир-2» в точке географического Северного полюса. Идея такого погружения возникла в 1998 г. В течение 9 лет разрабатывались соответ-

ствующие технологии, методика погружений и т. д. В результате для обеспечения проекта было решено использовать два судна: атомный ледокол, который бы прокладывал путь к Северному полюсу, раскалывающая сплошной ледовый покров толщиной 2–2,5 м, и судно ледового класса, которое должно было обеспечивать работу «Миров»: их размещение на судне, обеспечение спуска на воду и подъема обратно на борт, навигационное обеспечение и подводную связь при проведении подводных операций. Кроме того, на этом судне должны быть созданы соответствующие условия для проведения ремонтных и регламентных работ с ГОА «Мир», для подготовки их к погружениям.

В качестве ледокола был выбран атомный ледокол «Россия», в качестве судна обеспечения погружений – научно-экспедиционное судно «Академик Федоров». Аппараты «Мир» были размещены в трюме судна, где были созданы хорошие условия для их технического обслуживания.

Для обеспечения погружений были разработаны гидроакустические системы, позволяющие ориентироваться пилоту относительно полыньи. На ГОА «Мир» были установлены направленные гидроакустические системы, которые позволяли определять направление на полынью по пингеру, опущенному с борта судна обеспечения на глубину 100–150 м. Это было очень важно в условиях неработающих на Северном полюсе гидрокомпасов, по которым пилоты обычно выбирают направление на цель при глубоководных операциях. Базовой системой, по которой определялось местоположение ГОА «Мир» под водой, являлась гидроакустическая система навигации с маяками, которые были опущены в воду через лунки, просверленные во льду (рис. 8). Несмотря на то, что лед дрейфует, такая система позволяла постоянно отслеживать местоположение аппарата относительно полыньи. Аппараты погрузились в полынью размером 50×80 м на глубину 4300 м. При посадке на грунт было определено, что полынья сдрейфовала от точки ухода аппарата под воду на 1500 м. Это расстояние нужно было преодолеть при всплытии, причем еще нужно было точно определить направление на полынью. После отбора проб и постановки на дно Российского флага ГОА «Мир-1» начал всплытие. Направление, по которому нужно было идти к полынье при прохождении толщи воды, было определено эмпирически. Система с длинной базой вычисляла на дисплее местоположение полыньи относительно аппарата, но гидрокомпас работал совершенно непонятно. Поэтому попытки хождения в разных направлениях позволили выбрать правильный курс, при котором расстояние до полыньи, т.е. до точки, обозначенной на дисплее, сокращалось. Этот курс многократно корректировался

в процессе всплытия ГОА. Погружение аппарата на глубину 4300 м продолжалось чуть более 2-х часов, в то время как всплытие на поверхность заняло более 5 часов при 1,5-часовом нахождении на грунте. Общая продолжительность погружения составила чуть более 9 часов (рис. 9).

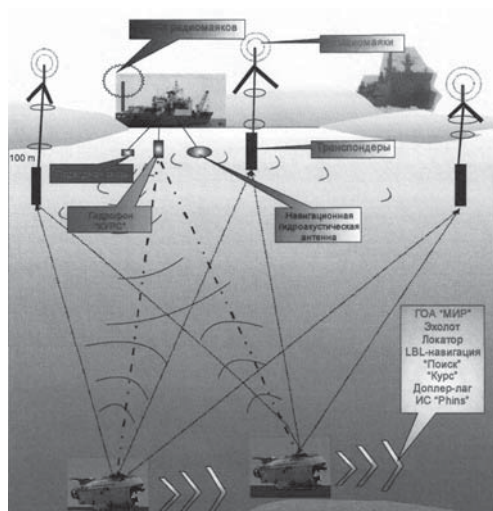


Рис. 8. Схема гидроакустического навигационного обеспечения погружений на Северном полюсе



Рис. 9. Аппарат «Мир-2» после погружения

Несомненно, это историческое погружение под лед на большую глубину 4300 м в точке географического Северного полюса имеет очень большое значение. Оно открыло новую эру в исследовании Арктики. Недаром зарубежные исследователи сравнивают его с первым полетом в космос, с первой высадкой на Луну, с первым выходом в открытый космос.

6. Научные исследования озера Байкал

Научные исследования озера Байкал проводились в течение трех лет – в 2008–10 гг.

В течение трех лет было сделано 178 погружений по всей площади озера Байкал на разные глубины вплоть до 1640 м – максимальной глубины озера в районе острова Ольхон. Наиболее важным открытием явилось обнаружение на дне озера холмов, состоящих из твердых льдообразных газогидратов в виде монолитов, припорошенных осадком [11]. Эти образования, представляющие собой кристаллические соединения метана с водой, являются ёмким резервуаром энергетического сырья. В одном кубометре гидрата содержится 162 кубометра метана.

Во время погружений ГОА «МИР» в 2009–10 гг. был сделан целый ряд уникальных экспериментов in-situ по определению границ фазовых переходов газогидратов из твердого состояния в газообразное и обратно. Такие исследования возможны только при применении обитаемых аппаратов (рис. 10).

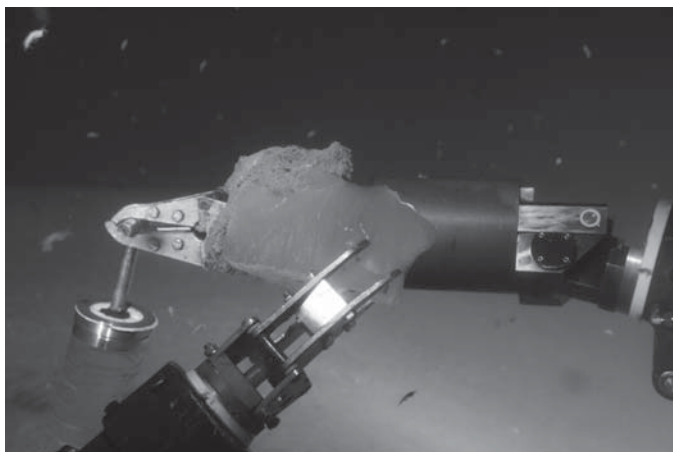


Рис. 10. Кусок газогидрата в манипуляторе ГОА «Мир»

Помимо открытия и изучения твердых газогидратных образований были проведены исследования районов, характеризующихся сочениями нефти на дне (район Горевого утес), выделениями метана (район Голоустное), наличием на поверхности дна поселений бактерий в виде бактериальных матов (бухта Фролиха), которые существуют как за счёт хемосинтеза, так и метанотрофии (определено учеными ЛИН СО РАН).

В результате трёхлетнего комплекса исследований озера Байкал получен большой объём уникальных научных данных в области геологии, биологии, гидрофизики, микробиологии и геохимии.

Заключение

В заключение следует отметить, что глубоководные обитаемые аппараты Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН в течение более чем 30 лет провели широкий комплекс научных исследований и подводно-технических работ в различных районах Мирового океана. По масштабу исследований, по широте охвата различных тематических направлений ни один аппарат в мире не может сравниться с российскими аппаратами.

В процессе проведения глубоководных операций разработан целый ряд уникальных технологий, новейших методик, которые позволили создать новое направление в современной океанологии, а также значительно расширить диапазон специальных глубоководных операций, которые являются очень важными при проведении подводно-технических работ и спасательных операций в случае возникновения аварийных ситуаций под водой.

В России имеется не так много профессиональных коллективов подводников, способных проводить комплекс глубоководных операций, подобных тем, которые описаны выше. Этот уникальный опыт, накопленный в течение 25 лет, является неоценимым вкладом в мировую и отечественную практику проведения глубоководных операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сагалеви́ч А.М. Глубина. М.: Научный мир, 2002. 320 с.

К 90-ЛЕТИЮ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ГИДРОНАВТИКИ: ОТ «СНАРЯДА ЭПРОН» ДО «РУСИ» И «КОНСУЛА»

Королев А.Б., Гагонин Д.А.

*Общество изучения истории водолазного дела им. Р.А. Орбели,
190068, н/я 601, СПб, Россия, тел/факс (495) 674-10-70,
www.hdsr.ru, e-mail: divemaster3@yandex.ru*

История отечественной гидронавтики началась в 1923 г., когда по проекту инженера-механика Евгения Григорьевича Даниленко был построен первый обитаемый подводный аппарат – гидростат. Необходимо отметить, что в то время в мире существовал только один подобный аппарат – гидростат американского инженера Ганса Гартмана. Следовательно, Россия по праву является одним из пионеров освоения подводного мира. Гидростат Даниленко совершил первое погружение 2 сентября 1923 г. В состав экипажа входили сам конструктор и Д.А. Карпович, они же и стали нашими первыми гидронавтами. А 9 сентября 1923 г. был установлен отечественный рекорд глубины погружения – покорена глубина в 123 м. Гидростат Даниленко успешно применялся для различных подводно-технических работ и подводных исследований.

В 1926 г. был построен более легкий и простой в обслуживании подводный аппарат – гидростат конструкции инженера Анатолия Захаровича Каплановского, а в 1944 г. значительно усовершенствованный гидростат Каплановского «ГКС-В» для Аварийно-спасательной службы ВМФ СССР (АСС ВМФ). В 1953 г. аппарат был переоборудован для научных исследований и передан Полярному Институту рыбного хозяйства и океанографии. «ГКС-В» стал первым отечественным подводным аппаратом, при помощи которого начали проводиться систематические, планомерные научные исследования и он успешно прослужил науке до 1965 г.

В 1930-х годах для Экспедиции подводных работ особого назначения за границей были закуплены нормобарические скафандры двух типов – Нейфельдта-Кунке и Галеации. С одной стороны эти скафандры относятся к водолазному снаряжению, а с другой, по методике использования, скорее являются наблюдательной камерой – гидростатом.

После войны создание подводных аппаратов продолжилось. Был спроектирован современный по тому времени гидростат ГГ-57 «Север-1» и переоборудована для подводных исследований боевая подводная лодка «С-

148» проекта 613, получившая название «Северянка». Гидростат «Север-1» стал первым отечественным подводным аппаратом, изначально спроектированным для научных исследований. В 1960 г. на нем был установлен новый отечественный рекорд глубины погружения – 609 м. «Север-1» успешно эксплуатировался до 1978 г. и совершил более 600 погружений.

В связи с начавшейся холодной войной и, как следствие, масштабным строительством подводных лодок, встала задача обеспечения спасения подводников во всем спектре глубин. Изучив полученные по ленд-лизу американский спасательный колокол конструкции Маккена и документацию на колокол Момсена, отечественные конструкторы и строители создали целое семейство подобных технических средств, по своей сути являвшихся привязными подводными аппаратами типа гидростат. Первый отечественный спасательный колокол «СК-57» был построен в 1956 г. В последующие годы были созданы усовершенствованные «СК-59» и «СК-527», венцом которых явился глубоководный спасательный колокол «СК-64 Скафандр», обеспечивающий спасение подводников с глубины 500 м. «СК-64» и сейчас состоит на вооружении поисково-спасательной службы ВМФ. Тогда же для оказания помощи при аварийно-спасательных работах была создана ограниченно маневренная рабочая камера «РК-680» с манипуляторным и подруливающими устройствами.

Недостатком спасательного колокола была зависимость от судна-носителя и погодных условий, поэтому было принято революционное решение о создании подводного спасательного комплекса в составе автономного спасательного подводного аппарата и подводной лодки-носителя. В 1961 г., по проекту ЦКБ «Лазурит» на заводе «Красное Сормово» был построен первый в мире автономный спасательный подводный аппарат УПС (управляемый подводный снаряд), который мог принять на борт 3-х спасенных подводников. Он же стал и первым отечественным автономным обитаемым подводным аппаратом. В 1962 г. впервые в мировой практике была решена задача подводной расстыковки спасательного аппарата УПС с подводной лодкой-носителем проекта 666, стыковки с условно аварийной подводной лодкой с последующим переходом людей в аппарат и возвращению на носитель.

По заказу АСС ВМФ для наблюдения за ходом подводно-технических работ, визуального поиска затонувших объектов, фото и киносъемки был создан последний отечественный тип классического гидростата – наблюдательная камера «НК-300» с глубиной погружения 300 м. Гидростат строился крупной серией, около 20 единиц и размещался на спасательных судах ВМФ. Один из гидростатов этого проекта с собственным именем «Ярнышная», использовался для научных исследований по программам Мурманского морского биологического института.

Еще одним гидростатом, применявшимся в нашей стране, является гидростат итальянской фирмы «Галеацци». В 1970-х годах он был установлен на борту спасательного судна ВМФ «СС-30». В научных целях этот гидростат использовал профессор В.П. Зайцев.

Недостатком классических гидростатов является их практически нулевая маневренность. Для преодоления этого недостатка пошли по пути создания привязных, буксируемых и ограниченно маневренных подводных аппаратов. В 1963 г. был создан привязной буксируемый подводный аппарат «Атлант-1», предназначенный в первую очередь для наблюдения за тралами, а в 1972 г. был построен более совершенный буксируемый подводный аппарат «Тетис» с глубиной погружения до 330 м. В последующие годы была построена довольно крупная серия таких аппаратов, в том числе еще более совершенных «Тетис-Н».

В середине 60-х годов в составе Министерства обороны СССР было организовано подразделение для изучения и освоения глубин Мирового океана в оборонных целях. Для этого подразделения (ныне Главное управление глубоководных исследований МО РФ) был создан уникальный, не имеющий аналогов в мире, глубоководный комплекс «Архипелаг» в составе переоборудованной подводной лодки-носителя проекта 611 и привязного буксируемого глубоководного аппарата, способного самостоятельно маневрировать в пределах слабины кабель-троса на глубинах до 2000 м, при помощи собственных двигателей. По результатам испытаний комплекса «Архипелаг» был создан усовершенствованный глубоководный комплекс «Селигер».

В 1970 г. по заказу Министерства рыбного хозяйства СССР на «Адмиралтейских Верфях» в г. Ленинграде по проекту СПМБМ «Малахит» был построен первый полноценный отечественный автономный глубоководный аппарат для научных исследований «Север-2» с глубиной погружения 2000 м. 28 марта 1971 г. впервые в России им была покорена глубина в 2020 м. Впоследствии был построен однотипный глубоководный аппарат «Север-2 бис». При помощи этих аппаратов регулярные научные исследования на глубинах до 2000 м стали для наших ученых обычной практикой.

В том же году специалистами ВНИРО был создан подводный аппарат «Гвидон» оригинальной конструкции с глубиной погружения до 250 м. К сожалению, аппарат был потерян при проведении глубоководных испытаний в 1972 г., а в 1979 г. такая же неудача постигла оригинальный аппарат «Шельф-ДВГУ» созданный силами Дальневосточного государственного университета в 1977 г.

По результатам опытной эксплуатации опытного спасательного комплекса на базе подводного аппарата УПС и подводной лодки-

носителя проекта 666 был разработан автономный спасательный аппарат СПС, который мог принять на борт 16-20 спасенных подводников. В 1971 г. СПС был принят на вооружение, и началось его серийное производство. В последующие годы был создан еще более совершенный аппарат проекта 1837К, который вошел в состав уникального подводного спасательного комплекса на базе 2-х спасательных подводных аппаратов и подводной лодки носителя проекта 940 «Ленок». Практически одновременно с СПС в 1971 г. на вооружение АСС ВМФ был принят автономный подводный аппарат АРС, предназначенный для оказания помощи аппаратам СПС и для выполнения самых разных подводно-технических работ. Аппарат получился очень удачным и на долгие годы стал «рабочей лошадкой» Военно-морского флота. Впоследствии был создан значительно усовершенствованный АРС проекта 18392. Два аппарата этого семейства «АС-10» («Дельфин») и «Браво» активно применялись для научных исследований в интересах АН СССР и ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова.

В 1973 году по заказу Минрыбхоза СССР был построен подводный аппарат «Тинро-2» с глубиной погружения 400 метров, а через 1,5 года его «близнец» – «Тинро-2 бис». Оба аппарата интенсивно использовались и совершили много сотен погружений практически во всех районах Мирового океана. В 1976 и 1983 гг. в строй вступили уникальные подводные лаборатории «Бентос-300» и «Бентос-2» для длительных наблюдений с возможностью выхода в воду водолазов в подводном положении. Все эти аппараты были спроектированы в ведущем отечественном конструкторском бюро по глубоководной тематике – СПМБМ «Малахит» и построены на старейшем и знаменитом судостроительном предприятии – «Адмиралтейских Верфях». Однако, осознавая большую загруженность данных предприятий важными оборонными заказами, Минрыбхоз в 1970 г. создал собственное Опытно-конструкторское бюро специальных технических средств. С 1976 по 1989 гг. ОКБ СТС создало линейку удачных, компактных и многофункциональных подводных аппаратов: «ОСА-3-600», «Океанолог», «АПХ», «Риф», «Морж», «Омар», «Лангуст» и «Катран». В настоящее время «в строю» аппараты «Риф», «Омар», «Лангуст», «Катран» и «Морж» в Англии.

«Адмиралтейскими Верфями» по проекту «Малахита» в 1973–1989 гг. для ВМФ построена серия из 4-х крупных глубоководных аппаратов типа «Поиск-2» с глубиной погружения 2000 м и широким набором оборудования для научных исследований и подводно-технических работ. Там же в 1983 г. построен первый отечественный батискаф – глубоководный аппарат «Поиск-6» с бензиновым наполнителем объемов плавучести. 19 августа

1985 г., впервые в России, «Поиск-6» покорил глубину в 6015 м. Следует отметить, что в мире всего было построено 4 глубоководных аппарата типа «батискаф» – это всемирно известные французские аппараты «ФНРС-3» и «Архимед», швейцарско-американский «Триест», покоривший в 1960 г. Марианскую впадину и наш «Поиск-6».

Институт океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР силами Опытного-конструкторского бюро океанологической техники, спроектировал и в 1976 г. построил очень удачный подводный аппарат «Аргус». В Канаде, в 1975 г. Институтом были закуплены 2 глубоководных аппарата типа «Пайсис» с глубиной погружения 2000 м. В 1985 г. в Финляндии была заказана постройка двух глубоководных аппаратов «Мир» с глубиной погружения 6000 м. В декабре 1987 г. аппарат «Мир-1» под командованием профессора А.М. Сагалевича установил очередной рекорд отечественной гидронавтики, покорив глубину в 6170 м. Глубоководный комплекс «Научно-исследовательское судно-носитель «Академик Мстислав Келдыш» – аппараты «Мир-1» и «Мир-2»» стал всемирно известным брендом российской гидронавтики. Было выполнено множество интереснейших экспедиций по всему Мировому океану. В 1985 г. Институт океанологии своими силами построил первый отечественный подводный аппарат «Осмотр», обеспечивающий выход водолазов в воду на глубинах до 200 м.

В 1982 г. для Министерства газовой промышленности СССР во Франции было закуплено специализированное водолазное судно «Спрут» с глубоководным водолазным комплексом и двумя автономными обитаемыми подводными аппаратами на борту. Аппарат SM-370 получил название «Спрут-1», а Moana «Спрут-2». С 1983 по 1988 гг. было выполнено 58 погружений продолжительностью 257 часов.

В 80-е годы ЦКБ «Лазурит» и завод «Красное Сормово» продолжали создавать новую спасательную технику. В 1986–1989 гг. в состав АСС ВМФ вошли спасательные аппараты нового поколения «Приз». Они имеют корпуса из титанового сплава и обеспечивают спасение экипажей аварийных подводных лодок с глубин до 1000 м. В 2000-е годы эти аппараты прошли ремонт и модернизацию и в настоящее время находятся в составе поисково-спасательной службы ВМФ.

Еще в середине 1960-х годов на правительственном уровне было принято решение о создании принципиально нового вида подводной техники – глубоководных технических средств большой автономности и с расширенными возможностями. Силами конструкторов «Малахита», кораблестроителей «Адмиралтейских Верфей» и множества предприятий-смежников эта сложнейшая научно-техническая и организационная задача была успешно решена. В конце 1980-х годов в состав глубо-

ководных технических средств МО СССР вошли уникальные, не имеющие мировых аналогов, атомные глубоководные станции.

В тяжелые 1990-е годы, несмотря на все трудности, работы в области глубоководной техники в нашей стране были продолжены. В 1990 г. флагман отечественного подводного судостроения «Северное машиностроительное предприятие» по проекту ЦКБ МТ «Рубин» построил первый отечественный подводный аппарат, предназначенный для туристических погружений – «Нептун», в настоящее время за рубежом эксплуатируется его более современный потомок «Садко».

В 1994 г. был построен спасательный подводный аппарат «Бестер», а в настоящее время «Адмиралтейские Верфи» заканчивают строительство аппарата нового поколения проекта 18271 «Бестер-2».

В 2000 г. в состав ВМФ России вошел первый полноценный отечественный «шеститысячник» – глубоководный аппарат проекта 16810 «Русь». 14 мая 2011 г. его усовершенствованный «брат-близнец» «Консул» установил очередной рекорд глубины для российской техники – 6270 м.

В 2000-х годах у канадской фирмы «Оушен Уоркс» для поисково-спасательной службы ВМФ были закуплены 8 современных нормобарических скафандров «Хард Сьют 1200», обладающих очень высокой маневренностью и глубиной погружения порядка 350 м. Планируются дальнейшие закупки подводной техники для ВМФ и других организаций.

В 2005 г. силами СПМБМ «Малахит», «Балтийского завода» и ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова для иностранного заказчика был создан современный глубоководный аппарат с глубиной погружения 7000 м. 27 июня 2012 г. этот аппарат успешно покорил глубину в 7026 м.

В настоящее время Россия располагает самым большим в мире флотом глубоководных аппаратов с глубиной погружения 6000 метров – это «Русь», «Консул», «Мир-1» и «Мир-2», в строю 5 глубоководных спасательных аппаратов и уникальные атомные глубоководные станции. Ни одна страна мира не осуществляла столь масштабных программ создания глубоководной техники и глубоководных исследований. По количеству и качеству построенных аппаратов Россия лидирует с абсолютным отрывом от других стран – за 90 лет построено и заказано за границей порядка 200 аппаратов примерно 50 разных проектов. Проведено большое количество уникальных экспедиций. Сделано множество научных открытий. Осуществлены не имеющие аналогов в мире подводные операции. Создана школа проектирования, строительства и эксплуатации глубоководной техники. За ее создание и эксплуатацию 35 человек удостоены звания Героя Советского Союза и России. История отечественной подводной техники и освоения Мирового Океана – национальная гордость и достояние России.

I. ГИДРОФИЗИКА: ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ, МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ОКЕАНА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НОВЫХ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Смирнов Г.В., Оленин А.Л., Аистов Е.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва
8(499)124-59-58 gvsmirnov@ocean.ru*

В докладе представлено описание и конструктивные возможности технологической платформы, как базового объекта для разработки, лабораторных и морских испытаний вновь создаваемых измерительных каналов.

Введение

Решение задач создания океанографической измерительной аппаратуры, на наш взгляд, целесообразно начать с анализа основных направлений фундаментальных исследований Мирового океана сформулированных группой ученых нашей страны во главе с академиком Л.М. Бреховских: Создание термогидродинамической модели океана и Модели взаимодействия океана и атмосферы с учетом влияния материков [1].

Разработка этих моделей, по существующим в то время представлениям, должна позволить описать динамические процессы во всем диапазоне их изменчивости от систем океанических течений до мелкомасштабных явлений, а также создать методы долгосрочных прогнозов погоды и развить теорию климата. Но, решение столь сложной теоретической и экспериментальной задачи было невозможно без внедрения новых средств и методов исследований, обеспечивающих непрерывное поступление информации о процессах протекающих в океане в широком диапазоне их пространственно-временной изменчивости.

Анализ существовавших в 1960–70 годах направлений автоматизации экспериментальных исследований показал, что наиболее полно соответствуют требованиям автоматизации океанологических экспериментальных исследований информационно-измерительные системы стандарта САМАС, которые имели легко меняющуюся структуру и хорошо разработанное программное обеспечение. Эта система включает в

себя стандартизацию трех типов: механический стандарт – блочный каркас со вставными блоками; логический стандарт, предусматривающий унификацию разводки линий связи внутри блоков; электрический стандарт, унифицирующий источники питания всей системы. Широкое применение информационно-измерительные системы на основе стандарта SAMAC нашли в биологии и медицине.

Развитие океанологического приборостроения в 1970–80-х годах рассмотрим на примере работ СКТБ Морского Гидрофизического Института. Особенности конструкции океанографических измерительных комплексов не позволили применить стандарт SAMAC в полном объеме. Необходимость проведения измерения параметров среды *insitu* на значительном расстоянии от устройств управления и регистрации информации телеметрической системой формулируют особые технические требования для океанологических измерительных комплексов [2].

Уровень автоматизации экспериментальных исследований и направления её развития в других отраслях знаний показал, что наиболее эффективными методами проведения экспериментов являются исследования с использованием интегрированных магистрально-модульных мультипроцессорных макро- и микросистем. Новое поколение систем отличает высокий уровень интеграции компонентов, широкий выбор унифицированных средств организации взаимодействия подсистем различного назначения, насыщенность функционально и территориально распределенными микропроцессорными системами, гибкость программной реконфигурации структуры аппаратных и программных средств. Принципы построения базовой структурной схемы интегрированной мультипроцессорной системы, позволяющей в значительной степени решить задачу сбора и обработки информации при экспериментальных исследованиях в океане, включали в себя: развитие структуры иерархического магистрально-модульного построения аппаратных и программных средств, рациональное использование международных стандартов на системные средства организации взаимодействия подсистем, упрощение программной реконфигурации. При этом в интегрированных мультипроцессорных системах важное место занимают средства организации взаимодействия процессов (измерений, обработки данных, передачи сообщений), протекающих в подсистемах всех уровней иерархии. В группе таких средств выделяются машинные, системные, приборные, надплатные, вспомогательные магистрали. Стандартизация машинных магистралей UNIBUS, Q-BUS. MULTIBUS для построения одно- и многопроцессорных вычислительных систем определила их широкое распространение в средствах автоматизации научных исследований [3, 4].

Особое место в создании модульных информационно-измерительных систем океанографических параметров занимает метрологическое обеспечение всего цикла их разработки и аттестации. Работы по сертификации всех измерительных каналов выполнялись совместно с институтами Госстандарта СССР.

С учетом изложенных принципов построения интегрированных мультипроцессорных систем разработана структурная схема измерительного комплекса, внедренная в практику проектирования и производства измерительных океанографических приборов.

В завершение анализа уровня океанографического приборостроения к концу 1980-х годов отметим, что были созданы, сертифицированы и внедрены в практику океанологических исследований зондирующие, буксируемые, автономные измерительные комплексы, обеспечивающие экспериментальные исследования в океане в диапазоне пространственно-временных масштабов в пределах: от секунд до десятков суток по времени и от сантиметров до сотен, тысяч километров по расстоянию.

Высокий уровень океанографического приборостроения в нашей стране к концу 20-го века позволяет нам, даже после развала СССР, рассматривать возможность дальнейшего развития этого направления. Структурная схема информационно-измерительного комплекса, может быть принята при разработке технологической платформы за прототип, а созданные измерительные каналы могут быть использованы при комплектации гидрофизического модуля.

Функциональная схема технологической платформы

Развитие дистанционных (спутниковых) измерительных систем, возможность осуществления мониторинга поверхности Земли и Мирового океана создали предпосылку к пониманию необходимости разработки принципиально новых измерительных контактным методом *in situ* каналов: позволяющих осуществлять идентификацию и регистрации количественного состава частиц взвеси в морской воде и осуществлять наличие и концентрацию растворенных в морской воде веществ.

Для разработки таких измерительных каналов созданы лабораторные стенды, изготовлены макеты измерительных каналов и проводятся исследования с целью выявления возможности получения сигналов характеризующих изменчивость наблюдаемого параметра и преобразования его в электрический сигнал.

Дальнейшее продолжение разработки новых измерительных каналов, проведение их натурных испытаний, отработка методик измерений в составе с другими информационно-измерительными комплексами с

целью контроля граничных условий в районе проведения экспериментов требуют серьезного технологического обеспечения всего комплекса работ. При этом необходимо учесть, что новые измерительные каналы отличаются высокой частотой опроса, большими массивами передаваемой информации, их испытания могут быть обеспечены только при использовании оптико-волоконных линий связи между погружаемым и бортовым устройствами. С целью решения перечисленных проблем Лабораторией методологии и технических средств океанологических исследований Института океанологии РАН и создается *Специальная технологическая платформа для разработки, испытаний и аттестации новых измерительных каналов параметров морской среды*.

К настоящему времени разработаны требования к основным узлам функциональной схемы комплекса с оптико-волоконным кабель – тросом. Детальная проработка показала, что с целью уменьшения диаметра кабеля и уменьшения количества каналов в оптико-волоконном вращающемся переходе целесообразно использовать кабель с одиночной волоконно-оптической линией (вторая линия – резервная), а для передачи сигналов использовать многовходовые оптические модемы. Проработка типа используемых модемов, лебедки для спускоподъемных работ и вращающихся оптических переходов не входили в данный проект и осуществлялись заказом этих компонентов в сторонних специализирующихся предприятиях.

Лаборатория методологии и технических средств океанологических исследований Института океанологии РАН подготовила и согласовала технические задания на специальную оптико-волоконную кабель-тросовую лебедку, сопутствующие изделия и устройства и заключила договор на их изготовление.

Разрабатываемая функциональная схема комплекса должна обеспечивать интеграцию в своем составе любые существующие измерительные каналы океанологических измерительных приборов. Эта часть функциональной схемы построена аналогично существующим схемам зондов гидрологических и обеспечить их работу, передавая информацию по промышленным каротажным кабель-тросам.

Вновь создаваемые измерительные каналы отличаются высокой частотой опроса, большими массивами передаваемой информации и могут быть обеспечены только при использовании оптико-волоконных линий связи. Для решения этой задачи разработан многовходовой оптический модем в погружаемом устройстве технологического комплекса и опто-волоконная линия связи погружаемого и бортового устройств. В бортовом устройстве разработаны вращающийся электрический и оптический переходы и многовходовой оптический модем.

При разработке компоновки погружаемого устройства комплекса, учитывая массогабаритные характеристики имеющихся узлов и опыт проведения натурных испытаний макетов измерительных приборов, погружаемое устройство комплекса было функционально разбито на две части: гидрофизический модуль и измерительный канал идентификации частиц взвеси в воде.

Гидрофизический модуль

Собранные данные в виде строк измерительных параметров могут быть переданы по электрическому кабель-тросу в бортовую систему оператору комплекса, либо по оптико-волоконной линии кабель-троса (тогда строки измерительных параметров передаются в блок управления измерительного канала идентификации, где расположен многовходовой оптический модем оптико-волоконной линии).

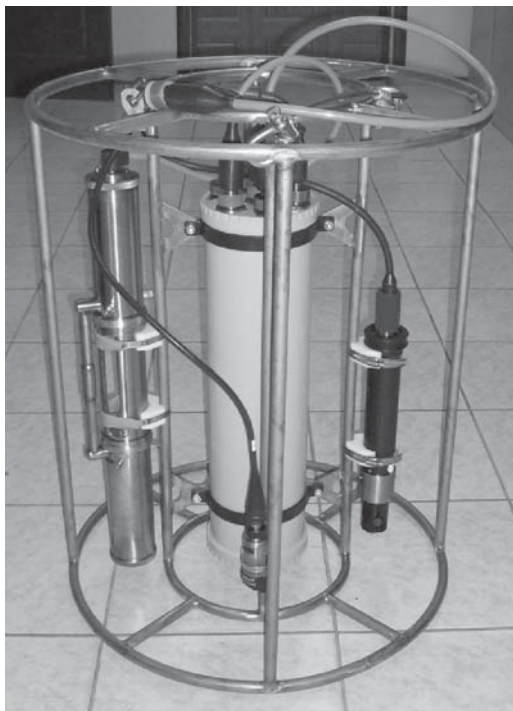


Рис. 1. Общий вид гидрофизического модуля

Технические характеристики гидрофизического модуля

Подключение гидрофизических измерительных каналов осуществляется с помощью нормализующих контроллеров, индивидуально программируемых в соответствии с протоколом обмена данных канала.

Характеристики модуля управления, сбора и обработки данных:

- интерфейсы подключаемых измерительных каналов: RS232, 0-5В 16 бит;

- количество нормализующих контроллеров: до 32;

- формат данных встроенных часов: год, месяц, день, час, минуты, секунды, миллисекунды;

- время опроса одного нормализующего контроллера: не более 1 мсек;

- выходное слово данных нормализующего контроллера: 8 байт.

Характеристики измерительных каналов:

- температура: $-5^{\circ}\text{C} \dots +35^{\circ}\text{C}$, точность 0.01°C ;

- удельная электропроводность: $0\text{--}80\text{ мС/см}$; точность 0.01мС/см ;

- абсолютное гидростатическое давление: $0\text{--}300\text{ Bar}$; точность 0.1% от диапазона;

- концентрация растворенного кислорода: $0\text{--}500\text{ мк моль/л}$; точность 5%;

- показатель ослабления направленного света: $0.3\text{--}1.5\text{ м}^{-1}$; точность $\pm 5\%$ от диапазона.

Измерительный канал идентификации

Данный канал является вновь разрабатываемым, экспериментальным.

Для измерения предполагается выбрать диапазон размеров частиц $0.5\text{--}10\text{ мм}$, режим работы прибора – вертикальное зондирование на кабель тросе.

Основой канала является модуль регистрации, предназначенный для получения цифровых изображений искомых частиц. Изображения получаются с помощью телевизионных камер.

Использование телевизионных камер накладывает высокие требования по объему передаваемой информации. Например, требуемая полоса частот при передаче аналогового сигнала черно-белого изображения составляет 6 МГц [1]. Перспективно использование цифровых телевизионных камер, сигнал которых не искажается при передаче по кабель-тросовому тракту. В частности, можно использовать IP-камеры, использующие для передачи сигнала линии связи типа Ethernet. Такие камеры имеют большой размер кадра (например, 1024×768 пикселей), что позволит получить высококачественное изображение частиц.

Цифровой поток изображений от IP-камеры передается с использованием специальных алгоритмов компрессии данных.

Основные алгоритмы компрессии:

- кодирование MJPEG,
- кодирование H.264.

Кодирование MJPEG применяют для какадрового сжатия и передачи изображений. Кодирование H.264 применяют для передачи последовательности кадров телевизионных, с использованием межкадровых взаимосвязей.

Для целей идентификации частиц представляется целесообразным использование MJPEG, т.к. требуется детальная работа с каждым поступающим с камеры кадром на предмет обнаружения частицы и т.п. Однако кодированный поток MJPEG, получаемый с камеры, может составлять до 50Мбит/с. Такой поток вполне может быть при работе с минимально сжатым изображением с высокой частотой кадров, что необходимо при высококачественной регистрации движущихся в воде частиц.

Особенностью IP-камер является возможность работы нескольких камер на одной линии Ethernet. При этом общий информационный поток по такой линии при работе нескольких камер, в первом приближении, равен сумме потоков от всех подключенных камер.

В настоящее время наиболее распространенным и неприхотливо работающим в полевых условиях интерфейсом является, Fast Ethernet 100 Мбит/сек. На него и следует ориентироваться при создании надежно работающей системы. Следовательно, к одной линии Fast Ethernet 100 Мбит можно подключать не более двух IP-камер, работающих с минимальным сжатием изображения и на высокой частоте кадров. Если принять, что необходимое количество камер составит, например, 4 шт., то в модуле управления, сбора и обработки данных погружаемого устройства потребуется как минимум 2 канала Fast Ethernet 100 Мбит/с.

В модуле регистрации использованы 3 камеры, которые смонтированы в прочных корпусах на едином титановом несущем корпусе. Канал идентификации, двигаясь вверх, омывается водой, частицы взвеси концентрируются планктонной сетью и попадают в измерительную камеру регистрирующего модуля.

Сигналы от камер передаются по гермокабелям в прочный корпус блока управления и далее, через многоходовой оптический модем, в оптико-волоконную линию связи.

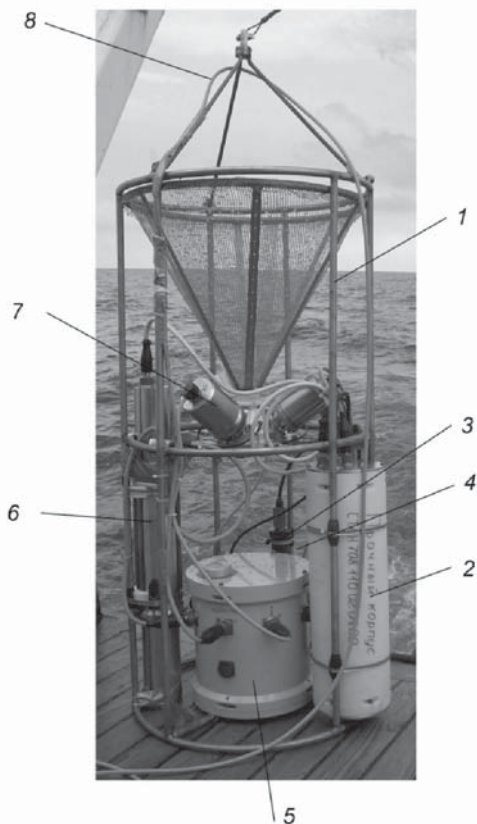


Рис. 2. Измерительный канал идентификации в составе экспериментального погружаемого устройства комплекса 1 – титановая рама; 2 – блок управления гидрофизическими каналами; 3 – CTD-зонд; 4 – измерительный канал растворенного кислорода; 5 – совмещенный блок управления каналом идентификации, блок связи и питания; 6 – измерительный канал показателя ослабления направленного света; 7 – измерительный канал идентификации частиц взвеси; 8 – гибкий кевларовый грузонесущий электрический кабель-трос

Комплект спускоподъемного оборудования

В рамках данной программы изготавливаются следующие узлы спускоподъемного оборудования:

- грузонесущий оптико-волоконный кабель-трос;
- силовая тросовая заделка;
- кабельный наконечник;
- кабель-тросовая лебедка.

Грузонесущий оптико-волоконный кабель-трос

По разработанному и согласованному техническому заданию в ООО “Псковгеокабель” был изготовлен один километр кабеля бронированного грузонесущего кабеля КГ2×(0,7+1 ООВ)+2×0,35-55-60. Сердцевина

кабеля представляет собой два медных канала с оптико-волоконными жилами. Каналы заполнены гидрофобным гелем. Снаружи каналы покрыты изолирующей пластиковой оболочкой. Вместе с каналами проходят два изолированных сигнальных провода. Каналы и провода помещены в полиуретановую герметичную оболочку, заключенную в двухповивную стальную оцинкованную броню.

Технические характеристики кабеля

Оптико-волоконные жилы: две одномодовых волоконных жилы.

Электрические жилы: одна витая пара $2 \times 0,35 \text{ мм}^2$.

Две силовые жилы $0,7 \text{ мм}^2$ (оболочки волоконных жил).

Диаметр кабеля 9,4 мм.

Диаметр герметичной сердцевины 5,2 мм.

Количество повивов брони: два.

Разрывная нагрузка кабеля 55 кН.

Максимально допустимая нагрузка по условию работоспособности оптических волокон 18 кН (по рекомендациям производителя, возможность увеличения требуется уточнить в процессе натурных испытаний).

Силовая тросовая заделка

С её помощью погружаемое устройство подвешивается на кабель трос. Силовая заделка обеспечивает передачу статической и динамической нагрузок при вертикальном зондировании погружаемым устройством.

Кабельный наконечник

По техническому заданию ОКБ ОТ был изготовлен кабельный наконечник НКОВ-2/4-5, предназначенный для герметичного соединения сигнальной сердцевины кабель-троса с герметичным корпусом блока управления измерительного канала идентификации частиц взвеси. Наконечник не предназначен для передачи растягивающих нагрузок.

Кабель-тросовая лебедка

Технические характеристики

Привод частотно-регулируемый.

Ёмкость барабана (кабель 9,4 мм) – 350 м.

Начальный диаметр барабана – 380 мм.

Тяговое усилие на максимальном диаметре намотки – 200 кг.

Габариты 1400×900×1000 мм.

Масса (с 350 м 9,4 мм кабель-троса) – 420 кг.

Кабелеукладчик автоматический винтовой с электрической ручной корректировкой укладки кабеля.

Ленточный тормоз с ручным винтовым приводом.

Дублированный храповой механизм автоматического стопора барабана.

Электрический 8-мидорожечный и одноканальный оптоволоконный вращающиеся переходы.

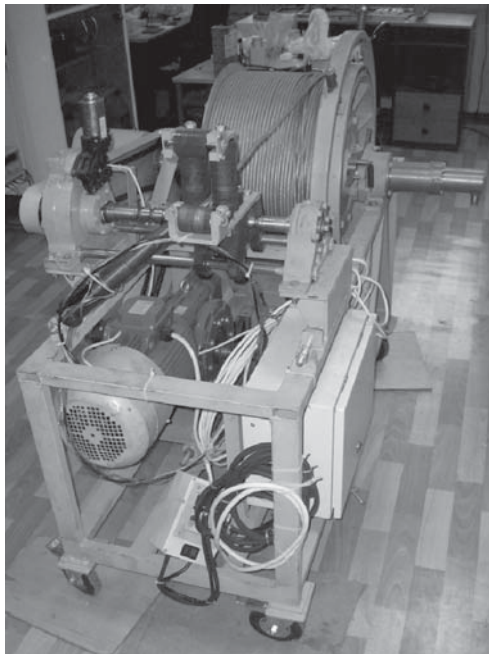


Рис. 3. Кабель-тросовая (оптико-волоконная) электрическая лебедка

Разработка программно-математического обеспечения

Разработано программно-математического обеспечения (далее ПМО) встроенных микроконтроллеров модуля управления, сбора и обработки данных:

- центрального контроллера;
- нормализующего контроллера (далее НК) CTD-зонда Valeportmini CTD;
- НК измерительного канала показателя ослабления направленного света;

- НК датчика растворенного кислорода;
- НК датчика избыточного гидростатического давления;
- НК часов реального времени;
- НК аналогового измерительного канала.

Разработано ПМО рабочего места оператора гидрофизических измерительных каналов.

Проведение натурных испытаний

Проведены натурные испытания макетного образца измерительного комплекса в Южном отделении ИО РАН на Черном море. Работы проводились в два этапа: Погружение измерительного комплекса с причала для проверки герметичности погружаемого устройства и функционирования измерительных каналов опытного образца; Зондирование с борта маломерного судна до глубины 140 м. На этом судне не представляется возможным установить электрическую лебедку, оснащенную кабель-тросом с оптико-волоконными жилами передачи информации. Зондирование проводили вручную, осуществляя погружение и подъем прибора. На фотографии кормовой палубы судна представлены: измерительный комплекс, катушка с кевларовым тросом и персональный компьютер в качестве бортового устройства измерительного комплекса.



Рис. 4. Проведение натурных испытаний информационно-измерительного комплекса в августе 2012 г.

Точка начала зондирования 44°31,986'N 37°56,003'E. Глубина около 200 м.
Зондирование 12.08.12 г.



Рис. 5. Результаты зондирования измерительным комплексом до глубины 120 м 12.08.2012 г. 1 – показатель ослабления направленного света; 2 – гидростатическое давление; 3 – температура; 4 – концентрация растворенного кислорода

Все каналы гидрофизического модуля сертифицированы, работают нормально.

Новый измерительный канал ослабления направленного света сертифицирован в лабораторных условиях по общепринятой методике с использованием набора полированных пластин кварцевого стекла. Измерительный канал идентификации частиц взвеси в морской воде испытывался в составе экспериментального погружаемого устройства комплекса.

Кадры, зафиксированные камерами измерительного канала идентификации частиц взвеси в морской воде на глубине 20 м.

Ниже представлены 4 фотографии, сделанные одной из камер. Диагональ снимков (в пространстве предметов) около 1 см.

Заключение

По результатам разработки, изготовления, лабораторных и морских испытаний Технологической платформы для разработки и натурных испытаний новых океанографических измерительных каналов, отметим следующее:

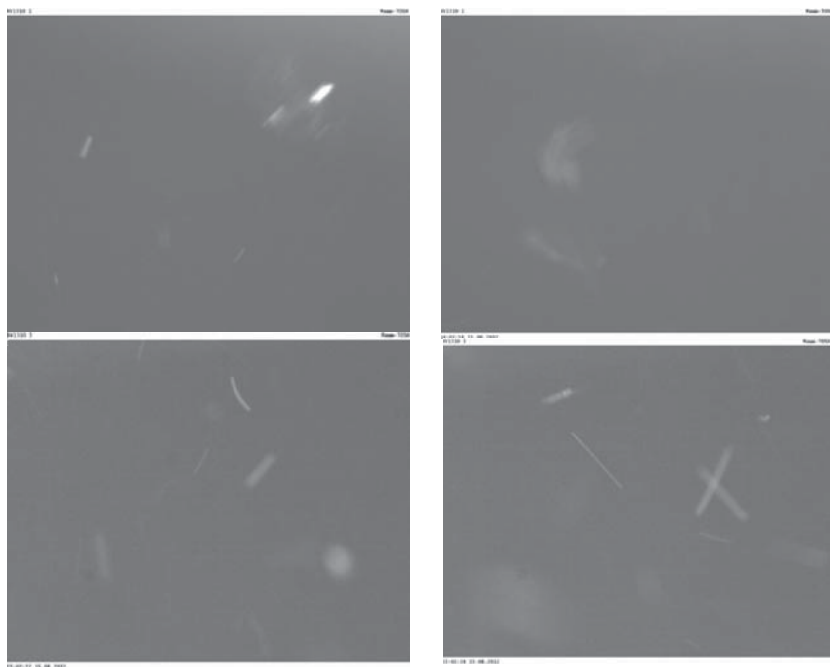


Рис. 6. Представлены 4 фотографии, сделанные камерами измерительного канала идентификации частиц взвеси в морской воде

Идея создания технологической платформы, как базового объекта для разработки, лабораторных и морских испытаний вновь создаваемых измерительных каналов оказалась плодотворной.

Создана комплексная линия связи позволяющая передавать из погружаемого устройства в бортовое информацию гидрофизических каналов и информацию с высокой частотой опроса измерительных каналов и несоизмеримо больших массивов данных.

При создании оптико-волоконной линии связи между бортовой и погружаемой частями измерительного комплекса создана специальная электрическая лебедка оснащенная мультиплексором, демультиплексором, вращающимся оптико-волоконным переходом, силовой тросовой заделкой, кабельными наконечниками и другими сопутствующими устройствами.

Проведены испытания погружаемого устройства с измерительными каналами: СТД – зондом, каналом показателя ослабления направленного света, растворенного в воде кислорода, идентификации частиц взвеси в воде.

По полученным материалам испытаний канала идентификации частиц взвеси в морской воде приходим к выводу о правильности выбранного направления исследований при создании этого канала и определена программа лабораторных работ по выбору оптимальной экспозиции кадров и интенсивности системы освещения регистрируемых объектов.

После выполнения указанных доработок канала идентификации частиц взвесив морской воде необходимо проведение дополнительных морских испытаний комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бреховских Л.М., Кошляков М.Н., Федоров К.Н. и др.** / Полигонный гидрофизический эксперимент в тропической зоне Атлантики – Докл. АН СССР, 1971, 198, № 6, с.1434–1437.

2. **Смирнов Г.В.** Модульные измерительные системы в экспериментальных океанологических исследованиях. – В кн. Методы и аппаратура для океанологических исследований. Севастополь: МГИ АН УССР, 1982, с. 27–31.

3. **Смирнов Г.В., Кушнир В.М., Шадрин А.Б., Шамрай Б.В.** А.С. 1070484 (СССР). Зондирующий комплекс профиля скорости течения. – Оpubл. в Б.И., 1984. № 4.

4. **Смирнов Г.В., Кушнир В.М., Заикин В.М., Шадрин А.Б., Шамрай Б.В.** А.С. 1163272 (СССР) Комплекс автономных измерителей течения. – Оpubл. в Б.И. 1985. № 2.

УДК 551.464.34

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛЯННОГО АУ-НГ МИКРОЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Орехова Н.А., Коновалов С.К.

*Морской гидрофизический институт НАН Украины,
ул. Капитанская, 2, 99011, г. Севастополь, Украина
+38(0692)554-253, naorekh-2004@mail.ru*

Voltammetric profiling of marine bottom sediments with a glass Au-Hg microelectrode has been used to study the vertical redox structure of porewaters. These data allows investigating the influence of various sources of organic matter on the biogeochemical processes succession in sediments.

Донные осадки являются важным компонентом природных экосистем. Они представляют собой гетерогенные многокомпонентные системы, с которыми традиционно ассоциируется конечный этап миграции, трансформации и аккумуляции различных веществ, в первую очередь загрязняющих веществ антропогенного характера. При изменении физико-химических условий донные осадки могут становиться источником вторичного загрязнения. Одно из таких условий определяется состоянием окислительно-восстановительной системы. Активное потребление кислорода способствуют тому, что происходит изменение распределения окислительно-восстановительных биогеохимических процессов в толще донных осадков. Анаэробные процессы протекают ближе к поверхности осадка из-за уменьшения роли аэробных процессов, изменяются окислительно-восстановительные условия среды, сопровождающиеся появлением восстановленных форм серы в донных отложениях, а в некоторых случаях в водной толще. Это приводит к увеличению потока различных соединений (фосфатов, аммония, восстановленных форм металлов и т.п.), а значит к ухудшению экологических характеристик морской среды. Такие явления были отмечены для многих прибрежных районов Мирового океана. По этой причине исследование геохимических характеристик поровых вод и процессов в донных осадках становится одним из ключевых элементов контроля и мониторинга состояния экосистем, в первую очередь, подверженных интенсивному антропогенному влиянию. При этом первостепенное значение приобретают аналитические методы, позволяющие выполнять анализ с высокой точностью и чувствительностью в условиях максимально приближенном к естественным. Одним из таких методов является полярографическое профилирование донных осадков с использованием стеклянного Au-Hg микроэлектрода. Данный метод анализа характеризуется высокой чувствительностью и возможностью одновременного определения нескольких соединений, близких по своим окислительно-восстановительным характеристикам [2, 3]. Анализ осадков может выполняться с высоким вертикальным разрешением (менее 1 мм). При этом возможно определение качественного и количественного состава осадков без предварительной пробоподготовки.

Сигналы на полярограммах позволяют идентифицировать компоненты, участвующие в окислительно-восстановительных процессах, и определять их относительное или абсолютное содержание. Такая информация позволяет исследовать процессы, происходящие в верхнем слое осадков по характеру вертикального распределения различных форм железа, марганца, концентрации кислорода, сульфидов и продуктов их взаимодействия. При этом предел определения для O_2 составляет 5 мкМ/л, H_2S , $Fe(II)$ и $Mn(II)$ – 0,5 мкМ/л, 10 мкМ/л и 5 мкМ/л соответственно. Ошибка определения составляет от 0,5 до 10% в зависимости от концентрации.

В случае моносulfида железа (FeS) и оксида-гидроксида железа ($FeOOH$) возможно лишь их качественное и относительное количественное определение, поскольку их стандартные растворы приготовлены быть не могут.

Полярографическое профилирование с помощью стеклянного $Au-Hg$ микроэлектрода успешно используется для исследования донных отложений как глубоководных, так и прибрежных районов Черного моря с различными условиями формирования осадков.

В рамках проектов "Фундаментальная океанология" НАН Украины и "НУРОХ" ЕС 7thFP нами исследовалась роль различных источников органического вещества в формировании и эволюции окислительно-восстановительных характеристик донных отложений прибрежных районов Крыма: район мыса Тарханкут; бухты Омега и Севастопольская (рис. 1).



Рис. 1. Районы отбора проб донных отложений

Результаты полярографического профилирования донных отложений (рис. 2) Севастопольской бухты свидетельствовали о том, что процессы диагенеза протекали с участием различных окислителей органического вещества, кислород играл существенную роль лишь в самом

верхнем (0–5 мм) слое донных осадков. На глубинах до 110 мм процессы контролировались реакциями с участием железа и, возможно, окисленных форм азота. Восстановленные формы серы хотя и присутствовали в осадках этого слоя, однако они эффективно «оттитровывались» окисленными и восстановленными формами железа.

В районе мыса Тарханкут окисление органического вещества в донных осадках (микробиологических матах) осуществлялось за счет кислорода сульфатов (рис. 3 а), а процесс сульфатредукции сопровождался образованием сероводорода. Учитывая высокую скорость сульфатредукции и малое содержание соединений железа, восстановленные формы железа быстро «оттитровывались» сульфидами с образованием моносulfида железа, поэтому диагенетические процессы с участием железа, в отличие от сульфатов, не играли существенной роли. В изменении вертикального профиля концентраций восстановленных соединений прослеживалась сезонная зависимость – в теплое время года (сентябрь 2009, июнь 2010, август 2010) концентрации сульфидов были максимальными и достигали 3000 мкМ/л, а кислород отсутствовал даже на поверхности донных отложений; в зимнее время интенсивность поступления кислорода и механического разрушения верхнего слоя донных осадков в штормовых условиях приводили к снижению концентраций сероводорода, и моносulfида железа, вплоть до их полного исчезновения.

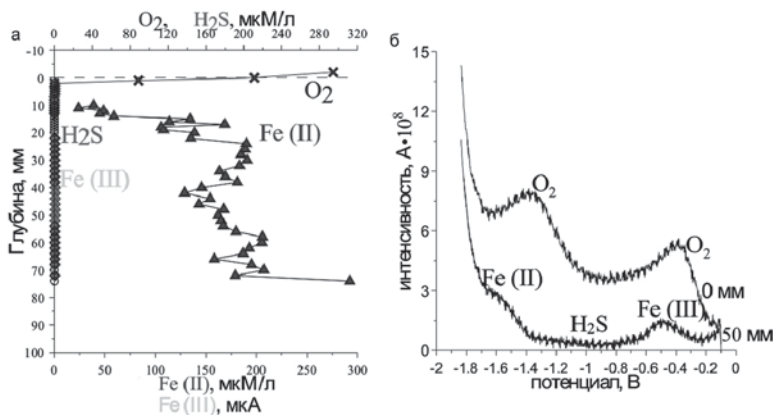


Рис. 2. Вертикальное распределение кислорода, сульфидов, железа (а) и характерные полярограммы поровых вод донных отложений (б) Севастопольской бухты

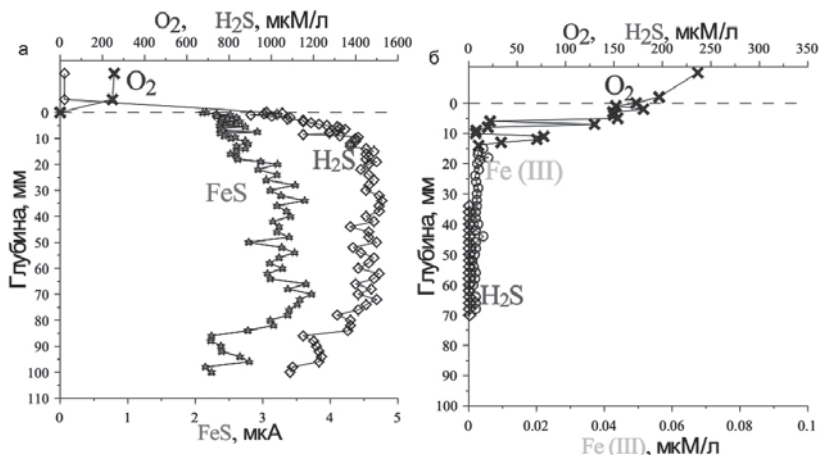


Рис. 3. Вертикальное распределение кислорода, сульфидов, железа поровых вод донных отложений мыса Тарханкут (а) и бухты Омега (б)

В донных осадках б. Омега основным окислителем органического вещества являлся кислород (3 б), который проникал вглубь осадков до 50 мм (в зависимости от сезона отбора проб). Сероводород был зафиксирован в осадках бухты, однако его малая концентрация указывала на то, что процессы сульфатредукции с участием сульфатов не играли существенной роли диагенезе осадков.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Brendel, P.J., Luther, III G.W.** Development of a Gold Amalgam Voltammetric Microelectrode for determination of Dissolved Fe, Mn, O₂, and S (-II) in Porewaters of Marine and Freshwaters Sediments// *Envir. Sci. Technol.* 1995. 29, №3. P. 751–761.
2. **Luther, III G. W, Brendel, P.J., Lewis, B.L.** Simultaneous Measurement of O₂, Mn, Fe, I-, and S (-II) in Marine Pore Waters With a Solid-State Voltammetric Microelectrode // *Limnol. Oceanogr.* 1998. 43, №2. P. 325–333.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Халиков И.С. ¹, Пронин А.А. ²

*1 ФГБУ «НПО «Тайфун», 249038, г. Обнинск, ул. Победы, 4,
(48439)71884, Khalikov@typhoon.obninsk.ru*

*2 Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, Москва*

A solid phase extraction (SPE) coupled with a liquid chromatographic procedure with fluorimetric detection was established for the determination of PAHs (Polycyclic aromatic hydrocarbons), priority pollutants listed by EPA (Environmental Protection Agency) in waters and sediments.

В докладе представлены исследования, связанные с разработкой методов извлечения и определения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в воде и донных отложениях.

ПАУ состоят из двух или более конденсированных ароматических колец и относятся к числу наиболее опасных веществ, загрязняющих повсеместно объекты природной среды. Они являются побочными продуктами, как естественного, так и антропогенного происхождения во время неполного сгорания или пиролиза органических материалов (пиролитические источники) и разливов нефтепродуктов (петрогенные источники). Газообразные или в виде аэрозолей ПАУ в воздухе могут транспортироваться на большие расстояния и передаваться другим объектам природной среды, например воде, донным отложениям и почве.

Многие из ПАУ обладают выраженным канцерогенным и мутагенным действием, и поэтому они должны находиться под постоянным контролем. Из сотен ПАУ, обнаруженных в объектах природной среды, в список приоритетных загрязнителей в развитых странах включены 16 соединений (табл. 1) – по требованиям ЕС (Европейского сообщества) и US EPA (Агентства по охране окружающей среды, США). Наибольшую канцерогенную активность имеют следующие ПАУ – бенз(а)пирен, дибенз(а,h)антрацен, бенз(b)флуорантен, инден(1,2,3-c,d)пирен, бенз(a)антрацен.

Таблица 1. Формулы и физические свойства некоторых ПАУ

ПАУ	CAS No.	Молекулярная формула	Мол. масса	Число циклов	Темп. кип., °С	Давление насыщ. пара при 25 °С кПа
нафталин	91-20-3	C ₁₀ H ₈	128	2	218	1,1 × 10 ⁻²
аценафтилен	208-96-8	C ₁₂ H ₈	152	3	265-280	3,9 × 10 ⁻³
аценафтен	83-32-9	C ₁₂ H ₁₀	154	3	278-279	2,1 × 10 ⁻³
флуорен	86-73-7	C ₁₃ H ₁₀	166	3	341	8,7 × 10 ⁻³
фенантрен	85-01-8	C ₁₄ H ₁₀	178	3	339-340	2,3 × 10 ⁻³
антрацен	120-12-7	C ₁₄ H ₁₀	178	3	340	3,6 × 10 ⁻⁶
флуорантен	206-44-0	C ₁₆ H ₁₀	202	4	375-393	6,5 × 10 ⁻⁷
пирен	129-00-0	C ₁₆ H ₁₀	202	4	360-404	3,1 × 10 ⁻⁶
бенз(а)антрацен	56-55-3	C ₁₈ H ₁₂	228	4	435	1,5 × 10 ⁻⁸
хризен	218-01-9	C ₁₈ H ₁₂	228	4	441-448	5,7 × 10 ⁻¹⁰
бенз(б)флуорантен	205-99-2	C ₂₀ H ₁₂	252	5	481	6,7 × 10 ⁻⁸
бенз(к)флуорантен	207-08-9	C ₂₀ H ₁₂	252	5	480-481	2,1 × 10 ⁻⁸
бенз(а)пирен	50-32-8	C ₂₀ H ₁₂	252	5	493-496	7,3 × 10 ⁻¹⁰
дибенз(а, h)антрацен	53-70-3	C ₂₂ H ₁₄	278	5	524	1,3 × 10 ⁻¹¹
бенз(г, h, i)перилен	191-24-2	C ₂₂ H ₁₂	276	6	525	1,3 × 10 ⁻¹¹
инден[1,2,3-с, d]пирен	193-39-5	C ₂₂ H ₁₂	276	6	536	около 10 ⁻¹¹

С ростом молекулярной массы ПАУ уменьшается давление пара, растворимость в водных растворах и увеличивается температура плавления и кипения (табл. 1).

Определение и контроль концентраций ПАУ в экологических образцах, в том числе в воде и донных отложениях имеет важное токсикологическое значение как для растений и животных, так и оценки риска для здоровья человека.

К настоящему времени были разработаны и применены для контроля этих соединений в воде и донных отложениях много разнообразных аналитических методов, в том числе и иммунологические, хотя ПАУ в основном определяют хроматографическими методами. Наиболее часто используемыми методами определения ПАУ является высокоэффективная жидкостная хроматография с флуориметрическим детектором (ВЭЖХ-ФЛД) и газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектором (ГХ-МС).

Так как растворимость ПАУ в водных образцах резко уменьшается с увеличением молекулярной массы и их концентрации чрезвычайно низки, то при определении ПАУ в воде, как правило, требуется предварительная пробоподготовка образца. Одним из наиболее технологичных

методов пробоподготовки является твердофазная экстракция (ТФЭ). Применение ТФЭ позволяет обрабатывать пробы большого объема с использованием сравнительно малых количеств сорбента, что в свою очередь требует меньшего расхода растворителей для последующей десорбции сконцентрированных соединений, тем самым снимается необходимость дополнительного выпаривания и существенно уменьшает риск загрязнения образца.

Одной из целей настоящей работы являлась разработка простого, экономически эффективного и быстрого способа извлечения ПАУ из воды с помощью сорбента C_{18} . В ходе работы изучены условия сорбции разных концентраций ПАУ (смесь ЕРА 610 + 1-метилнафталин и бенз(е)пирен) из дистиллированной, водопроводной, речной и морской воды, и десорбции ПАУ с сорбента, определены оптимальные элюенты и условия элюирования. Выделение ПАУ из воды проводили в динамическом режиме с помощью ТФЭ на полипропиленовых картриджах (1 мл, Supelco) с гидрофобным сорбентом C_{18} (100 мг, Waters) и использования вакуумного манифолда VacMaster-10. Активацию и кондиционирование картриджа проводили 1 см³ ацетона, с последующей промывкой 1 см³ бидистиллированной воды. Анализируемый образец воды (100 см³) с добавлением 1 см³ ацетона пропускали через картридж со скоростью около 5 см³/мин. Загрязнения вымывали 1 см³ 20% ацетона, далее картридж сушили под вакуумом в течение 3 мин и элюировали ПАУ (2×1 см³ ацетона).

Для регистрации пиков, идентификации и количественного определения ПАУ использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием и использованием детектора на диодной матрице при больших концентрациях, что позволило обеспечить правильность идентификации. Измерения проводили на жидкостном хроматографе «LC-20 Prominence» производства фирмы Shimadzu, состоящего из дегазатора DGU-20A3, насоса LC-20AD, автосэмплера SIL-20A, термостата колонок CTO-20AC, флуоресцентного детектора RF-20A, диодноматричного детектора SPD-M20A, системного контроллера CBM-20A Lite. При разделении ПАУ использовали колонку Envirosep PP (125×3,2 мм, 5 мкм) производства фирмы Phenomenex с предколоной Kromasil фирмы Akzo Nobel, заполненной сорбентом C_{18} , 5 мкм, в условиях градиентного элюирования смесью ацетонитрила и воды. В качестве градуировочных стандартов использовали стандартные растворы индивидуальных ПАУ и их смесей производства фирмы «Supelco». При установлении градуировочных характеристик и выполнении определений массовых концентраций ПАУ соблюдали следую-

щие условия: температура термостата колонки – 40°C; режим элюирования – градиентный от 50% объемной доли ацетонитрила в воде до 90%; скорость потока элюента – 1 см³/мин; объём вводимой аликвоты – 10 мкл. Следует отметить, что аценафтилен не обнаруживается ВЭЖХ-ФЛД в этих условиях. В течение 22 мин происходило полное разделение смеси 17 ПАУ. Правильность результатов определения ПАУ подтверждали методом «введено – найдено».

Степень извлечения составляла для 2–4 ядерных ПАУ около 80% и для 5–6 ядерных около 60%, используя разные концентрации. Предел обнаружения составлял около 0,5 нг/л для важных ПАУ (100 мл воды, 2 мл элюата). Увеличение объема анализируемой пробы воды и упаривание элюата (ацетона) позволяет снизить предел обнаружения ПАУ в воде.

Подготовка проб и особенности извлечения ПАУ является важным шагом в анализе донных отложений, потому что эти гидрофобные соединения сильно сорбируются в этом материале.

Пробоподготовка донных отложений состояла из этапов отбора проб, высушивания образцов до постоянного веса (не выше 50 °С), измельчения высушенных проб в ступе до гомогенного порошка.

Метод анализа основан на выделении ПАУ из 1–2 г донных отложений экстракцией гексаном (10 см³×2) под действием ультразвука в течение 10 мин, фильтровании через бумажный фильтр, концентрировании объединенных экстрактов на ротационном испарителе в вакууме водоструйного насоса или в токе азота при температуре не выше 40°C до объёма 1–2 см³, очистке полученного экстракта от мешающих примесей с помощью твердофазной экстракции (ТФЭ) и использования вакуумного манифолда VacMaster-10 на картриджах с силикагелем (1 г/6 мл, 63–200 мкм, Selecto Scientific), элюировании ПАУ ацетонитрилом (3 см³) и разделении компонентов методом ВЭЖХ вышеописанным способом.

Эффективность суммарной экстракции гексаном и очистки с помощью ТФЭ составила примерно 70%. Границы относительной суммарной погрешности (для доверительной вероятности Р = 0,95) составляли не более 20% во всем диапазоне измерений. Интервалы определения массовой концентрации ПАУ в донных отложениях составляли от 0,05 до 100 мкг/кг для разных соединений.

Работоспособность методов извлечения и определения ПАУ с помощью ВЭЖХ-ФЛД была успешно реализована в практических работах по анализу воды и донных отложений Байкала, Черного и Балтийского морей.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ РАСТВОРЕННЫХ В ВОДЕ ВЕЩЕСТВ

Аистов Е.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
stelmet@rambler.ru*

The article describes the capabilities of Raman spectroscopy for oceanographic research, as well as a series of laboratory work to obtain the Raman spectra.

Очевидно, что для решения научных и прикладных задач очень ценно знать информацию о наличии и количестве определенных веществ в морской воде. Еще более ценно уметь получать такую информацию в режиме измерения в реальном времени.

В лаборатории Методологии и технических средств океанологических исследований института океанологии РАН ведется поиск способов создания измерительных каналов, способных определить наличие и концентрацию определенных веществ в морской воде.

Проанализировав различную литературу и разработки, была поставлена задача исследования возможности создания прибора на основе спектрометрии комбинационного рассеяния света, позволяющего определить наличие той или иной примеси в морской воде. В пользу возможности применения спектроскопии КР для определения концентрации веществ в водном растворе говорят результаты работы [1]. При получении положительного результата планируется создать на основе этого прибора измерительный канал и включить его в состав многоканального комплекса для океанологических исследований, который в настоящий момент проходит цикл натурных испытаний. Одной из особенностей данного комплекса является получение информации в реальном времени и в непрерывном режиме по каждому из имеющихся измерительных каналов на любой глубине погружения вплоть до нижней рабочей.

Чтобы реализовать поставленные задачи, было решено провести цикл лабораторных работ по получению, сравнению и оценке спектров комбинационного рассеяния дистиллированной воды и различных водных растворов. Этот цикл должен включать в себя, в частности, создание стенда для проведения лабораторных работ, эксперимент по получению и регистрации спектра КР дистиллированной воды, эксперименты по регистрации спектра КР водных растворов солей.

Схема возникновения комбинационного рассеяния с точки зрения классической квантовомеханической модели с добавлением гипотезы об обмене энергией между излучением и веществом, происходящим при рассеянии света, показана на рис. 1 и описана, например, в [2].

Следует отметить важный факт, определяющий успех экспериментов с комбинационным рассеянием: спутники с частотами $\nu_0 \pm \nu_1$ сопровождают каждую линию первичного света, каков бы ни был источник, но их нужно суметь зарегистрировать. Если спектр источника излучения имеет слишком близко расположенные спектральные линии, то комбинационное рассеяние будет от каждой из них и сольется со спектром источника.

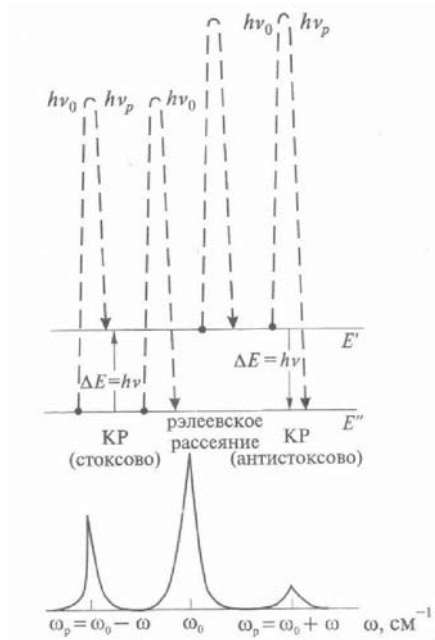


Рис. 1. Схема возникновения линий рэлеевского и комбинационного рассеяния

Современные, выпускаемые промышленностью, спектрометры для КРС дают возможность быстро и точно определять частоты линий и достаточно легко и корректно измерять их интенсивности.

Упрощенная схема лазерной установки для изучения спектров КР приведена на рис. 2.

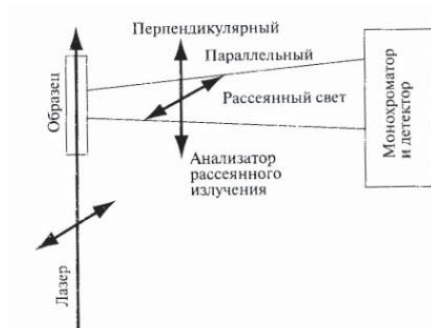


Рис. 2. Схема установки для исследования спектров КР

Существуют три основные схемы освещения кюветы с веществом, различающиеся углом между лучом лазера и направлением наблюдения: 1) традиционная схема «90», (приведённая на рис. 2) когда луч лазера проходит перпендикулярно к направлению наблюдения; 2) схема «180», при которой луч лазера идёт в направлении от щели (в этой схеме при исследовании сильно отражающих веществ значительная часть лазерного излучения попадает в монохроматор, к которому в этом случае предъявляются специальные требования); 3) схема «0» или «на просвет», в которой луч лазера направлен непосредственно на щель [2].

Забегая вперед, стоит отметить, что при проведении описанных ниже лабораторных работ благодаря конструктивным особенностям имеющегося в наличии стенда и спектроанализатора была вначале реализована схема «180», но из-за обнаружения сильного влияния на получаемый сигнал факта попадания паразитного лазерного излучения в объектив спектроанализатора, пришлось реализовать традиционную схему освещения.

Но даже для регистрации и исследования наиболее заметного сигнала валентной полосы спектра КР воды требуется максимально повысить его интенсивность. Кроме применения высокочувствительного приемника излучения этого можно достигнуть двумя путями: применить более мощный лазер или применить так называемую многоходовую систему [3]. Эта система обеспечивает прохождение через кювету с образцом луча от источника излучения (лазера) несколько раз с помощью, например, отражения на системе зеркал. Тогда суммарный путь луча через образец увеличивается, при этом он испытывает комбинационное рассеяние на всем своем пути. Значит, увеличивается и интенсивность суммарного сигнала комбинационного рассеяния.

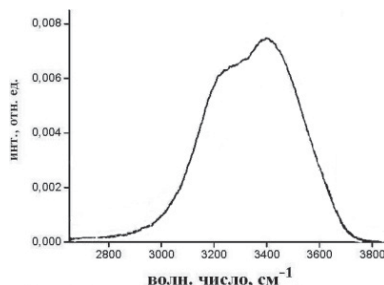


Рис.3. Спектр комбинационного рассеяния воды

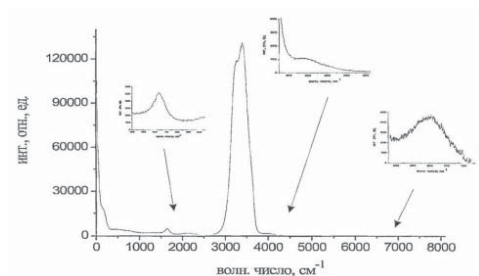


Рис. 4. Валентная область спектра комбинационного рассеяния воды

Экспериментально показано, что спектры КР дистиллированной воды и водных растворов различных веществ отличаются друг от друга и несут в себе информацию о наличии и концентрации растворенных веществ [1]. Измерительный канал на базе спектрометрии КР должен уметь извлекать эту информацию.

Для оценки картины спектров комбинационного рассеяния водных растворов удалось получить в свое распоряжение экспериментальную модель акустооптического спектроанализатора AS-1, разработанного при участии ОКБ океанологической техники РАН, а в качестве источника излучения – твердотельный лазер с длиной волны 523 нм и мощностью 10 мВт.

Для проведения циклов лабораторных работ использован созданный в лаборатории Стенд для исследования технических характеристик гидрооптических каналов. Для экспериментов с КР стенд собран в следующем составе: спектроанализатор, источник излучения (лазер), кювета с исследуемым водным раствором и дополнительная оптическая система (многоходовая система в частности).

Стенд содержит в себе (рис. 5): 1) металлический стол-стеллаж; 2) спектроанализатор AS-1; 3) твердотельный лазер; 4) аквариум; 5) систему очистки воды «Аквафор»; 6) блок питания; 7) персональный компьютер. Также в стенд входит чехол из светонепроницаемой ткани и защитный короб на полку, где размещен спектроанализатор.

Описание конструкции и работы стенда выглядит следующим образом.

Несущим элементом является металлический стол-стеллаж. В левой его части на приемлемой для работы высоте помещается закрытая с помощью защитного кожуха полка с установленным на неё аквариумом емкостью 72 л. Защитный кожух (световая защита) служит для исключения влияния на эксперимент окружающего светового излучения и изготовлен из черного светонепроницаемого пластика. Он имеет створку для доступа к аквариуму, а также быстросъемную секцию (кожух) для доступа к спектроанализатору.

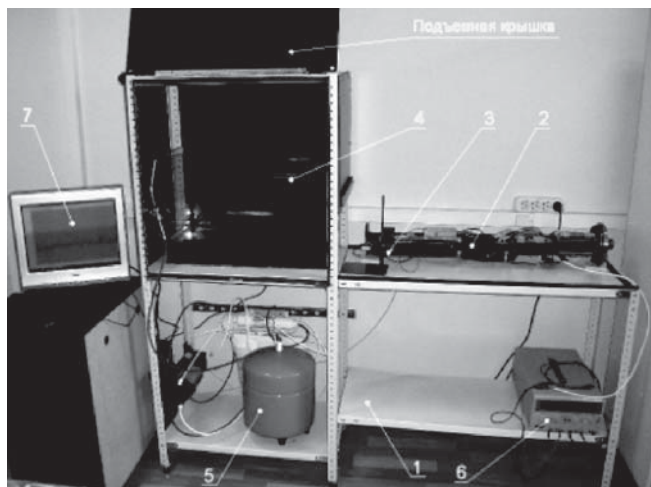


Рис. 5. Стенд для исследования технических характеристик гидрооптических каналов в конфигурации для исследования КР

В правой части стеллажа на одном уровне с аквариумом помещается спектроанализатор, необходимая система зеркал и источник излучения (лазер) на штативе, позволяющем регулировать высоту и направление лучей.

В нижней части стеллажа имеются две полки, где находятся блок питания спектроанализатора, вспомогательные инструменты и установка обратного осмоса Аквафор ОСМО-50. Она служит для получения

воды, очищенной по технологии обратного осмоса, которая используется для наполнения аквариума и приготовления необходимых для проведения эксперимента растворов.

Рядом со стеллажом оборудовано рабочее место исследователя-оператора, включающее в себя компьютер с установленной на него программой управления спектроанализатором и обработки получаемых результатов.

Лазерный луч проходит через стекло аквариума и находящийся внутриводный раствор. При этом часть излучения отражается от поверхностей стёкол, а другая часть рассеивается в водной среде. Рассеянное излучение при этом содержит как частоту лазера, так и отличные от неё частоты, обусловленные в частности комбинационным рассеянием. Спектр этих частот зависит от состава раствора, т.е. несёт в себе информацию о наличии и количестве тех или иных примесей. Рассеянное и отраженное излучение попадает в объектив спектроанализатора, раскладывается в спектр и преобразуется в электрический сигнал, пригодный для анализа. Спектроанализатор может работать в двух режимах: в режиме регистрации поступающего в объектив излучения и в режиме получения спектра комбинационного рассеяния. Чтобы исключить при необходимости влияние интенсивного излучения на частоте лазера или другого источника, применяется в конструкции спектроанализатора специальный избирательный фильтр. Для исключения влияния фонового излучения (электрический свет, дневной свет) используется защитный кожух и чехол из светонепроницаемой ткани, закрывающий весь стенд во время эксперимента.

Управляющая программа позволяет просмотреть на экране компьютера получаемый от спектроанализатора сигнал в виде графика зависимости интенсивности излучения от длины волны. В программе возможно изменять исследуемый диапазон длин волн и число шагов, т.е. число разбиений этого диапазона, по которым спектроанализатор измеряет интенсивность и строит график. Также имеется возможность сохранить полученный график для последующего анализа.

Подготовка воды с помощью установки Аквафор ОСМО-50. Установка обратного осмоса должна выдавать воду, по качеству очистки напоминающую дистиллированную, получая на входе воду с примесями, например, как в нашем случае, водопроводную. Качество воды, получаемой на выходе установки обратного осмоса Аквафор ОСМО-50 (исполнение 05), проверялось потенциометрическим методом с помощью анализатора жидкости многопараметрического Экотест-2000 (номер, см. рис. 6), ионоселективных электродов «ЭКОМ-NO3» и «Эком-

Cl», а также электрода вспомогательного лабораторного хлорсеребряного ЭВЛ-1МЗ.1 (электрод сравнения). Метод заключается в измерении разности потенциалов (э.д.с.) измерительного электрода и электрода сравнения в растворе. Измерения проводились по официальным методикам [7–10]. Были измерены концентрации нитрат-ионов и хлорид-ионов. По результатам измерений оказалось, что водопроводная вода имеет концентрацию нитрат-ионов 5,967 мг/л и хлорид-ионов – 23,8 мг/л. Из установки Аквафор ОСМО-50 мы получаем сильно очищенную воду с концентрацией нитрат-ионов 0,353 мг/л и хлорид-ионов – 1,716 мг/л. Решено было считать качество такой воды приемлемой для приготовления лабораторных растворов.



Рис. 6. Анализатор жидкости «Экотест-2000»

После сборки и наладки оборудования стенда был произведен ряд тестовых измерений. Спектроанализатор работал в режиме получения спектра входного излучения. В результате были получены спектры лазера спектроанализатора, зелёного светодиода, белого светодиода и лампы накаливания (рис. 7, 8). При этом эти источники излучения размещались на предполагаемой оптической оси спектроанализатора. Аквариум был при этом удален.

Получение данных результатов подтвердило работоспособность спектроанализатора в режиме спектрофотометра.

Анализ проведенных измерений позволил предположить необходимость точной настройки пересечения лучей многоходовой системы с оптической осью объектива спектроанализатора. На необходимость такой юстировки указывает и угловое поле объектива спектроанализатора, равное $0,6^\circ$ согласно паспортным данным.

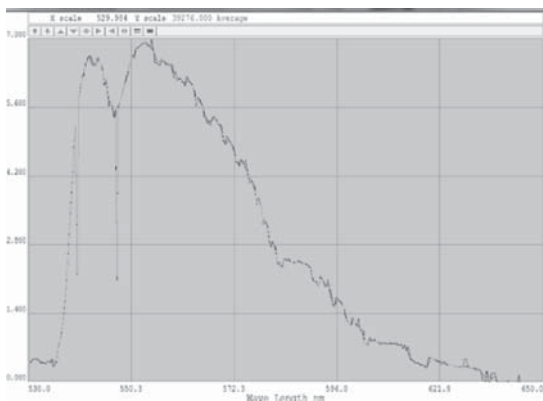


Рис. 7. Спектр лазера

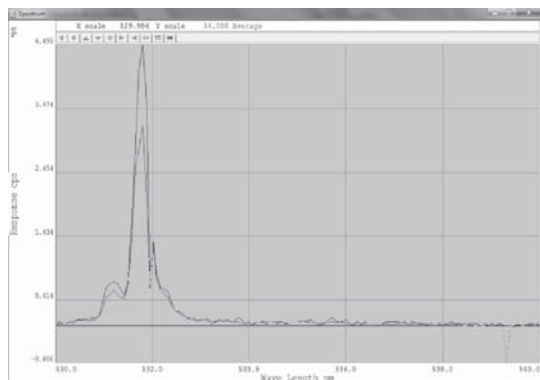


Рис. 8. Спектр зеленого светодиода

Настройку пересечения луча лазера и оптической оси объектива проводили по схеме на рис. 9.

Лазер устанавливается на штативе рядом со спектроанализатором, как и в случае классической многоходовой системы. Лазер можно перемещать по штативу по вертикали. Луч лазера и ось объектива выставляются параллельными общему основанию. В качестве тестового объекта использовался штифт с металлическим блестящим шариком на конце. Он был закреплен на штанге, обеспечивающей перемещение шарика вверх-вниз. И шарик, и лазер на штативе имеют шкалу и стрелку для обеспечения одинаковых перемещений. Луч лазера наводится на

шарик. Лазерное излучение отражается от шарика во все стороны, шарик светится, имея при этом малые размеры. Значительная часть лазерного излучения может попасть в объектив при определенных положениях шарика и лазера.

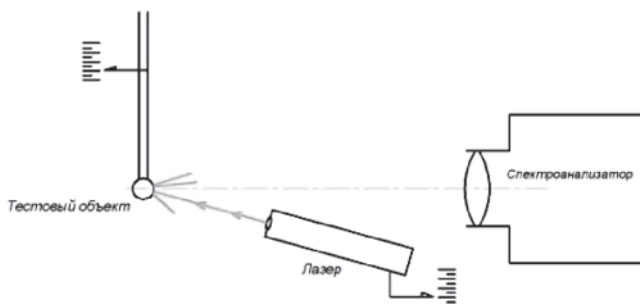


Рис. 9. Схема наведения лазера на ось объектива

Было высказано предположение, что, перемещая на определенные количества делений шкалы вверх-вниз шарик и на столько же делений лазер и снимая при этом сигналы спектра в режиме получения спектра входного излучения, можно получить максимум интенсивности сигнала, что, очевидно, будет соответствовать, учитывая малые размеры углового поля объектива, положению пересечения луча лазера и оптической оси спектроанализатора. Это предположение основано на том, что в простой оптико-электронной системе, состоящей из объектива и приемника, максимальный выходной сигнал будет регистрироваться при нахождении источника излучения на оптической оси объектива. Реализация данного опыта на практике показана на рис. 10.

На полке, где помещается спектроанализатор и аквариум, была тщательно размечена и проведена прямая, являющаяся проекцией оптической оси. После этого спектроанализатор был выставлен и закреплен на полке так, чтобы его проекция его оси совпадала с прямой на полке (использовались геометрические измерения, отвес и угольник). Штанга с шариком закреплялась на шарнире к потолку секции для аквариума таким образом, чтобы получился маятник, который при любом перемещении шарика под действием силы тяжести занимал нижнее положение на прямой, перпендикулярной полке и проходящей через проекцию оптической оси.

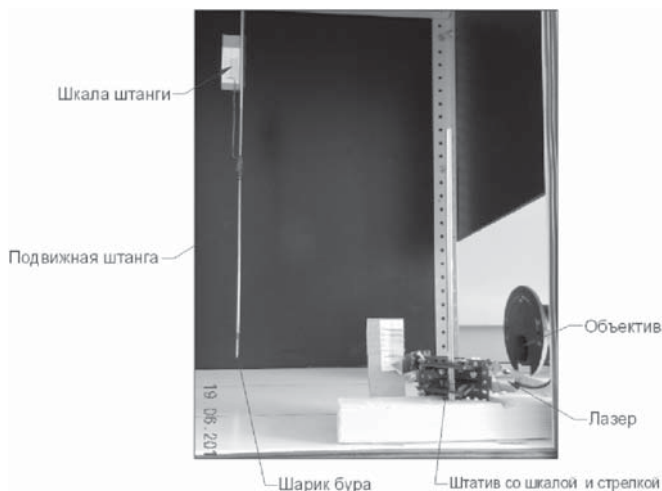


Рис. 10. Настройка лазера на ось объектива

В процессе измерений шарик и лазер поднимались на одинаковое число делений, и осуществлялся визуальный контроль попадания луча на шарик в горизонтальной плоскости.

Цена деления шкалы 1 мм. Начало отсчета соответствует расстоянию 42 мм от полки до шарика.

Результаты измерений максимума сигнала спектроанализатора при прохождении от нуля шкалы вверх помещены в таблице:

H, мм	Response, cps E^4 .
0	1,2
5	0,7
7	2,3
8	14
9	21,3
10	45
11	35
12	9,5
13	28,7
14	12,5
15	14,8
16	4,7
17	1,5

Из этих данных видно, что максимум сигнала соответствует 10 мм шкалы. Это значит, что оптическая ось объектива находится в 52 мм от полки (в рамках данных условий эксперимента). Причем, чувствительность прибора распределена неравномерно относительно максимума.

В дальнейшем, для обеспечения максимума принимаемого сигнала луч лазера и лучи многоходовой системы помещались на этой, экспериментально найденной высоте максимума сигнала – 52 мм. В этом заключалась настройка данной оптической системы по угловому полю.

Как говорилось выше, для повышения интенсивности рассеянного излучения необходимо реализовать несколько проходов лазерного излучения через раствор – многоходовую систему (больше длина пути луча в исследуемой среде – возникает больше рассеянного излучения, а значит, больше рассеянного излучения попадает в объектив), что возможно с помощью системы зеркал с наружным напылением. Зеркала с внутренним напылением дают нежелательную паразитную засветку от наружной поверхности.

Первый вариант многоходовой системы (схема «180») показан на рис. 12. Зеркала устанавливались на самодельных кронштейнах (рис. 13) на дне аквариума с водой. Установка зеркал снаружи сильно повышает паразитную засветку благодаря многим отражениям лазерного луча от поверхностей стекол аквариума и (а значит, опять не исключается избыток попадания лазерного излучения в объектив).

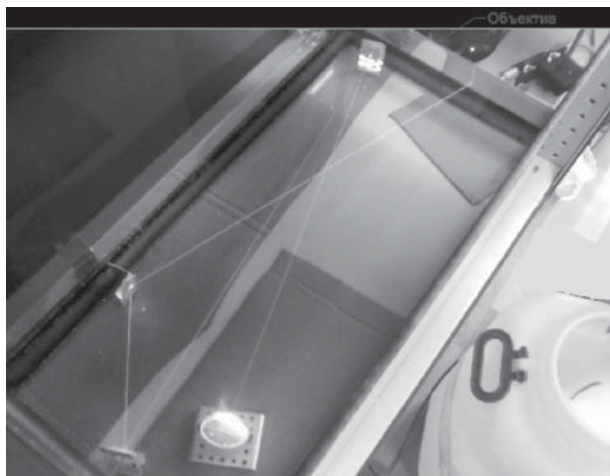


Рис. 12. Первый вариант многоходовой системы

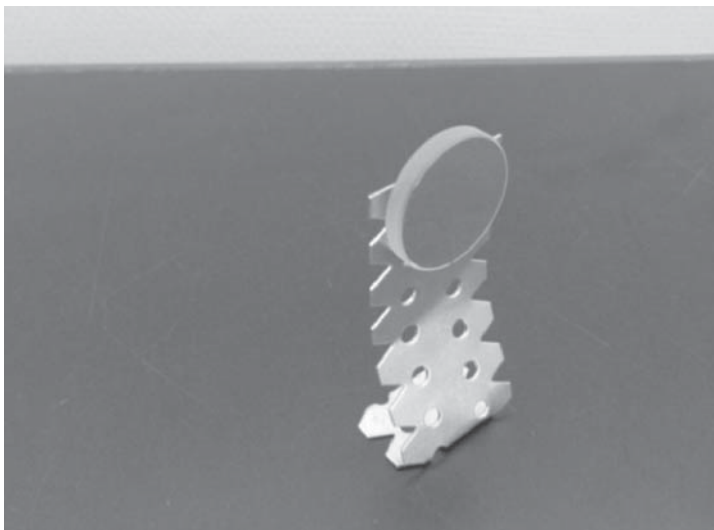


Рис. 13. Зеркало на кронштейне

К сожалению, спектр, полученный при использовании данной схемы включения, содержал в себе пик большой интенсивности на частоте лазера, либо, при попытках установить зеркала и лазер под такими углами, чтобы максимально исключить попадание лазерного излучения в объектив, получался сигнал, лишь немного отличающийся по характеру от сигнала шумов. Выделить какую-либо информацию из такого сигнала крайне сложно.

Поэтому, проанализировав схему установки в работе [1], было принято решение реализовать подсветку аквариума многоходовой системой классического вида.

Реализация классической многоходовой системы представлена на рис. 14. Лазерный луч пересекает оптическую ось объектива под углом $50\text{--}60^\circ$. Далее луч последовательно отражается от трех зеркал, при этом угол между падающим и отраженным лучами составляет $30\text{--}35^\circ$. В конце луч попадает в резиновую трубку на кронштейне, в которой поглощается пришедшее излучение. Рассеянное излучение распространяется под различными углами, и часть его попадает в объектив спектроанализатора. В данной конструкции нет нежелательных отражений и углы прохождения лазерного луча таковы, что попадание паразитного лазерного излучения в объектив спектроанализатора практически сведено к минимуму.

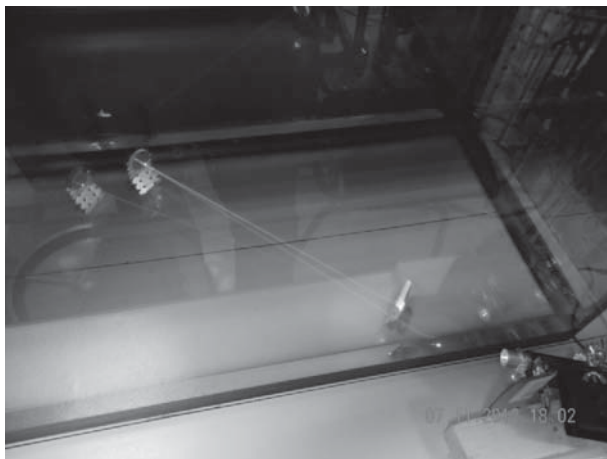


Рис. 14. Многоходовая система классического вида

После установки многоходовой системы были проведены попытки получения спектра КР воды. Спектрометр был выбором пункта управляющей программы переведен в режим рамановской спектроскопии, после чего бы произведен ряд измерений. Типичный график, выдаваемый спектроанализатором в режиме рамановской спектроскопии, показан на рис. 15.

Отчетливо виден пик интенсивности излучения в районе частоты лазера, что, по-видимому, говорит о неэффективной работе избирательного фильтра. Дальнейший сигнал похож на сигнал шумов прибора и полезный сигнал, если он есть, практически не отличим от шумов. Увеличение числа измерений (шагов), производимых системой за один проход спектрального диапазона не дало увеличения полезного сигнала (рис. 16).

Как было сказано выше, наиболее интенсивная валентная полоса спектра КР воды лежит в диапазоне от 2800 до 3800 см^{-1} (рис. 4). Установив этот диапазон измерений, была получена картина, показанная на рис. 17.

Дальнейшие попытки получить спектр комбинационного рассеяния лазерного излучения в воде проводились для различных комбинаций режимов работы спектроанализатора. Сигнал в этих случаях был по-прежнему сигналом шумов, изредка содержащим пик интенсивности на частоте лазера.

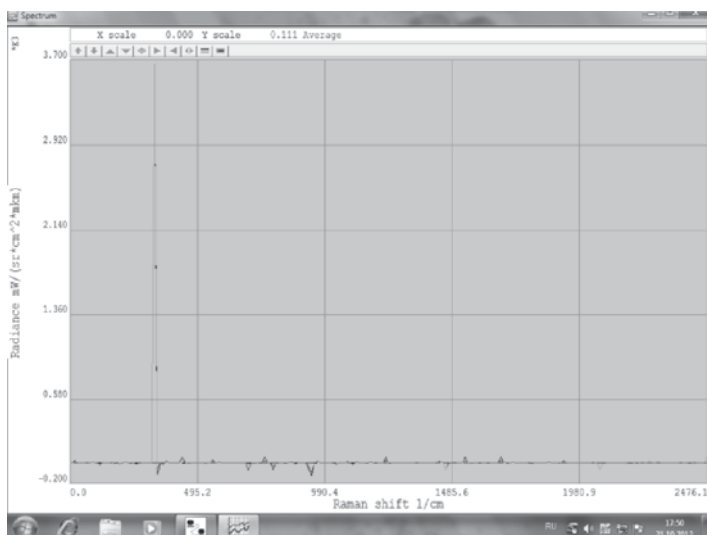


Рис. 15. Типичный вид спектра, получаемого в режиме рамановской спектроскопии

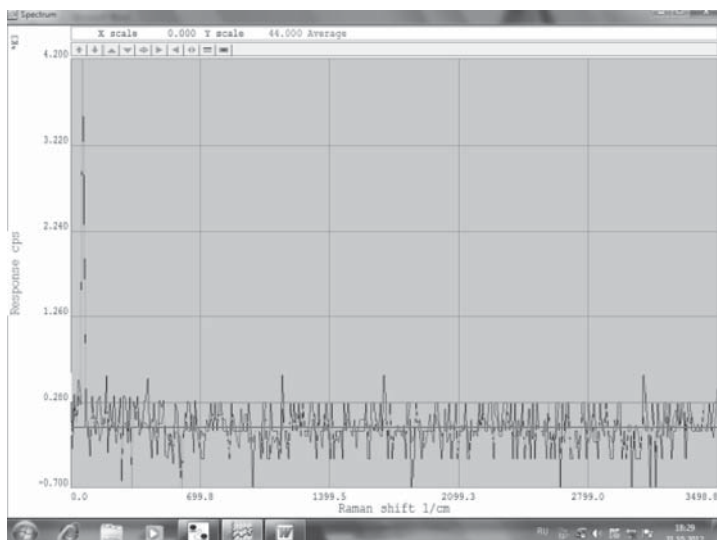


Рис. 16. Вид спектра при увеличении числа шагов

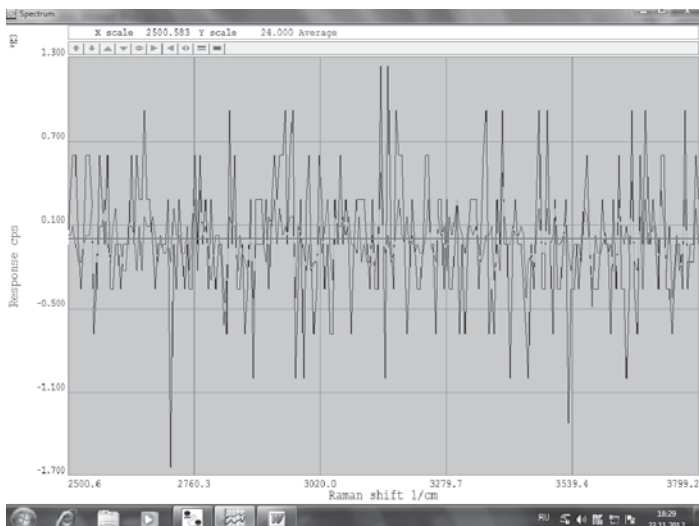


Рис. 17. Спектр, полученный в районе предполагаемой валентной полосы спектра КР воды

Данная лабораторная работа является начальным этапом для возможной обширной исследовательской программы. Создание измерительного канала на основе регистрации и анализа спектра комбинационного рассеяния морской воды и включение его в состав многоканального зонда позволит не доставлять для анализа образцы с каждого горизонта глубины, а получать информацию, например, о количестве той или иной примеси в реальном времени на экране монитора оператора на всем протяжении зондирования. Результатом лабораторной работы являются следующие выводы: во-первых, необходимо применить дополнительный избирательный фильтр для исключения из входного сигнала излучения на частоте лазера; во-вторых, для повышения интенсивности рассеянного излучения необходимо применить более мощный лазер, и, возможно, более совершенную многоходовую систему.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Буриков С.А.** Закономерности проявления гидратации ионов в спектральных полосах комбинационного рассеяния воды. диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. – М.: МГУ, 2008.

2. Пентин Ю.А., Курамшина Г.М. Основы молекулярной спектроскопии. – М.: Мир, 2008.

3. Чернин С.М. Многоходовые системы в оптике и спектроскопии. – М.: Физматлит, 2010.

УДК 551.465

ЛАЗЕРНЫЙ ДОПЛЕРОВСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ВОДНЫХ ПОТОКОВ

Каминский Ю.Д.¹, Серых В.Я.²

*1 ОАО «НИИТеплоприбор», пр. Мира, 95, 129085, г. Москва,
+7 916-062-08-99, e-mail: kaminjd@mail.ru*

*2 Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)129-19-90,
e-mail: serykh@ocean.ru*

The paper studies the outlook for ceating a new type of water flow velocimeter based on laser Doppler anemometry method, designs of main units – laser Doppler transducers, and Doppler signal processing systems. The test results of the experimental prototype (LIS-T) and the characteristics of the test bed are given.

Одно из активно развивающихся направлений современного научного и промышленного приборостроения – применение лазерных измерительных технологий, в частности, принципов лазерной доплеровской анемометрии (ЛДА) для создания нового класса приборов для измерения скорости, расхода, длины и пройденного пути [1, 2].

Высокие метрологические и динамические характеристики, ограниченное влияние внешних факторов, имитационная градуировка и поверка, определяют перспективность применения методов ЛДА для создания лазерных измерителей скорости течения водных потоков для приповерхностных и глубоководных исследований в морях и океанах, мониторинга гидрологических режимов рек, водоемов и прибрежного шельфа, а также для измерения скорости и пройденного пути подводных аппаратов.

В ГНЦ ОАО «НИИТеплоприбор» совместно с Институтом океанологии и Институтом водных проблем РАН были проведены исследова-

ния возможности создания лазерного измерителя скорости течения водных потоков, разработан экспериментальный образец (ЛИС-Т) и проведены его лабораторные испытания.

Прибор состоит из лазерного доплеровского датчика (ЛД) и специализированного процессора доплеровского сигнала (СП). Анализ возможных вариантов оптических схем ЛД показал, что для создания надежной недорогой модификации, предназначенной для работы в тяжелых условиях эксплуатации в чистой и загрязненной воде, наиболее перспективными являются схемы на основе дифракционных расщепителей лазерного пучка [3]. При использовании дифракционных расщепителей на фазовых или амплитудных решетках не требуется стабилизации длины волны лазера, а, соответственно, стабилизация температуры лазера, возможно применение многомодовых лазеров, а также повышается виброустойчивость датчика.

Для упрощения конструкции, уменьшения количества оптических элементов и технологии юстировки датчик выполнен на базе интегрального оптического модуля. Внешний вид лазерного доплеровского датчика ЛД-03 приведен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид лазерного доплеровского датчика ЛД-03

Выходной сигнал лазерного доплеровского датчика представляет собой совокупность неинформационной низкочастотной составляющей, информационной высокочастотной составляющей, электрических и оптических шумов.

Требования к системе обработки такого сигнала зависят от многих факторов: требуемой точности, свойств потока, отношения сигнал/шум, скорости потока, степени турбулентности, концентрации микрочастиц и пр., что обуславливает сложность алгоритма обработки и его аппаратной реализации.

В последнее время для промышленных измерителей скорости и расхода наибольшее распространение получили различные варианты счетно-импульсных процессоров, основанных на выделении переходов доплеровского сигнала через нулевые значения, как аппаратными, так и программными средствами [4].

Высокоточный счетно-импульсный сигнальный процессор (СП), оптимизированный для работы в ЛИС-Т должен обеспечивать:

- максимальное число отсчетов в единицу времени,
- минимальную вероятность ложных отсчетов,
- оптимальное усреднение информации.

Наиболее подходящим решением вопроса создания высокоточного и технологичного СП является использование цифровых сигнальных процессоров (DSP) и микросхем программируемой логики – ПЛИС (FPGA).

Применение алгоритмов на базе вейвлет-разложения [5] позволяет создать СП для работы в широком диапазоне доплеровских частот, отличающийся легкой повторяемостью при серийном производстве, экономичностью и относительно низкой стоимостью.

На рис. 2 приведен внешний вид СП-02, выполненного на базе 16-разрядного процессора ADSP-BF-532 и обеспечивающего погрешность измерения доплеровской частоты $\Delta \leq \pm 0,1\%$ в диапазоне доплеровских частот 0,1÷250,0 кГц.



Рис. 2. Внешний вид СП-02

Для расширения диапазона измерения доплеровских частот разработан 12-канальный спецпроцессор СП-03, выполненный на ПЛИС Virtex-5 SX50T (ф. Xilinx). СП-03 обеспечивает измерение доплеровской частоты с погрешностью $\Delta \leq \pm 0,2\%$ в диапазоне 0,1÷2000,0 кГц.

Испытания ЛИС-Т были проведены на проливной установке с открытым каналом ПУ-01 с образцовым лазерным измерителем скорости ЛДИС-01 и на большом гидравлическом лотке “Armfield S6-Mk11” (Англия) РГГУ (Москва) рис. 3.

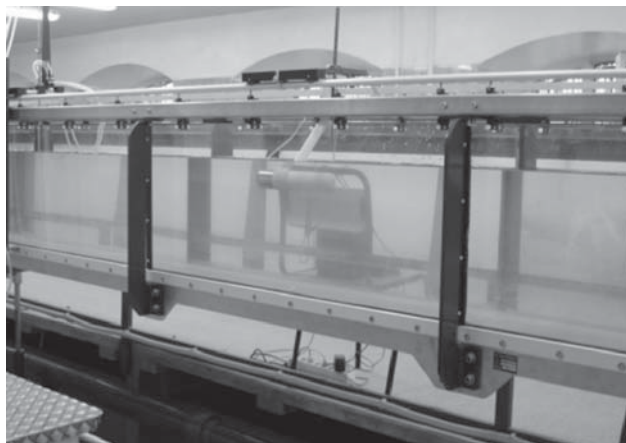


Рис. 3. ЛИС-Т на гидравлическом лотке “Armfield S6-Mk11”

Разработанный образец ЛИС-Т обеспечивает измерение скорости течения в диапазоне скоростей 5 мм/с...10 м/с с основной относительной погрешностью $\pm 0,3\%$. Рабочее расстояние (от датчика до точки измерения) составляет (50 ± 1) мм. Возможно расширение диапазона измерений до 20–30 м/с и увеличение рабочего расстояния до 100–200 мм, а также контроль концентрации микрочастиц в потоке.

Принципиальным преимуществом лазерных измерителей скорости является возможность их градуировки и поверки на специальном имитационном стенде СИ-01, обеспечивающим относительную погрешность воспроизведения скорости $\Delta = \pm 0,015\%$ в диапазоне скоростей 5 мм/с – 20 м/с, полную автоматизацию процесса измерений и документирование результатов. На СИ-01 получен сертификат об утверждении типа средств измерений RV.E.28/010A № 31383. Внешний вид стенда приведен на рис. 4.

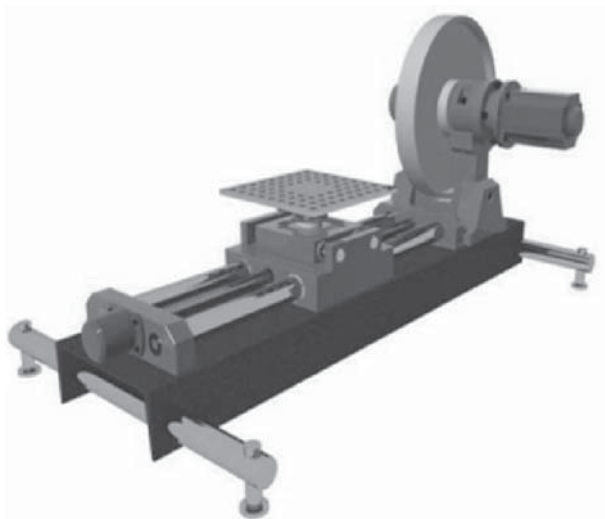


Рис. 4. Внешний вид станда СИ-01

Полученные результаты подтверждают возможность создания ряда модификаций лазерных измерителей скорости течения водных потоков, отличающихся высокой точностью, широким диапазоном измерений, малыми габаритами и невысокой стоимостью, конкурентоспособных в РФ и за рубежом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Звенигородский Э.Г., Каминский Ю.Д., Мартынова В.И., Проскурнев С.Ю., Рогов П.В., Роднина В.К.** Лазерные и оптические приборы для измерения скорости, расхода и длины // Приборы. 8. 2005. с. 12–23.
2. **Dophide D., Strunck V., Muller H., Kaminski Yu., Proskurnev S.** Optical flow rate measurement technologies in Germany and Russia // 1998 International gas research conference/ San Diego. California, USA. 8-11 November 1989.
3. **Jurgen Czarske, Harald Muller, Fromund Hock.** Verwendung von Beugungsgittern in der Laser-Doppler-Anemometrie. // Technisches Messen 61 (1994) 7/8.
4. **Соболев В.С.** Лазерные доплеровские измерительные системы // Автореферат докторской диссертации. Новосибирск, 1996.
5. **Дьяков В.П.** Вейвлеты. От теории к практике. М.: Салон-Р, 2002.

**ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОСЕННЕГО
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРИБРЕЖНОГО ВЫХОЛАЖИВАНИЯ
В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ**

Есюкова Е. Е., Чубаренко И.П.

*Атлантическое отделение Института океанологии
им. П. П. Шишова РАН
пр. Мира, 1, 236022, г. Калининград, т. 8 (4012) 95-69-11,
elena_esiukova@mail.ru, irina_chubarenko@mail.ru*

The applicability of SST data for investigation of integral water dynamics in coastal areas is discussed. Features of autumnal differential coastal cooling in South-Eastern Baltic (Russian sector) are deduced from data of MODIS-based SST maps.

В работе рассматривается возможность применения SST-данных дистанционного зондирования для исследования дифференциального выходаживания над прибрежными подводными склонами (ППС) Юго-Восточной Балтики в осенний период. Поскольку профили температуры поверхности моря (ТПМ) над склонами формируются в результате совместного действия теплообмена с атмосферой и горизонтального транспорта тепла из моря в прибрежную зону, это позволяет оценить интегральный тепло- и массообмен между глубокой и прибрежной частью [1]. Анализируются SST-данные спектрорадиометров MODIS на ИСЗ Aqua, полученные в октябре-ноябре 2002–2009 гг., исследуются особенности профилей ТПМ в период осеннего выходаживания над ППС юго-восточной части Балтийского моря, когда интенсивная вертикальная конвекция обеспечивает (практически) изотермию верхнего слоя (~30–40 м) по вертикали, а над мелководьями и подводными склонами формируются градиенты температуры/плотности воды по горизонтали. Район исследований охватывает российский сектор в юго-восточной части Балтийского моря – побережье Калининградской области у Самбийского п-ва, Куршской и Вислинской кос (рис. 1).

Для анализа были выбраны снимки, соответствующие датам, приходящимся на конец временного интервала резкого снижения температуры воздуха (со скоростью 0.86–2.54 град/сут) и, соответственно, резкого

выхолаживания воды над ППС (периоды 27.10.–7.11.2002 г., 6.10.–13.10.2004 г., 26.10.–30.10.2005 г., 26.10.–3.11.2009 г.).



Рис. 1. Район исследования. Показаны створы над склонами, вдоль которых производилась выборка данных ТПМ со спутниковых снимков

На рис. 2 представлен вид реальных профилей ТПМ вдоль створов, указанных на рис. 1, полученных по данным спектрорадиометров MODIS.

Проведён сравнительный анализ характеристик наблюдаемых профилей как для различных склонов в пределах одного снимка, так и для одного и того же склона в различные даты. Так, над одним и тем же склоном в разные годы профили ТПМ подобны друг другу, но смещены по температуре друг относительно друга (хотя есть и некоторые особенности), и явно прослеживается зависимость от батиметрии. Градиенты температуры воды для пологих склонов в октябре составили $0.067\text{--}0.122^\circ\text{C}/\text{км}$, в ноябре – $0.055\text{--}0.07^\circ\text{C}/\text{км}$. Для средних склонов в октябре $0.15^\circ\text{C}/\text{км}$, в ноябре – $0.1^\circ\text{C}/\text{км}$. Для крутых склонов и в октябре, и в ноябре – $0.08\text{--}0.1^\circ\text{C}/\text{км}$. То есть в целом, градиенты температуры воды были в октябре несколько больше, чем в ноябре. Для склонов на запад-

ном побережье Самбийского п-ва при выносе вод из Вислинского залива, пломов от Вислы, наблюдаются самые большие градиенты температур, как в октябре (диапазон $0.16\text{--}0.38^{\circ}\text{C}/\text{км}$), так и в ноябре ($0.11\text{--}0.13^{\circ}\text{C}/\text{км}$).

Для одного и того же снимка, самые маленькие разности температур наблюдаются для склонов у северного побережья Самбийского п-ва как в октябре (диапазон $1.22\text{--}1.46^{\circ}\text{C}$), так и в ноябре (диапазон $1.29\text{--}1.54^{\circ}\text{C}$), для пологих склонов Куршской косы как в октябре (1.78°C), так и в ноябре (диапазон $1.37\text{--}1.55^{\circ}\text{C}$), а также склонов у северной части Вислинской косы в октябре (диапазон $1.73\text{--}1.84^{\circ}\text{C}$). Самые большие разности температур наблюдаются в октябре для склонов на западном побережье Самбийского п-ва (диапазон $3.59\text{--}4.37^{\circ}\text{C}$), в ноябре для склонов у северной части Вислинской косы и на западном побережье Самбийского п-ва (диапазон $2.02\text{--}2.16^{\circ}\text{C}$).

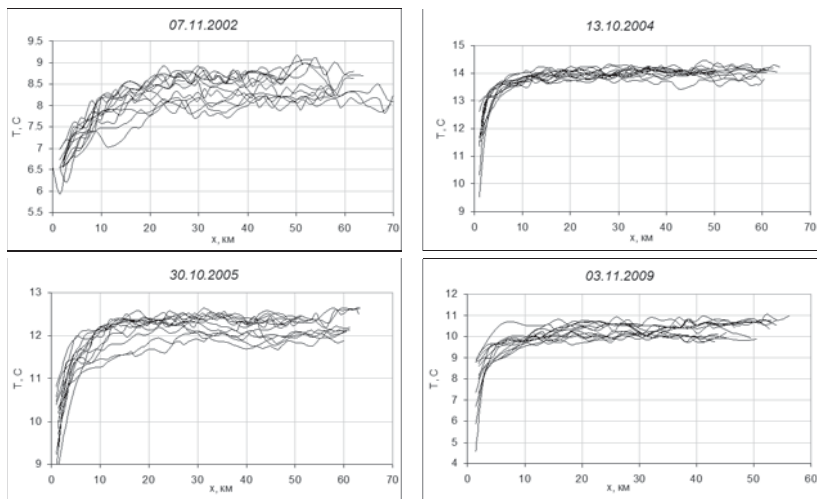


Рис. 2. Реальные горизонтальные профили ТПМ при осеннем выхолаживании над ППС в ЮВБ, полученные по данным спектрорадиометров MODIS (даты указаны в поле рисунка)

Для анализа были использованы различные типы безразмерных аналитических функций (линейные, логарифмические, степенные), чтобы описать форму профиля SST в направлении из глубокой воды к берегу. Практически над всеми видами склонов (крутыми, пологими,

нерегулярными) при осеннем выхолаживании на кривых профилей ТПМ в прибрежной части склона обнаруживается линейный участок, достигая от 20% до 70% длины склона (рис. 3). Наблюдается хорошая корреляция вида реальных профилей ТПМ с различными вариантами теоретически предсказываемых случаев (в отсутствие горизонтального обмена, при квазистационарном обмене), и с результатами численного моделирования [2, 3].

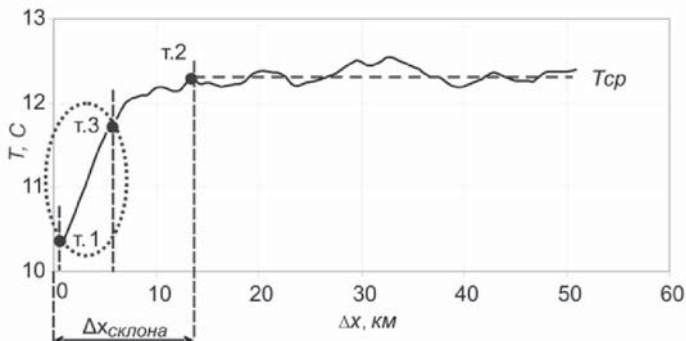


Рис. 3. Профили ТПМ при осеннем выхолаживании над прибрежным подводным склоном: (а) общий вид: $\Delta X_{\text{склона}}$ — длина склона; т.1 — начало склона, т.2 — конец склона, определяемый выходом пикноклина на подводный склон или точкой перегиба; T_{cp} — средняя ТПМ в глубокой части; т.1-т.3 — участок линейного роста ТПМ

Анализ проводился при поддержке РФФИ, проект № 13-05-01041а. Права интеллектуальной собственности на оригинальные данные MODIS принадлежат Американскому аэрокосмическому агентству NASA.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чубаренко И.П.** Горизонтальная конвекция над подводными склонами. — Калининград: Терра Балтика, 2010. — 256 с.
2. **Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е.** Каскадинг в прибрежной зоне озера при суточных колебаниях условий теплообмена // Естественные и технические науки, 2008. №4. С. 206–212.
3. **Есюкова Е.Е., Чубаренко И.П.** Анализ результатов численного моделирования горизонтального водообмена над прибрежным склоном

в Юго-Восточной Балтике при осеннем выхолаживании // Физические проблемы экологии (экологическая физика): Сб. научн. трудов. Под ред. В.И. Трухина, Ю.А. Пирогова, К.Н. Показеева. М.: МАКС Пресс, 2011. № 18. С129–135.

УДК 551.35

ГАЗОБИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИДОННОЙ СРЕДЫ

Авилов В.И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, т. 8(499) 124-88-40,
avands@yandex.ru*

The complex technology of near bottom geoecology investigations becomes an absolute necessity. It is the extremely important to choose the correct methods and devices for gas and biochemical indices measurements.

Особое место в системе наук о Земле занимает геоэкология океана, учитывая главенствующую роль Мирового океана в гидросфере по занимаемому объему, по наибольшей степени изученности и его планетарной функции в виде уникальной экосистемы с высокой степенью самоорганизации. Важная с геоэкологической точки зрения контактная зона водоема проходит по естественной границе вода – дно. Здесь обменные процессы отличаются глубоким взаимопроникновением, поэтому соприкасающиеся воды и грунт объединяем в самостоятельную экосистему и называем придонной средой. Пределы её простирания от физической границы зависят от свойств контактирующих элементов гидросферы и литосферы, интенсивности воздействий и самих процессов в приграничной зоне (придонные течения, скорость осадконакопления, особенности геологического строения и др.).

Для изучения придонной экосистемы выделены два маркирующих горизонта – придонный слой воды и верхний слой грунта. Определяющее значение имеет также местоположение геохимической границы. Она отделяет кислородосодержащую область, где преобладают окислительные процессы, от анаэробной с восстановительной средой. Геохи-

мическая граница распространена по всей планете, обычно проходит по верхним слоям грунта, но может подниматься из осадка в воду. Вполне понятно, что методы изучения этих обеих частей придонной экосистемы могут заметно отличаться, но их объединяет главное – экосистемный подход. Он составляет основу методологии геоэкологии океана. На передний план выходит изучение и осмысливание многочисленных процессов и явлений в придонной среде.

Исследование процессов и явлений в экосистеме представляет значительные сложности. Надо учитывать, что в ней протекает не один процесс, а сразу несколько. Причём какая-то их часть науке ещё не известна. Ясно, что одновременно присутствуют встречно направленные процессы, входящие в две группы – созидание и разрушение, необходимые для устойчивого существования природной экосистемы. На момент исследования может преобладать одна из групп, или они могут находиться в динамическом равновесии, обеспечивая её стационарное состояние. Такая ситуация объяснена в теории биохимического состояния природной среды [1]. Она обычно возникает при многофакторном воздействии на экосистему, формируя её нормальное аквагеоэкологическое состояние. Для исследователя важен вывод, что процессы и явления в такой экосистеме нерезко выражены, как бы находятся в режиме ожидания.

Активное воздействие какого-либо фактора (вещества, сгустка энергии, информации и другое) обостряет ситуацию. Экосистема отвечает активизацией процессов, идентифицируя и адаптируя это воздействие, и переходит в аномальное состояние. Адаптационные процессы протекают с потреблением и преобразованием биологически активных веществ (БАВ), изменяя пространственно-временное распределение последних в экосистеме. В зависимости от вида и источника воздействия в экосистеме начинает преобладать какой-то один из адаптационных процессов. Высокая активность одного доминирующего процесса сопровождается заметными отклонениями от нормы в составе и соотношении отдельных БАВ. Для обнаружения и изучения таких процессов требуются высокоточные специальные методы и технические средства [2]. Их специфика в том, что они должны в первую очередь обеспечивать получение достоверной информации о содержании и распределении главенствующих показателей, используемых при оценке состояния придонной экосистемы и выявлении формирующих это состояние процессов. Главная задача – для разработки этих спецсредств выявить круг приоритетных показателей, свойства которых определяют особенности методов исследования.

В совокупности доминирующий процесс и изменения в составе БАВ составляют самостоятельное природное явление. Детектируемые аномальные содержания БАВ являются критериями возникновения определенного явления в экосистеме. Одновременно они количественно характеризуют интенсивность и направленность процесса, формирующего это явление. Высказанное входит составной частью в экосистемный анализ, главная задача которого при исследовании природных явлений и процессов состоит в установлении причинно-следственных связей в экстремальных экосистемах, свойственных тому или иному явлению.

Необходимо иметь в виду, что внешние воздействия, прежде всего, сказываются на микробиоте, которая чутко реагирует на количественном уровне [3]. Более того, она предназначена для выполнения функции первого эшелона обороны в экосистеме. Такой взгляд обосновал главенствующую роль биохимических показателей в экосистемном анализе [4]. У этой медали есть и обратная сторона. АТФ и активность щелочной фосфомоноэстеразы (ЩФА), участвующие практически во всех клеточных преобразованиях, откликаются похожим образом на разные внешние факторы. Например, повышением концентрации АТФ на потоки природных и загрязняющих веществ первого типа, что усложняет процедуру выделения доминирующего процесса [4].

Выход найден в комплексности аквагеоэкологических исследований. Главенствующие газобиогеохимические показатели информационной системы аквагеоэкологии, создаваемой для изучения отдельного процесса и явления, используем в первую очередь для выделения аномалий и их пространственной привязки при геоэкологическом районировании водных объектов [2]. Но и затем – при экосистемном анализе, выделяя доминирующие взаимодействия и изучая их суть. Всё это важно для понимания экосистемных взаимодействий. При этом велика роль измерения аномальных значений компонентов. Рассматриваем их как научный факт, обнаруживающий существование какого-либо явления в экосистеме, возможно ранее и неизвестного. Необходимо заметить – одно и то же аномальное измерение несёт разную смысловую нагрузку, отражая разные стороны экстремальной ситуации, и зачастую участвует одновременно в решении нескольких аквагеоэкологических задач. Экосистемный анализ рассматривает всевозможные виды взаимодействий для объяснения причин возникновения аномальных значений компонентов, привлекая при необходимости дополнительную информацию (известные зависимости и закономерности в биологии, биохимии, геологии, океанологии и других смежных научных направлениях) в информационную систему аквагеоэкологии.

Геоэкология океана нацелена на оценку экологического состояния и определение показателей биотического сообщества, выявление причинно-следственных связей между элементами экосистемы, а также на изучение внешнего воздействия на экосистему. При изучении столь сложных взаимодействий ощутимые результаты могут быть достигнуты только путем обобщения комплекса данных. Информационные признаки, характеризующие экосистемное преобразование, включают концентрацию органического вещества, биохимические и гидрохимические показатели, содержание в воде и осадках растворенных, сорбированных и свободных газов, наличие флюидных потоков, газогидратов, минеральных новообразований и другое. С позиций разработанной авторами теории биохимического состояния природной среды показано доминирование газобиогеохимических показателей, и к существенным информационным признакам относим концентрацию АТФ и активность гидролитических ферментов (ЩФА), как главенствующая характеристика биотической составляющей экосистемы, а для абиотической компоненты – содержание наиболее подвижных газообразных компонентов [2].

Методы и пробоотборники, аналитические средства, используемые для наблюдений в придонной среде должны обеспечивать получение достоверных сведений о главенствующих биохимических и газовых показателях в придонной воде и осадках. При этом необходимо учитывать их особые свойства – высокую подвижность и изменчивость во времени этих компонентов. Эти качества накладывают определенные требования на всю технологическую цепочку измерения их содержаний, начиная с захвата проб и кончая получением результата анализа. Заметные погрешности вызывает неправильное хранение проб.

Хранение проб рассматриваем за период времени их нахождения в приборах комплекса. Выделены два главных процесса: взаимодействие с деталями конструкций приборов и внутренние преобразования в пробе. В первом случае, как уже отмечалось выше, возможно загрязнение пробы, новообразование или поглощение компонентов при физико-химическом взаимодействии с деталями. С целью исключения ошибок на этом этапе метода выделены доминантные построечно-технологические и эксплуатационные подсистемы: инактивность внутренних полостей приборов, простота конструкции и удобство обслуживания для эффективной чистки приборов.

В самой пробе преобладают биохимические процессы, направленные на расходование кислорода, снижение уровня метаболизма и концентраций биохимических показателей. Исследование скорости внутренних преобразований показало, что в первые три часа содержание кислорода

в пробе, находящейся в непрозрачном батометре, оставалось неизменным, а затем начинало резко падать. Экспериментально установлено снижение концентрации АТФ в воде, налитой в стерильные стеклянные склянки и помещенной в холодильное и морозильное отделение холодильника [5]. Время хранения пробы в пробоотборнике на борту судна должно быть ограничено одним часом. Но ту часть пробы, в которой определяем АТФ и другие биохимические показатели, стараемся обрабатывать мгновенно.

Способ обработки проб специфичен для разного вида компонентов. При изучении биогеохимических показателей методика предусматривает обработку проб на открытом воздухе. Контакт проб воды и осадков с атмосферой должен быть исключен при определении легколетучих газообразных компонентов в процессе их обработки и переводе на анализ. Этот признак является доминантным по отношению ко всей системе и входящих в нее приборов в отдельности.

Исследования показали, что при сливе воды из батометров, имеющих жесткий корпус (БМ-48 и др.), часть газов, находящихся в пробе в свободном состоянии, улетучивается и не доходит до анализа. При разборке прямоточных геологических трубок грунт выталкивают, раскладывают на лотки и обрабатывают на открытом воздухе в течение 1–2 часов. За это время происходит интенсивное выделение газов из осадков. Нами было установлено, что при высоком газосодержании грунта через 5–10 мин после выталкивания из трубки в осадках остается 70–80 % газов, а через два часа – до 1 %. Исключение подобных ошибок достигается в герметичных пробоотборниках с изменяемым внутренним объемом (доминантное свойство). Во время перевода пробы на обработку в дегазатор и далее на анализ внутренняя полость пробоотборника сокращается с сохранением ее герметичности. Это свойство гармонизирует с компенсационными качествами и не вызывает значительного усложнения конструкции. Соблюдение названных правил обеспечит изучение придонной среды достоверной информацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Авилов В.И.** Теоретические основы аквакультуры / Авилов В.И., Авилова С.Д. – М.: ВИКТАН-полиграф, 2008. 120 с.
2. **Авилов В.И.** Информационная система аквакультуры / Авилов В.И., Авилова С.Д. – М.: Прима-Пресс, 2009. 142 с.
3. **Авилова С.Д.** Биохимическая индикация для нормирования экологического состояния водных объектов / Авилова С.Д., Авилов В.И. – М.: ВАСХНИЛ, 1990. 31 с.

4. **Авилова С.Д.** Оценка экологического состояния водных объектов по биохимическим показателям (методические указания) / Авилова С.Д., Авилов В.И. – М.: РЭФИА, 1997. 35 с.

5. **Авилов В.И.** Газобиогеохимические исследования отдельных регионов Балтийского моря / Авилов В.И., Авилова С.Д., Пака В.Т. // Доклады Академии Наук. М., 2008. Т. 422. № 1. С. 81–84.

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ВОД И ДОННЫХ ОСАДКОВ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ФЛЮИДОВ ИЗ ЕГО НЕДР

Амбросимов А.К., Голубов Б.Н.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр-кт, 36, г. Москва, 8-916-912-6518,
ambrosimov@ocean.ru*

In article it is shown that the Caspian Sea isn't the closed reservoir, and its waters are connected with fluids of its subsoil. Confirmation of it are emissions of brines with the high content of metals in sea water and a ground precipitation.

Существуют два подхода в изучении геологического строения недр Северного и Среднего Каспия, которые различаются пониманием связи вод моря с подземной гидросферой.

Сторонники первого подхода рассматривают Каспийское море как замкнутый бессточный водоем с непроницаемым дном, гидрология и гидрохимия которого определяются исключительно внешними факторами. Климат расценивается здесь как практически единственный регулятор сложного спектра колебаний уровня моря, стока его рек, испарения с поверхности моря, атмосферной циркуляции, солености моря и т. д. В рамках этой схемы дифференциация химических элементов в северной части Каспийского моря изучается в зависимости от рельефа дна, удаленности от берега, изменений речного стока, направления и силы волнового воздействия, сгонов-нагонов, течений и других факторов. Т.е. изменчивость концентраций химических элементов формируются за счет сезонной и межгодовой изменчивости, т.е. в такт с ритмами климата.

Второй подход заключается в попытках выявить множество форм связи вод Каспия с подземной гидросферой и пустотным пространством его недр. Этот подход опирается на данные геофизики и бурения, которые раскрывают особенности структурной геологии и флюидодинамики недр Северного Каспия, а также соседних территорий. Т.е. понимание геохимии вод и донных осадков Каспия не может быть достигнуто в отрыве от результатов изучения геологического строения и флюидодинамики его недр.

Одной из особенностей геологического строения недр Каспия является множество трубообразных вертикальных «колодцев», которые были обнаружены с помощью высокоточной сейсморазведки. То, что они пронизывают донные осадки, несомненно, указывает на нынешнюю геодинамическую активность недр Северного Каспия, которая охватывает не только область солянокупольной тектоники Прикаспийской впадины, как это считалось до недавних пор, но и пространство молодой Скифско-Туранской плиты.

В осадочном чехле этой плиты на соседней территории Предкавказья и Закаспия выявлены сходные по форме трубообразные тела в виде инъективных дислокаций, карстово-гравитационных воронок и конкреционных футляров. К инъективным дислокациям отнесены, во-первых, трубообразные тела вулканитов в основном триасово-юрского возраста, которые местами относятся к неогену. Во-вторых, это трубки взрыва (суфляры) на участках газирования угленосных толщ в узлах пересечения трещин и разломов, которые хорошо известно шахтерам Донецкого края и, несомненно, развиты на его продолжении в недрах Кряжа Карпинского, скрытого под дном Северного Каспия. В-третьих, сюда относятся жерла гидровулканов, а также узлы пересечения непунических даек и жил. Особого отметим и то, что в нефтегазоносных осадочных бассейнах, которые развиты в обрамлении и под водами Северного Каспия, зачастую наблюдаются резкие возмущения режима и аварийные выбросы высоконапорных подземных вод, нефти и газов. В Прикаспийской впадине такие выбросы возникают, как правило, при вскрытии подсолевого структурного этажа, где практически повсеместно развиты аномально высокие пластовые давления флюидов. Кроме того, зоны пластовых давлений распространены здесь местами в солевом и надсолевым структурных этажах.

Показательна в этом отношении авария на месторождении углеводородов Тенгиз в северном Каспии 24 июня 1985 г., когда с пятикилометровой глубины из подсолевого структурного этажа этого месторождения из скважины № 37 под давлением почти в тысячу атмосфер вырвался мощный горящий фонтан нефти и природного газа. Аварийные вы-

бросы при вскрытии подсолевых отложений возникали также на Астраханском месторождении и др.

Летом 2003–2004 гг. в экспедициях ИО РАН были взяты и проанализированы пробы воды и донных осадков на объектах:

- на семи станциях полигона "Чистая Банка" площадью 20×20 км, который расположен между островом Чистая Банка и Волго-Каспийским каналом;

- на зональном разрезе из 4-х станций F1–F4, одна из которых F1 является флюидным «колодцем». Расстояние между станциями F1 и F4 составляет 4 км. В 2004 г. в этом же районе моря были отобраны 5 проб морской воды на ст. T1–T5. Координаты станций T4 в 2004 г. и станции F1 в 2003 совпадают. Геологическое строение дна на станциях F1 и T1–T5 по данным непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) представляют собой трубообразные разрыхленные породы или флюидные "окна".

На полигоне "Чистая Банка" выделяется станция № 13. На ней зафиксированы наиболее высокие концентрации Mn , довольно высокие концентрации Cu и Ni , а также наиболее высокие значения показателей Cd/Zn и Mn/Fe по сравнению с остальными станциями. Кроме того, на этом полигоне на станциях 4 и 17 зафиксированы соответственно наиболее высокие концентрации Ni и Fe , которые, однако, являются здесь одиночными элементами. Станции F1–F4, в отличие от полигона "Чистая Банка", отмечены более широким набором ассоциации металлов Fe , Mn , Cu , Zn , Ni , Co , Cr , Pb , Cd с повышенной или очень высокой их концентрацией. Наиболее высокие значения показателей Cd/Zn и Mn/Fe характерны для станции F1, т.е. там, где высокоточная сейсморазведка обнаружила трубообразное тело. Для станции F3 также довольно высокие значения показателя Mn/Fe , но в сочетании с низким значением показателя Cd/Zn и аномально высокой концентрацией Co и Cr .

Эти данные убеждают том, что летом 2004 г. в окрестности всех трубообразных тел, т.е. флюидодинамических "колодцев" T1–T5, значения показателя Mn/Fe в целом оказались намного выше по сравнению со всеми станциями полигона "Чистая Банка", обследованными в 2003 г. Особо высокие значения этого показателя наблюдались в 2004 г. на станциях T1 и T4.

Бросается в глаза и то, что значения показателя Cd/Zn на одной и той же станции F1 (T4) в 2003 г. составляли 1,17, а в 2004 г. оказались ничтожно малыми. При этом почти на два порядка снизилось также содержание Fe , намного упала концентрация Mn , Cu и Cd . Т.е. геохимическая обстановка на этой станции является изменчивой, что, вероятно,

может быть обусловлено эффектом металлоносного "дыхания" этого флюидодинамического "колодца" в условиях геодинамической нестабильности недр. По данным исследований в районе флюидных колодцев также наблюдаются повышенные концентрации углеводородов.

Результаты анализа показали, что максимально обогащена железом вода на станции Т3 (в 192 раза) и марганцем (в 70 раз), тогда как вода на ст. Т2 обогащена по отношению к фону *Cd* – в 18,5, *Fe* – в 12, *Zn* – в 11,7, *Cu* – в 6 раз. Очевидно, это весьма большое обогащение, и создавать его должны аномальные источники.

Выводы:

Под дном Северного Каспия существуют структурные предпосылки для современной активности очагов субмаринной разгрузки глубинных подземных флюидов двух типов: а) над ядрами соляных куполов южного борта Прикаспийской впадины; б) над множеством трубообразных тел, уходящих своими корнями на глубину свыше 2000 м.

Над отдельными «колодцами» и в их окрестности воды и донные осадки Северного Каспия содержат повышенные концентрации металлов *Fe*, *Mn*, *Cu*, *Zn*, *Ni*, *Co*, *Cr*, *Pb*, *Cd*, которые образуют в земной коре самостоятельные минералы двух основных групп:

– к первой из них относятся *Fe*, *Mn*, *Cu*, которые наиболее характерны для пород платформенного чехла древней и молодых платформ и присутствуют здесь обычно в виде гипергенных окислов, гидроокислов и сульфидов железа (гётит, пирит, марказит, гематит, магнетит), марганца (манганит, псиломелан), меди (куприт, малахит, азурит). Не исключено, что в эту группу местами могут быть включены *Zn* и *Cd*, образующие минерал сфалерит, осадочное происхождение которого, однако, является спорным;

– вторая группа объединяет элементы *Cu*, *Zn*, *Ni*, *Co*, *Cr*, *Pb*, *Cd*, которые также могут присутствовать в виде обломочных минералов в осадочном чехле платформ, но все же более характерны для рудных тел и гидротерм, свойственных более глубоким горизонтам земной коры. Это касается самородной меди, медно-никелевых сульфидных руд: халькопирит, минералы группы пирротина, в частности, никелин), а также сульфидов кобальта, никеля, железа, меди, свинца (например, галенит) и т.д. Т.е. трубообразные тела могут служить каналами разгрузки гидротермальных флюидов, сосредоточенных как в осадочном чехле платформ, так и в его основании.

– наиболее активным очагом субмаринной разгрузки глубинных металлоносных гидротермальных флюидов на дно Северного Каспия является трубообразное тело в районе станции F1, где отмечены наиболее высокие значения показателей *Cd/Zn* и *Mn/Fe*.

– полученные данные о металлоносности вод и донных осадков Северного Каспия являются пока лишь косвенными признаками субмаринной разгрузки подземных флюидов на дно моря. Однозначное решение этой задачи может быть достигнуто при условии более детально междисциплинарного обследования трубообразных тел.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

Амбросимов А.К.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр-кт, 36, г. Москва, т. 8-916-912-6518,
ambrosimov@ocean.ru*

It is shown that temperature anomalies in the thickness of the Caspian Sea can be caused by various factors, somehow fluid emissions from a subsoil, east upwelling, lowering of waters in the western slope of the Derbent hollow, flowing of waters from the southern Caspian Sea.

Каспийское море – уникальный природный объект, которому присущи многие неординарные явления, в том числе аномалии температуры в водной толще и на дне, дающие большой простор для научных изысканий.

Внутригодовой ход изменения температуры показан на рис. 1. Измерения были выполнены на стандартных горизонтах водной толщи в центральной части Среднего Каспия на ст. 467 (42° 45,660'с.ш., 49° 41,605'в.д.) непрерывно с августа 2004 по июнь 2006 гг. Результаты наблюдений показывают, что внутригодовая температура в однородном слое (ОС) изменяется по синусоидальному закону, а в термоклине – скачком во время весенне-летнего прогрева. Это происходит, как правило, во время штормов – ОС расширяется и захватывает в перемешивание нижележащие холодные воды.

Максимальной толщины 82–85 м при температуре ~7,0°С с вариациями до $\pm 0,5^{\circ}$, однородный слой достигает февраля, при этом перепад между ОС и нижележащими слоями моря незначителен и составляет всего 1–2°. Минимальная толщина верхнего перемешанного слоя образуется на границе весна-лето, когда начинается весенний прогрев по-

верхностных вод. Максимальный прогрев ОС происходит в середине августа в среднем до 27–28°C, при этом в приповерхностном слое может наблюдаться вторая ступенька термоклина и температура над ним может достигать 33°C. Изменчивость толщин и температуры ОС зависит от динамического воздействия поверхностного волнения (штормов) и внутренних волн. В различные годы наблюдаются некоторые вариации сезонного изменения температуры верхнего слоя моря, связанные с климатической изменчивостью и штормовой активностью.

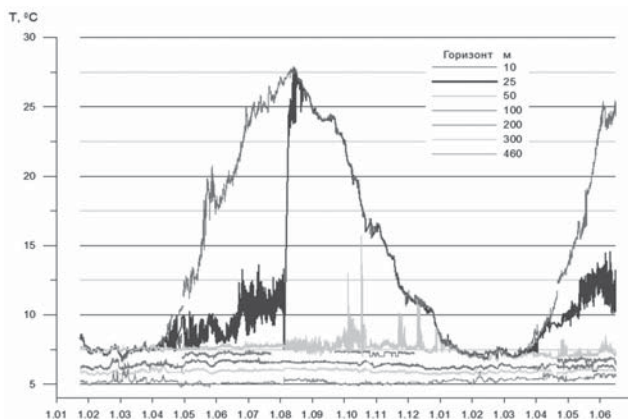


Рис. 1. Сезонная динамика изменения температуры по горизонтам водной толщи за период с августа 2004 по июнь 2006 гг. в глубоководной части на ст. 467 Среднего Каспия (глубина 467 м)

На рис. 2 представлена динамика температуры и солёности в промежуточном слое и у дна по данным наблюдений в центральной части Среднего Каспия. Из рисунка видно, что изменчивость температуры у дна может достигать величины 1°C, а в толще моря около 0,5°. Здесь возникает вопрос – не является ли это откликом дренирования газов или флюидов из морских недр. На некоторых записях сейсмоакустического зондирования на ложе дна отчетливо прослеживаются воронкообразные формы, сформировавшиеся в результате флюидных выходов. А если это так, то не имеют ли возмущения в толще моря один и тот же генезис с возмущениями у дна. Можно предположить, что аномалии у дна – это выброс теплых вод из недр в придонную область, а аномалии на глубинах 100–200м – это те же воды, поднявшиеся и совершившие оборот в циклоническом круговороте Среднего Каспия.

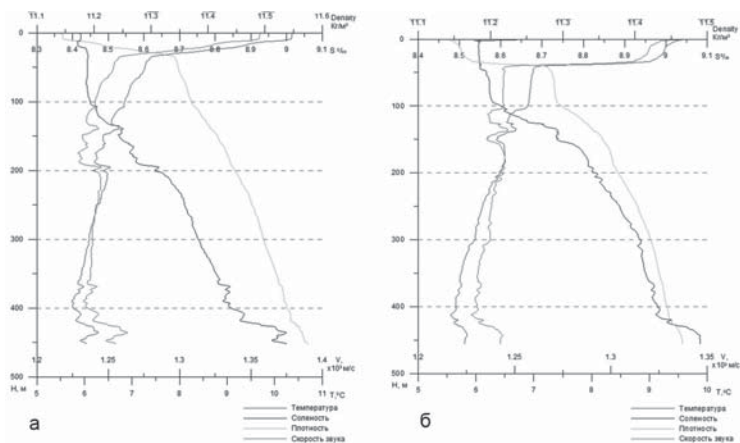


Рис. 2. Вертикальные профили гидрологических параметров по данным CTD-зонда SBE19+ на ст.467 и ст.485 в 2005 г.

Второе предположение – это заток теплых и осолоненных вод из Южного Каспия в Средний.

Третья гипотеза – это влияния холодного апвеллинга, когда разница температуры между водами апвеллинга и центральной частью моря достигает более 5–15°. Поскольку холодные воды на востоке испаряются менее интенсивно чем в центре, то между центральной и восточной частями моря летом возникает разность в уровнях моря, достигающая величины порядка 0,5 м [Панин, 1987], в результате чего холодные воды на востоке опускаются в глубину и циклоническим круговоротом переносятся в другие районы моря, нарушая температурную стратификацию вод. И четвертая – это каскадинг холодных вод вглубь моря по западному склону Дербентской котловины. К сожалению или к счастью, но все эти гипотезы имеют право на существование, т.к. все они подтверждаются экспериментальными наблюдениями.

На рис. 3 представлены три распределения толщин однородного слоя и нижней границы термоклина вдоль транскаспийского разреза в различные сезоны года. Профили показывают, что с увеличением глубины моря (нижний профиль на рис.3) нижняя граница термоклина заглубляется, что особенно хорошо заметно по данным наблюдений в котловине Южного Каспия, при этом если в Среднем Каспии над котловиной существует циклонический круговорот, то по данным наблюдений в летний сезон над котловиной Южного Каспия имеет место антициклоническое движение вод по всей глубине.

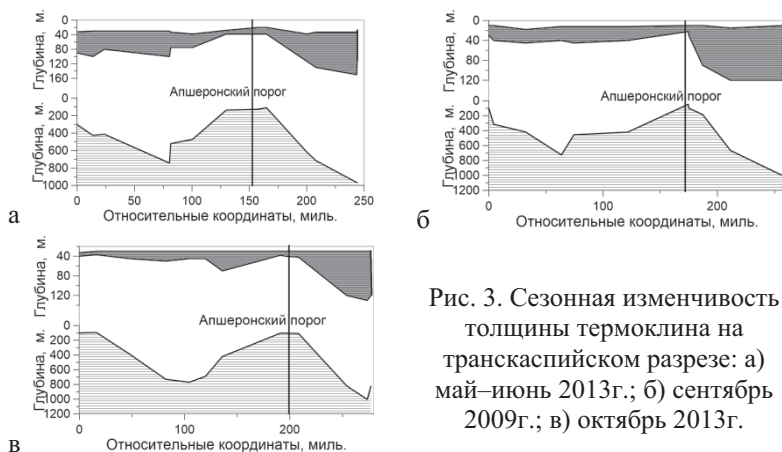


Рис. 3. Сезонная изменчивость толщины термоклина на транскаспийском разрезе: а) май–июнь 2013г.; б) сентябрь 2009г.; в) октябрь 2013г.

Вертикальная изменчивость температурных границ термоклина в левых частях рис. 3, в основном, обусловлена локальной штормовой активностью. При этом, если верхняя граница термоклина слабо зависит от глубины моря, то на нижней границе наблюдается нелинейная зависимость от глубины.

Разница температуры по транскаспийскому разрезу между Северным Каспием и центральной частью Южного составляет 3–5,5°.

Поверхностная температура в различных районах моря неоднородна. Это связано в первую очередь с тем, что Южный Каспий получает больше солнечной энергии, на севере и западе в Каспий впадают реки, несущие холодные воды, а в восточной части – существует стационарный прибрежный апвеллинг, поднимающий холодные придонные воды к поверхности моря.

Разрез поля температуры в зональном направлении, выполненный в конце мая 2013 г. в 39-м рейсе НИС «Рифт» от Дербента на западном берегу до Актау на восточном показал, что температура однородного слоя в центре моря примерно на 1° выше чем в обеих прибрежных зонах. Следует отметить, что такой перекося температуры по разрезу между центром моря и восточным шельфом в июле-августе может достигать ~15°, а с западным ~10°. Это связано с интенсификацией летом восточного апвеллинга и разницей температуры между прогретыми водами центральной части моря и поступающим стоком с севера у западного побережья. Кроме этого, на западе неоднократно наблюдался локальный апвеллинг, предположительно вызванный образованием вихрей и меандров при интенсификации основного потока циклонического круговорота.

ГИРЛЯНДА ТОЧЕЧНО-РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ (ТЕРМОКОСА)

**Катович А.А.^{1,2}, Пака В.Т.^{1,2}, Баранов В.И.^{1,2}, Подуфалов А.П.^{1,2},
Кондрашов А.А.^{1,2}, Корж А.О.^{1,2}**

¹ *ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН
Атлантическое отделение (АО ИО РАН)
пр. Мира, 1, 236022, Калининград
тел. 8(4012) 956911, факс (4012) 916970
ioran@atlas.baltnet.ru*

² *Лаборатория экспериментальных гидрофизических исследований ФГБУН,
Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН
Атлантическое отделение
пр. Мира, 1, 236022, Калининград, тел. 8(4012)452813, vpaка@mail.ru*

Report presents one of modern marine engineering development of Atlantic department of P.P. Shirshov Institute of Oceanology concerning the creation and exploitation underwater devices and methods of research temperature measurements. The discussed device is: Thermistor Chain –the autonomous pointwise temperature sensor.

В докладе представлена одна из современных разработок Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Шишова РАН (АО ИО РАН), связанная с разработкой и эксплуатацией устройств и методов их использования в процессе подводных исследований при проведении долговременной регистрации температуры в толще воды по горизонтам и давления на некоторых горизонтах.

Термокоса является серией точечных датчиков связанных между собой электрической магистралью. Цепь состоит из 20 датчиков температуры с расстоянием между ними в 2 метра, при заказе возможно вариации от 1 до 10 метров. Так же цепь имеет возможность наращивания до 35 датчиков температуры.

В зависимости от заказа термокоса может быть изготовлена длинной и с количеством датчиков (не более 35) по потребностям заказчика. Термокоса позволяет производить измерения температуры в диапазоне от -2°C до $+35^{\circ}\text{C}$. Использование платиновых терморезисторов и прецизионных компонентов позволяет добиться высокой точности произ-

водимых измерений вплоть до $0,01^{\circ}\text{C}$. В качестве накопителя полученных измерений используется флеш-память, что позволяет максимально свободно считывать полученные результаты.

Особенности устройства:

- точность до $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$;
- использование флеш-накопителя;
- автономная работа устройства до года;
- программируемый период опроса датчиков;
- варьированная конфигурация.

Технические характеристики гирлянды точечно-распределённых датчиков температуры:

- диапазон измеряемых температур – $-2^{\circ}\text{C} \div +35^{\circ}\text{C}$;
- точность канала температуры – $0,01^{\circ}\text{C}$;
- разрешение канала температуры – $0,00076^{\circ}\text{C}$;
- глубина погружения температурных модулей – до 250 м;
- точность датчика давления – $0,1\%$ (0,25 м);
- разрешение по глубине датчика давления – 0,1 м.

Постоянная времени датчиков:

- температуры – 5 сек;
- давления – 0,05 сек.

Период опроса датчиков (программируется) от 2 сек.

Количество точечных датчиков в цепи – 20 шт.

Максимально возможное количество датчиков – 35 шт.

Стандартное расстояние между датчиками – 2 м.

Потребление тока:

- в режиме ожидания на один датчик не более 100 мкА;
- в режиме измерения на один датчик не более 4 мА.

Продолжительность работы в автономном режиме до 1 года.

В качестве достоинств данного устройства можно выделить низкое энергопотребление, долгое время автономной работы, достаточно высокую точность производимых измерений и низкую стоимость изготовления.

Важность использования термокос на заякоренных станциях в качестве одного из средств мониторинга морской среды заключается в том, что наряду с возможностью длительных непрерывных измерений при высокой частоте опроса датчиков удастся зарегистрировать короткопериодные процессы, например такие, как внутренние волны.

Пример результатов снятых измерений с их последующей обработкой в программе Serfer приведены на рис. 1.

Гидрофизические исследования водоемов являются традиционной областью деятельности технического направления АО ИО РАН.

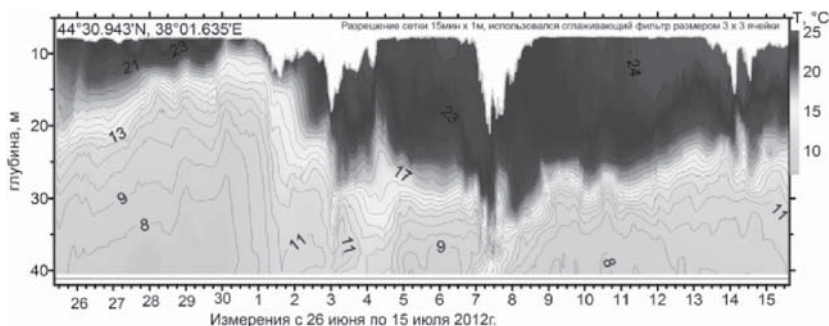


Рис. 1. Обработанные с помощью программы Serfer результаты измерений термокосы, установленной в Чёрном море

ЛИТЕРАТУРА

1. **Касаткин А.С.** Электротехника / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 440 с., ил.
2. Техническое описание микроконтроллера ADuC848, 2003. – 68 с. [Электронный ресурс]. URL: www.analog.com
3. Техническое описание платиновых датчиков температуры 700 series platinum RTDs – Freeport, Illinois, USA, 2005. – 4 с. [Электронный ресурс]. URL: www.honeywell.com/sensing.

ДАТЧИК ПРИДОННОГО ТЕЧЕНИЯ ДПТ

**Кондрашов А.А.^{1,2}, Пака В.Т.^{1,2}, Баранов В.И.^{1,2}, Подуфалов А.П.^{1,2},
Корж А.О.^{1,2}**

¹ *ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

Атлантическое отделение (АО ИО РАН)

пр. Мира, 1, 236022, Калининград

тел. (4012) 956911, факс (4012) 916970, ioran@atlas.baltnet.ru

² *Лаборатория экспериментальных гидрофизических исследований*

ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Атлантическое отделение

пр. Мира, 1, 236022, Калининград, 8(4012)452813, vpaка@mail.ru

Report presents one of modern marine engineering development of Atlantic department of P.P. Shirshov Institute of Oceanology concerning the creation and exploitation underwater research devices. The discussed device is: about a bottom current sensor –device for the registration direction and speed of undercurrents.

В докладе представлена одна из современных разработок Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (АО ИО РАН), связанная с измерением придонных течений.

ДПТ–устройство, регистрирует направления и скорости придонных течений, а так же гидростатическое давление и температуру в месте постановки.

При проведении гидрофизических измерений данное устройство устанавливается на дно с помощью заякоренного груза и за счёт собственной плавучести устанавливается в вертикальном положении, при этом под воздействием течений устройство отклоняется от вертикали, что регистрируют датчики отклонения (акселерометры и встроенный компас).

В качестве чувствительного элемента ДПТ используется компактный электронный компас, совмещённый с акселерометром LSM303DLHC.

Технические характеристики устройства:

Диапазон измерения акселерометра $\pm 2g$.

Диапазон измерения магнитного поля Земли $\pm 1,3G$.

Чувствительность акселерометра $1mg/LSB$.

Разрешение канала магнитно компаса 1mG.

Усиление магнитного компаса:

– по осям (X,Y) – 1100 LSB/G;

– по оси (Z) – 980 LSB/G.

Диапазон измеряемых температур от -2°C до $+35^{\circ}\text{C}$.

Точность канала температуры – $0,01^{\circ}\text{C}$.

Глубина погружения температурных модулей – до 250 м.

Точность датчика давления – $0,1\%$ (0,25 м).

В качестве достоинств данного устройства можно выделить возможность долговременной работы в старт-стопном режиме и низкую стоимость.

Регистрация гидрофизических процессов в водоёмах являются традиционной областью деятельности технического направления АО ИО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническое описание электронного компаса LSM303DLHC – STMicroelectronics, 2011. – 42 с., с ил. [Электронный ресурс]. URL: www.st.com

2. Наблюдение за придонными течениями Observations of Near-Bottom Currents with Low-Cost Sea Horse Tilt Current Meters / V. A. Sheremet –Narragansett, Rhode Island, 2010. –8 с., с ил. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gso.uri.edu/~sheremet/SeaHorse>

3. Техническое описание микроконтроллера ADuC848, 2003. – 68 с. [Электронный ресурс]. URL: www.analog.com

УДК 002.55

ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ РАЗМЫКАТЕЛЬ

**Кондрашов А.А.^{1,2}, Пака В.Т.^{1,2}, Баранов В.И.^{1,2}, Подуфалов А.П.^{1,2},
Корж А.О.^{1,2}**

¹ *ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН*

Атлантическое отделение (АО ИО РАН)

пр. Мира, 1, 236022, Калининград,

тел. (4012) 956911, факс (4012) 916970, ioran@atlas.baltnet.ru

² *Лаборатория экспериментальных гидрофизических исследований*

ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН

Атлантическое отделение

пр. Мира, 1, 236022, Калининград, 8(4012)452813, vpaka@mail.ru

Report presents one of modern marine engineering development of Atlantic department P.P. Shirshov Institute of Oceanology concerning the creation and exploitation of underwater devices. The discussed device is: Acoustic Release—that is the device for the deployment and subsequent recovery of instrumentation from the sea floor.

В докладе представлена одна из разработок Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (АО ИО РАН), связанная с долговременными измерениями при помощи буйковых станций.

Акустический размыкатель – устройство, предназначенное для постановки оборудования на морское дно, и затем возврата этого оборудования на поверхность, после получения команды по акустическому каналу связи или по истечении заданного интервала времени.

При проведении гидрофизических исследований в качестве устройств работающих полезной нагрузкой для акустического размыкателя могут быть термокоса, Аквалог, ADCP и другие донные станции, а также размыкатель может использоваться совместно с орудиями лова.

Технические характеристики гидроакустического размыкателя:

Время ожидания команды под водой – 18 месяцев.

Максимальная глубина постановки – 200 м.

Максимальная нагрузка – до 100 кг.

Дальность действия акустической связи – 1000 м.

При заказе гидроакустического размыкателя возможны три варианта исполнения спускового механизма в зависимости от пожеланий заказчика.

Типы спусковых механизмов доступных для заказа:

- 1) револьверного типа;
- 2) типа рычаг-поршень, по принципу гидростатического давления;
- 3) байонетного типа.

В качестве достоинств данного устройства можно выделить низкое энергопотребление, долгое время автономной работы, различные варианты спускового механизма и низкую стоимость.

Оптимизация процессов гидрофизических исследований водоемов являются традиционной областью деятельности технического направления АО ИО РАН.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Роберт Дж. Урик Основы гидроакустики / Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1978. 448 с.

2. Подводная акустика и обработка сигналов: Пер. с англ./ Под ред. Л. Бьёрнё. – М.: Мир, 1985. 488 с., с ил.

3. Техническое описание микроконтроллера ADuC848, 2003. – 68 с. [Электронный ресурс]. URL: www.analog.com.

НОВЫЙ ВАРИАНТ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ МОРСКОЙ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ

Федотов Г.А.

*ЗАО “Гранит-7”,
191014, Россия, Санкт-Петербург, Госпитальная ул., 3
Тел.: 8(812)274-03-07, e-mail: g.a.fedotov@gmail.com*

New variant of the hydrostatic method for the sea-water density determination is proposed. It is based on coprocessing the signals of three differential pressure sensors, the inputs of the sensors being disposed generally on three non-orthogonal axes.

1. Актуальность совершенствования методов измерения плотности воды в натурных условиях обусловлена тем, что в настоящее время наблюдается дефицит эффективных методов и средств измерения плотности морской воды [1].

В материалах предыдущей конференции МСОИ [2] сообщалось о разработке гидростатического измерителя плотности морской воды. Согласно [2], в измерителе используются три дифференциальных датчика давления, входы которых расположены на трех ортогональных осях при одинаковой длине измерительных баз датчиков. Цель данной работы – расширить функциональные возможности гидростатического метода определения плотности морской воды путем обобщения метода, предложенного в [2], на случай произвольной ориентации осей, на которых расположены входы дифференциальных датчиков давления, и произвольных расстояний между входами датчиков.

2. Выражение для плотности жидкости

$$\rho = \frac{|gradP|}{g}. \quad (1)$$

следует из условия равновесия несжимаемой жидкости во внешнем гравитационном поле. С помощью (1) плотность морской воды ρ может быть определена по измеренному модулю вектора градиента гидростатического давления в воде $|gradP|$ и по известной величине ускорения свободного падения g . Следовательно, задача определения плотности

воды сводится фактически к определению модуля вектора градиента давления в воде.

В работе получены соотношения, с помощью которых можно определить величину $|gradP|$ по измеренным ортогональным проекциям вектора градиента на оси косоугольной системы координат $O\xi\eta\zeta$, если известны углы α_{12} , α_{13} , α_{23} между положительными направлениями этих осей (рис. 1). Здесь и далее эти формулы не приводятся в тексте ввиду их громоздкости.

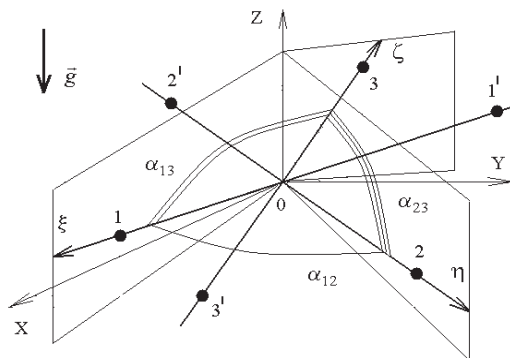


Рис. 1. Схематический вид произвольного расположения входов трех дифференциальных датчиков давления (входы датчиков обозначены цифрами) на трех некомпланарных осях $O\xi$, $O\eta$, $O\zeta$

В предлагаемом варианте метода “базовые” расстояния между входами датчиков давления являются известными величинами. Эти расстояния могут быть неодинаковыми для различных датчиков (с учетом требований, обусловленных конструктивными особенностями используемых датчиков давления и носителя гидрофизической аппаратуры), что расширяет функциональные возможности гидростатического метода определения плотности морской воды.

Важной особенностью рассматриваемого метода с точки зрения его практической ценности является независимость полученного значения $|gradP|$ от пространственной ориентации координатной системы, на осях которой расположены входы дифференциальных датчиков давления, при сохранении взаимной ориентации этих осей (углов α_{12} , α_{13} , α_{23}). Отсутствие принципиальных ограничений на взаимную ориентацию осей (за исключением требования их некомпланарности) также расширяет

функциональные возможности рассматриваемого варианта гидростатического метода определения плотности морской воды.

3. Формулы для определения величины $|gradP|$ упрощаются, когда расположение дифференциальных датчиков давления обладает свойством симметрии. Если, например, оси, на которых расположены датчики, составляют друг с другом одинаковые углы, равные $\pi/3$ (рис. 2), то

$$|gradP| = \sqrt{\frac{3}{2}(b_1^2 + b_2^2 + b_3^2) - (b_1b_2 + b_1b_3 + b_2b_3)}. \quad (2)$$

Здесь $b_i = (P_i - P_{i'})/L_i$; ($i=1, 2, 3$) – измеренные ортогональные проекции вектора градиента давления на оси косоугольной системы координат.

Этот случай соответствует, например, расположению входов трех дифференциальных датчиков давления на боковых ребрах тетраэдра и/или на прямых линиях, являющихся продолжениями боковых ребер за вершину тетраэдра, и/или на прямых линиях, параллельных боковым ребрам (рис. 2). Предполагается однородность поля градиента гидростатического давления на пространственных масштабах порядка расстояний между датчиками давления.

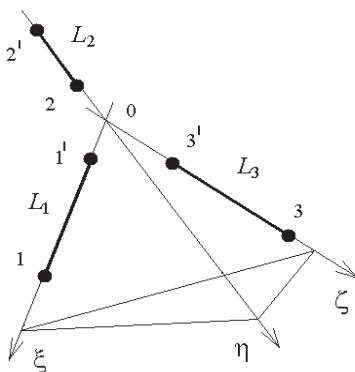


Рис. 2. Одна из возможных конфигураций трех дифференциальных датчиков давления: два датчика расположены на двух боковых ребрах тетраэдра, а один датчик – на продолжении третьего бокового ребра за вершину тетраэдра

4. Таким образом, в данной работе предложена новая модификация гидростатического метода определения плотности морской воды, расширяющая его функциональные возможности. Метод основан на совместной обработке сигналов трех дифференциальных датчиков давления

при произвольной пространственной ориентации трех жестко связанных между собой некомпланарных осей, на которых располагаются входы датчиков, и при произвольных расстояниях между входами датчиков.

Обоснованы рабочие формулы предложенной модификации метода. Приведены выражения, позволяющие в реальном времени определить плотность морской воды по измеренным значениям гидростатического давления и по известным параметрам, характеризующим пространственную конфигурацию входов дифференциальных датчиков давления, образующих систему.

Основная практическая ценность предложенной модификации заключается в том, что выходной сигнал системы дифференциальных датчиков давления, несущий информацию о градиенте гидростатического давления, нечувствителен к наклону этой системы в исследуемой морской среде. Тем самым устраняется влияние важного источника помехи, присутствующего в натурных экспериментах, что должно повысить точность определения плотности морской воды в реальных условиях гидростатическим методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов Г.В., Еремеев В.Н., Агеев М.Д. и др. Океанология: средства и методы океанологических исследований / Международная ассоциация академий наук; РАН; НАНУ. М.: Наука, 2005. – 795 с.

2. Жемков Е.И. Метод и устройство гидростатического измерителя плотности морской воды // Материалы 12-й Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». М., 2011. Ч. I. С. 95–97.

УДК 681.5

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ИНВАРИАНТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПИТ–1

Гайский П.В.

*Морской гидрофизический институт НАН Украины,
ул. Капитанская, 2 99011, г. Севастополь, т. (0692) 54-03-80
gaysky@inbox.ru*

Development of new precision high-speed and invariant measuring instrument of temperature is described.

Уменьшение динамической погрешности измерителей температуры, обусловленной инерционностью датчика, является важной задачей термометрии. Когда конструктивно-технологические пути снижения инерционности датчиков исчерпаны из-за необходимости защиты чувствительных элементов от внешних механических воздействий и давления, целесообразно построение измерителей с использованием принципов параметрической инвариантности. На базе разработок измерителей температуры для буксируемых и зондирующих приборов Морского гидрофизического института НАН Украины, построенных на двух датчиках сопротивления с различной инерционностью (более 2 с) [1], электрической схемы включения [2] и на современной элементной базе был создан прецизионный быстродействующий измеритель. При выходной частоте отсчетов в 50 Гц измеритель обеспечивает погрешности в статике: случайную – менее $0,0003^{\circ}\text{C}$, суммарную – менее $0,003^{\circ}\text{C}$. Специальная градуировка и алгоритмически-программная коррекция [3] позволяют уменьшить исходную при измерении одним датчиком динамическую погрешность в $10\div 100$ раз.



Рис. 1. Общий вид измерителя температуры

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гайский В.А.** Методы измерения температуры и потока теплообмена датчиков со средой, инвариантные к теплоемкостям датчиков / В.А. Гайский, П.В. Гайский // Системы контроля окружающей среды // Сб.науч.тр., НАН Украины, МГИ. Севастополь, 2010. Вып. 13. С. 60–64.
2. **Гайский В.А., Гайский П.В., Логвинчук А.Н., Клименко А.В.** Патент UA №76230, 24.05.2004. Изобретение «Цифровой измеритель температуры» Бюл. №7, 17.07.2006.
3. **Гайский П.В.** Метод уменьшения инерционности измерителя температуры / П.В. Гайский // Системы контроля окружающей среды // Сб. науч. тр., НАН Украины, МГИ. Севастополь, 2012. Вып. 17. С. 79–83.

ТЕРМОПРОФИЛЕМЕРЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ДАТЧИКАМИ

Гайский В.А., Гайский П.В.

*Морской гидрофизический институт НАН Украины,
ул. Капитанская, 2, 99011, г. Севастополь, т. (0692) 54-03-80,
oaoimhi@inbox.ru, gaysky@inbox.ru*

The distributed modulated gauges of temperature (thermoprofilemeters) constructed on the basis of Wolsh functions are described. Technical and metrological characteristics are resulted.

Предназначены для измерения непрерывного профиля температуры в водных средах с берега, береговых сооружений и различных носителей и плавсредств в автономном или телеметрическом режимах. Их отличительной особенностью является принцип измерения профиля температуры, основанный на разложении профиля в ряд по функциям Уолша, позволяющий уменьшить погрешность пространственной дискретизации и исключить необходимость зондирования [1, 2].

В состав приборов входят герметичный грузонесущий измерительный кабель из проводных датчиков с пространственно-модулированной по функциям Уолша погонной термочувствительностью и герметичный блок многоканального цифрового преобразования с интерфейсным выходом.

Таблица 1. Метрологические характеристики

Измеряемый параметр	Диапазон измерения	Случайная погрешность	Погрешность
Температура по профилю, °С	0 ÷ 45	±0,01	±0,1

Алгоритмически-программное обеспечение термопрофилемеров предусматривает обработку измерительных данных на ПЭВМ в реальном масштабе времени и в режиме постобработки с представлением данных в виде мгновенных профилей температуры, хода температуры во времени на всех участках пространственного разрешения в виде градиента и изолиний температуры.

Вид и характеристики измерительного кабеля определяются назначением и условиями применения.

Таблица 2. Технические характеристики базового варианта (ИПТ-5)

Параметр	Значение
Длина измерительного кабеля (измерительная база), м	32
Пространственное разрешение (длина участка), м	1
Период опроса всех каналов, с	от 0,2
Количество участков в кабеле-датчике, шт.	32
Тип интерфейса	RS 232
Дальность связи в телеметрическом режиме, м	до 200
Питание, В	7÷15
Потребляемая мощность, Вт	менее 0,6
Габаритные размеры кабеля-датчика, м	от $\varnothing 0,010 \times 32,05$
Габаритные размеры модуля электроники, мм	$\varnothing 50 \times 400$

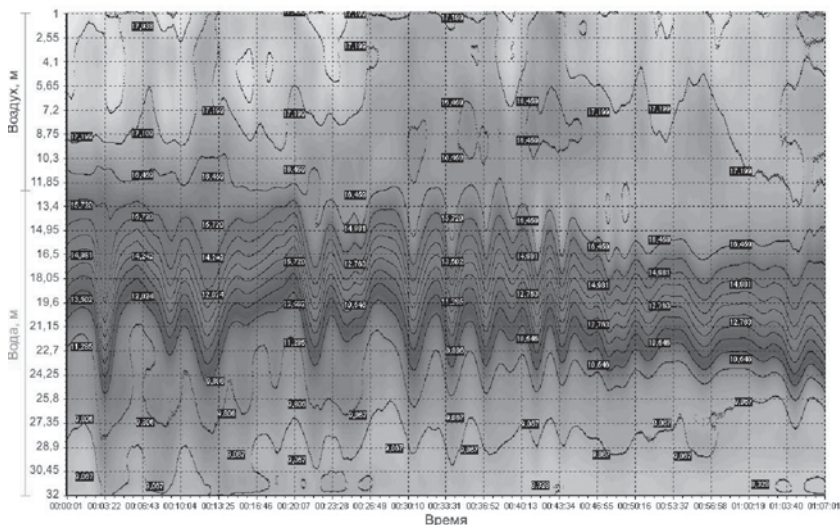


Рис. 1. Пример часовой записи измерений в изолиниях температуры

Пример записи измерений вертикального профиля температуры прибором ИПТ-5 с 32 метровым распределенным датчиком, установленным вертикально на океанографической платформе в экспериментальном отделении МГИ НАНУ (Южный берег Крыма) (1–11 м – воздушная среда, 12–32 м – морская вода) показан на рис. 1 в изолиниях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гайский В.А.** Применение функций Уолша в системах автоматизации научных исследований / В.А. Гайский, Н.Д. Егупов, Ю.П. Корнюшин // Киев: Наукова думка, 1993. 211 с.

2. **Гайский П.В.** Автоматизированные системы с распределенными термопрофилемерами. Вестник СевНТУ. Автоматизация процессов и управления, Сб. науч. тр. Севастополь, 2009. № 9. С. 24–28.

УДК 551.46.08-52

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКОЙ ПРИБРЕЖНОЙ СТАНЦИИ “БРИЗ”

Гайский П.В., Забурдаев В.И., Клименко А.В.

*Морской гидрофизический институт НАН Украины,
ул. Капитанская, 2, 99011, г. Севастополь, (0692) 54-03-80,
oaoimhi@inbox.ru, gaysky@inbox.ru*

The results of long-term operation of pre-production models of marine coastal station BREEZE in Black sea water area with the purpose of estimation of quality of metrological characteristics of measuring channels, system of gathering, storage and transfer of information on communication lines from a supervision place in databank MHI of NAS of Ukraine are resulted in the article.

Комплекс оборудования морской прибрежной станции (МПС) БРИЗ [1] был разработан и изготовлен Морским гидрофизическим институтом НАН Украины совместно с НТК "Океан-МГИ" по заказу Гидрометеослужбы Украины и в 2007 году два опытных образца прошли государственные приемочные испытания. Начиная с 2008 по 2012 гг. в летне-осенние периоды (с мая по декабрь), комплекс оборудования проходил опытную эксплуатацию на океанографической платформе экспериментального отделения МГИ НАН Украины (пос. Кацивели, АРК). Главная цель этих работ заключалась в экспериментальной оценке долговременной стабильности измерительных каналов, надежности станции в целом, включая передачу информации по системе ИНТЕРНЕТ с места постановки в место сбора информации (МГИ НАН Украины, г. Севастополь).

Основные метрологические характеристики измерительных каналов показаны в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики измерительных каналов КО МПС

Измеряемый параметр	Диапазон измерения	Случайная погрешность	Предел основной погрешности
1. Гидростатическое давление, кПа	0 ÷ 500	0,2	±2
2. Температура воды, °С	-2 ÷ +35	0,01	±0,1
3. Относительная электропроводимость воды, отн. ед.	0,01 ÷ 1,7	$3 \cdot 10^{-4}$	$\pm 3 \cdot 10^{-3}$
4. Объемная концентрация растворенного кислорода, см ³ /дм ³	0,1 ÷ 10	0,01	±3%
5. Показатель активности ионов водорода, ед. рН	1 ÷ 14	0,03	±0,5
6. Спектральный показатель ослабления света, м ⁻¹	0,01 ÷ 1,0	0,002	±0,02
7. Высота волн, м	0 ÷ 10	0,03	±0,15
8. Период волн, с	1 ÷ 100	1	±1%

За пять лет после изготовления и эксплуатации МПС в морских условиях (в общей сложности в море около 16 месяцев) метрологические характеристики измерительного канала абсолютного давления не вышли за пределы погрешности $\pm(-1,25 < \Delta P(\text{кПа}) < 1,8)$, что меньше допустимой погрешности измерения ($\Delta P_{\text{доп}} \leq \pm 2 \text{кПа}$).

По данным периодических проверок комплексов МПС зав. № 01 и 02, проводимых в отделе метрологии МГИ НАН Украины установлено, что нестабильность каналов измерения температуры за два года не превышала $(\Delta t) = \pm 0,05^\circ\text{C}$ при допустимом значении основной погрешности $(\Delta t)_{\text{доп}} \leq \pm 0,1^\circ\text{C}$.

В качестве датчиков электропроводимости использовались контактные четырехэлектродные ячейки с плоскими и штыревыми электродами. В естественной морской воде из-за осаждения на электродах и на поверхности датчиков биологических существ в виде баянуса погрешность измерений начинает выходить за допустимые пределы ($\pm 0,003$) через 25÷28 суток.

Полярнографический (пленочный) датчик кислорода, стандартные ионоселективные электроды для измерения рН в реальных условиях моря также подвергаются интенсивному обрастанию баянусом, в следствие чего срок необслуживаемой эксплуатации этих измерительных каналов при обеспечении допустимой погрешности не должен превышать 16÷20 суток.

Наиболее критичным измерительным каналом оказался канал измерения спектрального показателя ослабления света. Загрязнение оптических иллюминаторов взвесями и слизью выводит канал за пределы допустимой погрешности через $6 \div 8$ суток. Опытная эксплуатация показала, что без автоматической очистки иллюминаторов минимальный срок нормальной работоспособности между профилактическими осмотрами с интервалом $16 \div 25$ суток обеспечить невозможно.

На рис. 1 показан внешний вид погружного блока станции до погружения и после 30-ти суточного нахождения в море.

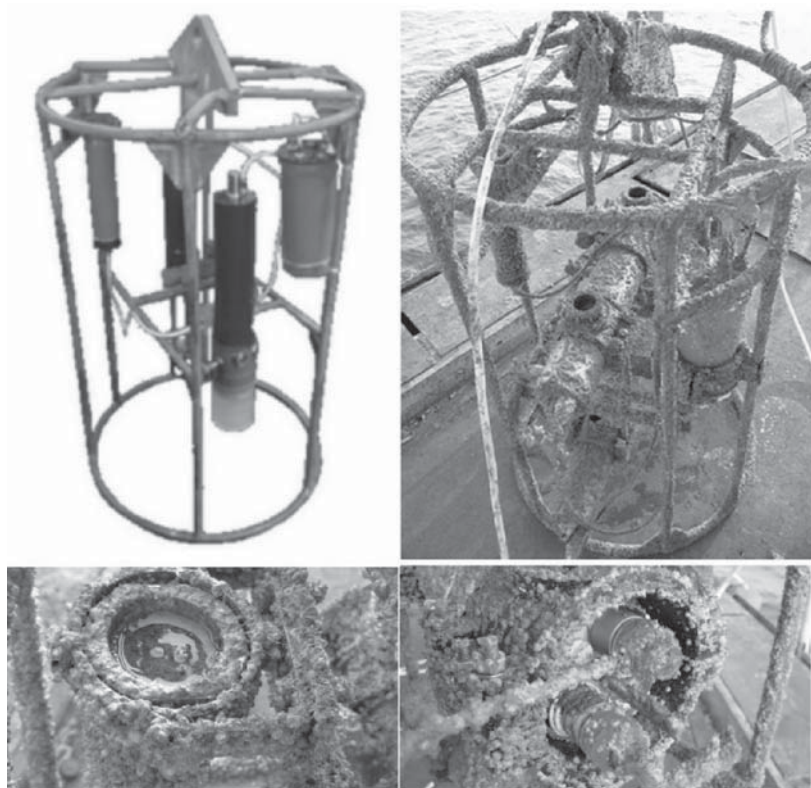


Рис. 1. Внешний вид погружного блока станции до погружения и после 30-ти суточного нахождения в погруженном состоянии

Использованный принцип обращенного эхолота для измерения высоты и периода волн позволил обеспечить заданные характеристики как по высоте, так и по периоду волнения. Анализ полученных спектров волнения при известных характеристиках ветра показал, что спектр полученного волнения лежит в пределах, ограниченных линиями, соответствующими спектру Тоба [2] при длительности измерения около 60 суток, однако при глубинах больше 10÷15 м наблюдались сбои из-за не попадания отраженного акустического сигнала в диаграмму приемного устройства.

По результатам экспериментальных исследований установлено [3], что объем «сбоев» в передаче информации от измерительных каналов в бортовой накопитель не превышает 3·10⁻⁷.

Долговременная опытная эксплуатация оборудования морской прибрежной станции БРИЗ показала, что в целях обеспечения максимальной непрерывности и достоверности получаемых результатов (перерыв в работе не более 1–2 часов за 16–20 суток непрерывной работы) на посту гидрометеонаблюдений необходимо иметь два взаимозаменяемых комплекта погружаемого устройства МПС за время работы одного из которых второй должен проходить профилактическое обслуживание.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Трофименко В.А.** Оснащение сети станций гидрометеослужбы Украины современными системами контроля окружающей среды / В.А. Трофименко, В.А. Гайский // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ: Севастополь. 2008. С. 11–44.
2. **Гайский П.В.** О связи показаний измерителя параметров волн морской прибрежной станции БРИЗ-1 с метрологической обстановкой в районе постановки // П.В. Гайский, В.И. Забурдаев, М.В. Косник и др. // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ: Севастополь. 2010. Вып. 13. С. 65–71.
3. **Гайский П.В.** Методические, программно-алгоритмические и технологические аспекты обеспечения работоспособности гидролого-химического модуля морской прибрежной станции БРИЗ-1 / П.В. Гайский, О.Ф. Дмитриев, В.И. Забурдаев, А.В. Клименко, К.А. Кузьмин, С.В. Казанцев // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. / НАН Украины, МГИ: Севастополь. 2011. Вып. 15. С. 69–76.

ОЦЕНКА СИНОПТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛИГОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Гасников О.А.

*ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-
гидрографический институт»*

*Кожевенная линия, 41, 199106, Санкт-Петербург,
Тел.: +7(812)322-21-13 Факс: +7(812)322-33-19, e-mail: mail@gningi.ru*

The paper deals with estimation of synoptic variability of hydrophysical parameters in the north-east part of the Norwegian Sea on the basis of long-term field researches. There has been proposed a modeling method for hydrological conditions of the given area.

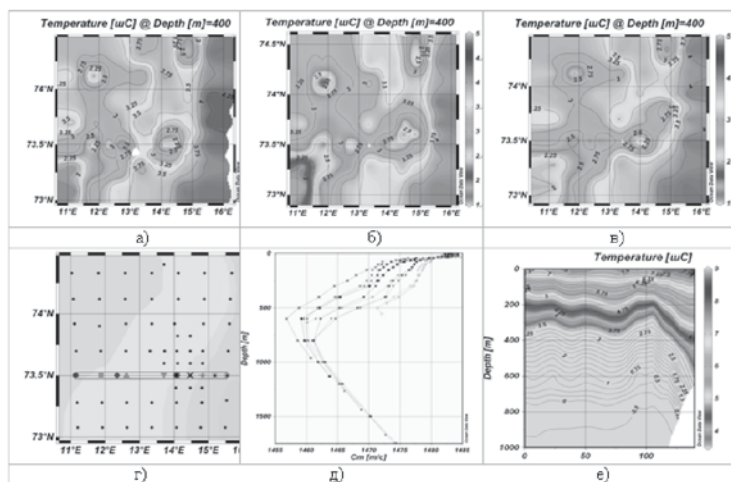
В данной работе приведены результаты полигонных исследований в северо-восточной части Норвежского моря. В течение длительного времени этот район был объектом комплексных океанографических исследований в интересах навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения подводно-технических работ в районе затонувшей АПЛ «Комсомолец».

Комплексное выполнение измерений зондирующей аппаратурой по согласованной программе группой судов и наблюдения на притопленных автономных буйковых станциях АБС позволило получить обобщенные характеристики вертикальной структуры гидрологических параметров, её изменчивости, определить механизмы формирования вертикальной структуры полей течений и гидрологических элементов, оценить соответствующие параметры и их вклад в амплитуды максимальных возмущений.

Характерные особенности района работ, расположенного на стыке Норвежского, Гренландского и Баренцева морей и находящегося в зоне расположения потоков противоположного направления приводят к значительным горизонтальным градиентам плотности и являются причиной развития процессов бароклинной и баротропной неустойчивости и, как следствие, к формированию формироваться вихревые структур и волновых возмущений (Рисунок 1).

Специализированные наблюдения на микрополигонах дали возможность оценить параметры синоптических вихрей, размеры и скорость

перемещения, которые хорошо согласуются с теоретическими положениями [1].



а, б, в – положение вихря на трех последовательных микросъемках
 г, д, е – разрез через центр вихря (скорость звука и температура)
 Рисунок 1. – Распределение температуры на горизонте 400 м и разрез
 через центр вихря (Норвежское море, июль-август)

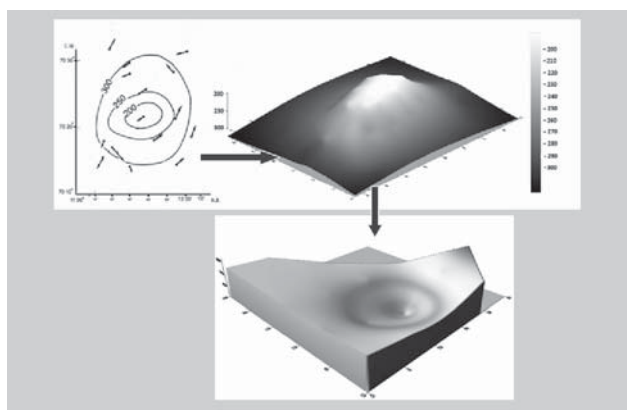


Рисунок 2. – Характеристики вихревого образования (Норвежское море, июль-август)

На рис.2. приведены глубина залегания изопикнической поверхности ($\sigma_t=27.90$) и динамические высоты для одного из наблюдавшихся вихрей.

Полученные материалы полигонных наблюдений были использованы для разработки метода моделирования гидрологических условий [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Каменкович В.М., Кошляков М.М., Монин Л.С.** Синоптические вихри в океане – Л.: Гидрометеониздат, 1987. – 511 с.

2. **Абрамова И.А., Гасников О.А., Ставров К.Г., Удалов В.В.** Моделирование изменчивости гидрофизических параметров северо-восточной части Норвежского моря // Труды XI Росс. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (ГА-2012) / РАН – СПб.: Наука, 2012. – С. 268–271.

ПОДСПУТНИКОВЫЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН ИО РАН В ЧЕРНОМ МОРЕ

**Зацепин А.Г.¹, Островский А.Г.¹, Баранов В.И.³, Кондрашов А.А.³,
Корж А.О.³, Кременецкий В.В.¹, Кубряков А.А.⁴, Куклев С.Б.²,
Куклева О.Н.², Москаленко Л.В.³, Пака В.Т.³, Пиотух В.Б.¹,
Подымов О.И.², Соловьев В.А.¹, Соловьев Д.М.⁴, Станичный С.В.⁴**

¹ *ФГУБН Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,
Москва, e-mail: zatsepin@ocean.ru*

² *Южное отделение ФГУБН Института океанологии
им. П.П. Шириова РАН*

³ *Атлантическое отделение ФГУБН Института океанологии
им. П.П. Шириова РАН*

⁴ *Морской гидрофизический институт НАН Украины*

The first results and plans for the development of the subsatellite hydrophysical polygon at shelf- continental slope zone of the Black Sea, designed for permanent and automatic monitoring of the aquatic environment are presented. Work is carried within projects of the Program 23 RAS, Russian Ministry of Education (GK № 11.519.11.5020), Russian-Ukraine Academic collaboration, RFBR grants 11-05-00830, 13-05-92608, 13-05-00777.

Изучение пространственно-временной изменчивости гидрофизической структуры и динамики вод российской части шельфа – континентального склона Черного моря является одной из важных задач экологии региона, представляющего большое рекреационное и хозяйственное значение. По существующим представлениям эта изменчивость на масштабах 10^0 - 10^2 км и 10^0 - 10^2 часов имеет тесную взаимосвязь с водообменными процессами в системе шельф – глубокое море, которые ответственны за обновление вод шельфа и их очистку от загрязнений. Актуальность исследования этих процессов обусловлена необходимостью получения адекватных оценок способности прибрежно-шельфовой экосистемы выдерживать все увеличивающуюся антропогенную нагрузку.

Оценка текущего и прогнозируемого состояния параметров морской среды на основе использования системы комплексного оперативного мониторинга является важной задачей современной океанологии. В настоящее время такая система только формируется в черноморском бассейне. Наблюдательная компонента этой системы, в поддержании которой участвуют все причерноморские страны, включает спутниковые наблюдения, измерения со стационарных и дрейфующих платформ и данные, получаемые в рейсах научно-исследовательских судов.

Развертывание на шельфе и континентальном склоне Черного моря в районе г. Геленджика сети стационарных платформ для автоматизированного измерения ключевых параметров морской среды и биоты в сочетании с проведением регулярных комплексных судовых наблюдений, анализом текущей спутниковой информации и метеоданных является вкладом российской науки в развитие наблюдательной системы оперативного мониторинга Черного моря.

Методы и средства наблюдений на черноморском полигоне ИОРАН включают в себя:

- 1) анализ текущей спутниковой информации в инфракрасном и видимом диапазонах спектра (температура и цвет морской воды), а также данных спутниковых альтиметров и их использование для расчета поверхностных геострофических течений;

- 2) регулярные (с апреля по ноябрь, приблизительно раз в 2 недели) судовые разрезы в области шельфа – континентального склона с регулярным выполнением СТД – станций зондирования с борта БПМ-74 «Ашамба»;

- 3) пространственные съемки поля скорости течения с помощью букируемого за судном акустического доплеровского профилографа скорости течения (ADCP), размещенного в обтекаемой гондоле;

4) долговременное (на протяжении многих месяцев) измерение профилей скорости течения и сигнала обратного акустического рассеяния с помощью донных станций с ADCP;

5) долговременное измерение профилей температуры, солености, плотности воды, а также скорости течения и обратного акустического рассеяния с помощью автономных зондов-профилографов "Аквалог" на заякоренных буйковых станциях [1];

6) долговременное измерение вертикальных распределений температуры с помощью автономных заякоренных термокос;

7) использование данных метеостанции г. Геленджика для оценки характеристик атмосферного воздействия на прибрежную морскую среду.

Схема полигона с размещенными на нем измерительными системами (ноябрь 2012 г.) показана на рис. 1. Поскольку пространственная изменчивость гидрофизической структуры вод наиболее ярко выражена в поперечном берегу направлении, автономные измерительные системы целесообразно размещать на перпендикулярных берегу разрезах. В настоящее время имеющейся аппаратуры хватает лишь для размещения на одном разрезе, который был организован на траверзе Толстого мыса. На этом разрезе донная станция ADCP (AWAC Nortek 1000 кГц) была установлена на расстоянии от берега около 1 км (0.6 мили) на изобате 25 м, термокоса АО ИОРАН – на расстоянии от берега около 2 миль на изобате 42 м, «Аквалог-4» – на расстоянии около 4 миль от берега на изобате 270 м и «Аквалог-6» – на расстоянии около 6 миль от берега на изобате 1047 м. В своей береговой части разрез смыкается с гидрометеорологической станцией г. Геленджика, имеющей пост измерения уровня моря.

Еще одна донная станция ADCP (RDI WH 600 кГц) установлена на траверзе Голубой бухты на расстоянии 900 м (0.5 миль) от берега на изобате 22 м. Совместный анализ данных зарегистрированных этой станцией и станцией ADCP на траверзе Толстого мыса позволит получить информацию о вдольбереговой изменчивости характеристик течений и сигнала акустического рассеяния.

В сентябре – ноябре 2012 г. все описанные выше стационарные измерительные средства были установлены на акватории полигона с целью проведения автоматического мониторинга гидрофизических характеристик морской среды на протяжении холодного периода года.

Одна из основных задач дальнейшей модернизации гидрофизического полигона заключается в обеспечении всех автономных измерительных станций системами оперативной передачи данных. Эта задача находится в стадии решения. Прорабатывается несколько вариантов систем связи в квази-реальном времени.

Работа выполнялась в рамках Госконтракта № 11.519.11.5020 «Черноморский экспериментальный подспутниковый полигон в целях мониторинга состояния и исследования прибрежной экосистемы» с Минобрнауки России (2011-2013 гг.), Программы 23 РАН «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология», Программы сотрудничества РАН-НАН Украины Черное море как имитационная модель океана» и грантов РФФИ №11-05-00830, 13-05-92608, 13-05-00777.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьев В.А., Цибульский А.Л., Швоев Д.А.** Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции. // Океанология. 2013. Т.53. №2.

УДК 551.46.07

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОБИЛЬНОГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ СО СТАЦИОНАРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА МОРСКОМ ШЕЛЬФЕ

Островский А.Г.¹, Швоев Д.А.¹, Суконкин С.Я.², Эмба Я.А.³

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

Нахимовский проспект д. 36, 117997, г. Москва

Телефон 8-499-1246392, факс 8-(499)-1245983, e-mail: osasha@ocean.ru

² *ОКБ океанологической техники РАН*

ул. Летняя д.1, корп. 2, 109387, г. Москва

Телефон 8-495-3502612, факс 8-(495)-3500329, e-mail: okb@edboe.ru

³ *ГНПО СФТИ, Гидрофизический институт АНА*

ул. Красномаякская, 67, г. Сухум, 384905, Республика Абхазия

Телефон 8-10-(995-122)-6-23-10, e-mail: sgiana@mail.ru

A new approach to deployment of the ocean *in situ* monitoring system from an offshore structure is presented. The prototype system was successfully tested in the waters over the continental slope in the eastern Black Sea in 2012.

Организация экологического мониторинга производственной деятельности предприятий топливно-энергетического комплекса на морском шельфе и в более глубоких морских бассейнах становится все более важной из-за роста рисков негативных последствий антропогенных загрязнений вследствие расширения добычи и транспортировки углеводородного сырья.

В рамках ФЦП "Развитие гражданской морской техники" на 2009-2016 гг. предусмотрена разработка технологии и методик автоматизированного мониторинга состояния акваторий на морском шельфе с использованием контактных измерений. Технология предусматривает размещение измерительных модулей на объектах морской техники (нефтегазодобывающих платформах) и на подвижных носителях (подводных аппаратах) в районах разведки, добычи и транспортировки углеводородного сырья. Особенно актуальна разработка способа постановки подвижного носителя с нефтегазовой платформы или терминала для контроля гидрологических и физико-химических характеристик водных масс в целях мониторинга экологического состояния морской среды непосредственно у стационарного сооружения. Решение этой задачи должно обеспечить:

- минимизацию затрат на дорогостоящие измерительные датчики,
- оптимизацию работ по эксплуатации комплекса мониторинга,
- многократное снижение рисков утраты или повреждения носителей измерительных датчиков.

Минимизация затрат на измерительные датчики становится возможной благодаря применению одного комплекта гидрологических и физико-химических датчиков на вертикально-профилирующем носителе (заякоренном морском профилирующем аппарате – ЗМПА), вместо размещения нескольких комплектов на фиксированных горизонтах на буйрепе буйрепе (Островский и др., 2009).

Для буксировки ЗМПА от платформы достаточно маломерного плавсредства. Самоходный ЗМПА устанавливается на ходовом тресе, натянутом вертикально между приповерхностной плавучестью и придонной плавучестью, которая в свою очередь закреплена на конце троса, идущего через заякоренный блок к лебедке на платформе, как показано на рис. 1. Такая компоновка позволяет существенно облегчить выборку, снятие для технического обслуживания и повторную установку ЗМПА на ходовом тресе.

После установки ЗМПА на ходовом тресе включается лебедка на платформе, которая затягивает буйковую линию на заданную глубину. ЗМПА начинает автоматически со скоростью около 0.2 м/с передви-

гаться по вертикально натянутому тросу между верхней плавучестью и нижней плавучестью.

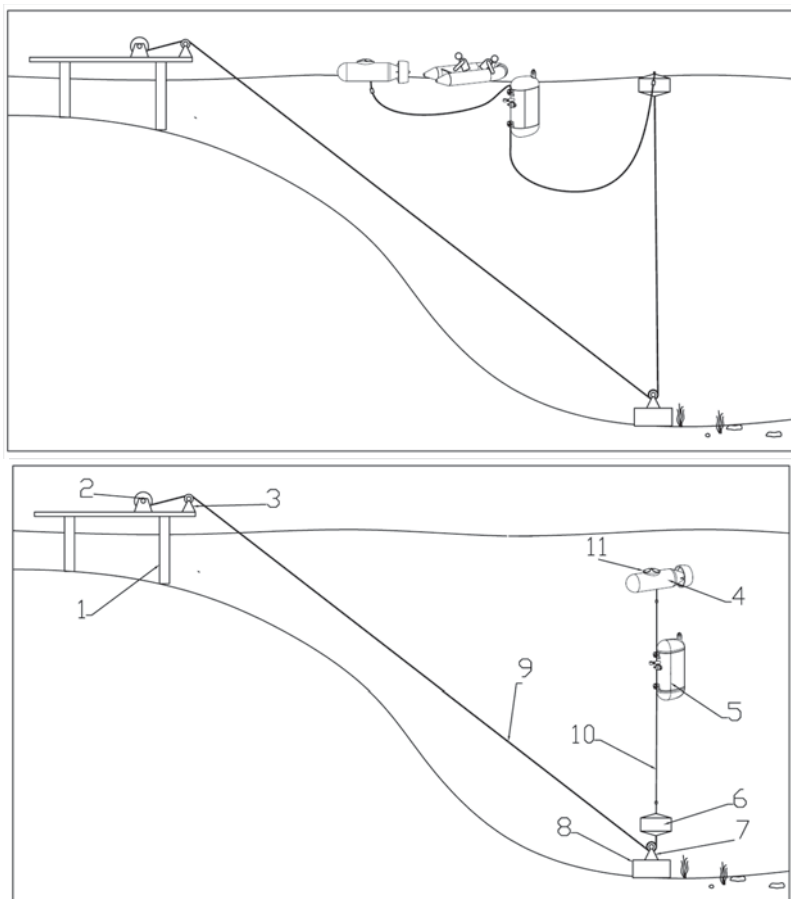


Рис. 1. Схема постановки мобильного зондирующего комплекса со стационарного сооружения на морском шельфе. Вверху – постановка ЗМПА. Внизу – комплекс в рабочем положении. 1 – платформа, 2 – лебедка, 3 – опора с блоком, 4 – верхняя плавучесть, 5 – ЗМПА с комплектом измерительных датчиков и системой связи, 6 – нижняя плавучесть, 7 – блок, 8 – якорный груз, 9 – трос лебедки, 10 – ходовой трос, 11 – дополнительное оборудование мониторинга и связи.

Для снятия ЗМПА, имеющего незначительную до 10 Н положительную плавучесть, достаточно вытравить трос с барабана лебедки платформы и ЗМПА вместе с верхней плавучестью поднимется на поверхность. Затем ЗМПА должен быть снят с буйковой линии и с помощью плавсредства отбуксирован к месту проведения технического обслуживания и замены батарей с целью продолжения мониторинга в дальнейшем.

Натурный эксперимент в целях подтверждения правильности предложенной концепции постановки ЗМПА был проведен на траверзе м. Красный Маяк (другое название м. Сухумский, северная граница Сухумской бухты) в акватории, прилегающей к территории Гидрофизического института Абхазской академии наук в 2012 г. В этой акватории топография дна отличается резким свалом глубин: крутой спуск начинается от береговой кромки, а уклон дна составляет 30-40 градусов.

ЗМПА был установлен в море с помощью береговой лебедки со стальным тросом, на конце которого закреплена большая плавучесть. Трос, идущий от барабана лебедки, вначале был пропущен через блок, подвешенный к кран-балке на пирсе, а затем под малым углом опущен в воду и под водой пропущен через второй блок, причем этот блок был заякорен на удалении 400 м от берега, так что он удерживался большой плавучестью (10000 Н) под водой на горизонте 200 м. К верхнему концу большой плавучести был прикреплен ходовой трос. На верхнем конце ходового троса была закреплена малая плавучесть (400 Н) на горизонте 15 м. ЗМПА был установлен на ходовом тросе.

Постановка в абхазских водах была осуществлена 22.05.2012 ЗМПА был запрограммирован на автоматическое выполнение циклов профилирования между горизонтами 20 м и 190 м ежедневно в сроки 00:00, 06:00, 12:00 и 18:00 (по Гринвичу). В каждый срок профилограф поднимался с парковочного горизонта 190 дбар до отметки 20 дбар, выстаивался 3 мин, затем спускался до горизонта 190 дбар.

На профилографе были смонтированы СТД-зонд TRDI Citadel и доплеровский измеритель морских течений и обратного рассеяния звука Nortek Aquadopp (см. [2]).

Подъем профилографа был осуществлен 18.06.2012. На момент подъема ЗМПА находился полностью в рабочем состоянии. За 27 суток автономной работы носитель прошел в общей сложности 36,4 км. В автоматизированном режиме было выполнено 110 циклов профилирования.

Крупнейшие российские нефтяные компании, участвующие в освоении морских нефтегазовых ресурсов вкладывают значительные средства в проведение производственного экологического мониторинга. Например, в 2006-2011 гг. ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» выделяло ежегодно 20–

40 млн руб. на экомониторинг акватории месторождения «Кравцовское» (Д-6) на шельфе Балтийского моря [3]. Затраты на проведение мониторинга можно существенно снизить, внедрив предлагаемую технологию постановки подвижных зондирующих комплексов со стационарных сооружений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Островский А.Г., Зацепин А.Г., Иванов В.Н. и др.** Заякоренная профилирующая океанская обсерватория // Подводные исследования и робототехника. 2009. №2/8. С. 50–59.

2. **Ostrovskii A.G., Zatsepin A.G.** Short term hydrophysical and biological variability over the northeastern Black Sea continental slope as inferred from multiparametric tethered profiler surveys // Ocean Dynamics. 2011. V. 61. № 6. P. 797–806.

3. **ООО «ЛУКОЙЛ-КМН»**, Программа экологической безопасности. Российский союз промышленников и предпринимателей, Библиотека корпоративных практик, Защита окружающей среды, 2009.

ВЕТРОВАЯ ДИНАМИКА ВОЛНЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ И НА ДНЕ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА

Якубов Ш.Х.

*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН
Нахимовский пр-т, 36, 117997, Москва, ambrosimov@ocean.ru*

In work research on impact of wind waves on dynamics of fluctuations of water at a bottom in Vistula Lagoon, for the purpose of definition of characteristics of transfer of the weighed material and a bottom sediments is executed.

Целью данного исследования является определение динамики движения воды у дна Вислинского залива по данным измерения пульсаций давления в водной толще, индуцируемых поверхностным волнением.

Во время эксперимента в Вислинском заливе волнограф-мареограф ГМУ-2 был укреплен на глубине 2,8 м от поверхности и 2,1 м от дна. Глубина залива в месте постановки составляла 4,9 м. В качестве измерителя использовался частотный тензометрический датчик давления «кремний на сапфире», включенный в одно из плеч измерительного

моста. При изменении уровня воды над прибором изменяется давление, регистрируемое датчиком, которое выражается в изменении его частоты. Кроме измерения пульсаций давления, прибор обеспечивал измерение среднего гидростатического давления, эквивалентного измерению уровня моря, являясь, таким образом, и мареографом. Запись волнения производилась в течение 10 мин в начале каждого часа в период с 15 мая по 17 июня 2009 г. Дискретность измерения волнения составляла 0,25 с.

Расчет возвышений свободной поверхности осуществлялся с помощью быстрого преобразования Фурье. По данным датчика давления были рассчитаны оценки спектра пульсаций давления $P(\omega)$. Далее, используя теоретическую передаточную функцию, был совершен переход от спектра пульсаций давления к частотному спектру ветрового волнения $S(\omega)$. На основании моментов $\left(m_i = \int_0^{\infty} S(\omega) \omega^i d\omega \right)$ частотного спек-

тра были определены, пять важнейших параметров ветрового волнения: характерная высота волн h_s , период пика спектра T_p , средний период волн $\bar{\tau}$, длина волны пика спектра L_p , средняя длина волн $\bar{L}$.

На рис.1 (верхний рис.) приведена реализация пульсаций давления, полученная по данным измерения на глубине 2,8 м, а на нижнем рисунке восстановленное по ней волнение на поверхности моря.

Полученные в эксперименте результаты позволяют оптимальным образом организовывать измерения волнения на шельфе моря и в заливах, поскольку прямое измерение необычайно затруднено из-за динамического воздействия волнения на процесс измерений. Жесткая установка измерителей волнения в толще или на дне решает эту проблему и позволяет получать характеристики волнения *in situ* для прогнозирования штормовых условий и оценок риска возникновения аномально высоких волн.

Кроме этого, полученные результаты позволяют выполнять расчеты по заиливанию каналов и русел на дне залива по полученной методике оценок переноса придонного взвешенного материала.

На рис. 2 представлены расчеты динамики волнения на расстояниях 20 и 10 см над дном залива по вышеописанным данным, которые необходимы для оценки процесса переноса и переотложения донных осадков. Из этих оценок видно, что согласно /Лукашин В.Н., 2010/ величин горизонтальных скоростей воды у дна вполне достаточно для взмучивания донных осадков и вовлечения их процесс гравитационного переотложения в более глубокие районы залива. Вертикальная составляющая эллипса вращения частиц воды у дна резко уменьшается и если в 20 см

от дна залива размах скорости составляет ~ 3 см/с, то уже в 10 см от дна этот размах уменьшился до 1 см/с (см.нижний рис.2).

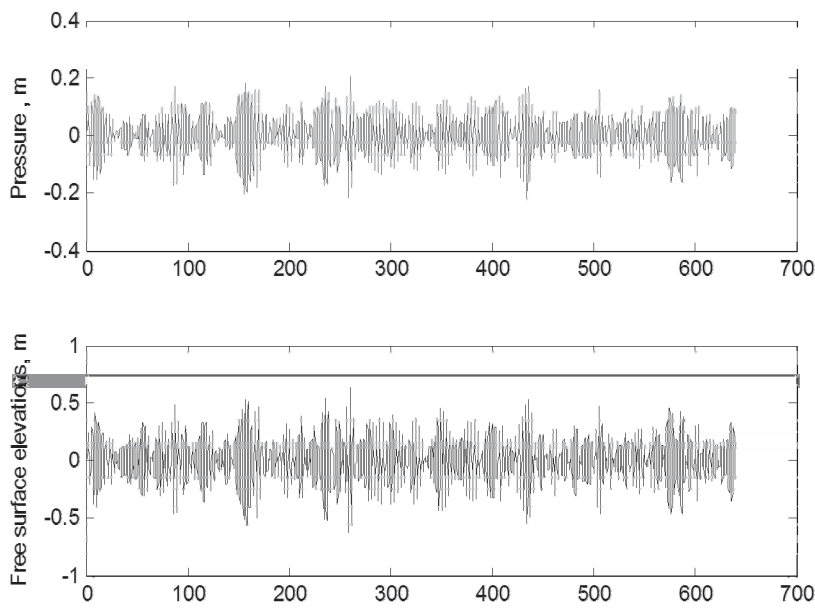


Рис. 1. Реализация пульсаций давления по данным измерений в толще Вислинского залива и восстановленная по ней реализация возвышений свободной поверхности (17.08.2007 10⁰⁰).

В таблице представлены основные статистические параметры волнения на поверхности и на дне Вислинского залива, где: $H_{\text{ср.}}$, $H_{\text{макс.}}$, $H_{\text{знач.}}$ – средние, максимальные и значительные высоты волн на поверхности залива, $T_{\text{ср.}}$, $T_{\text{макс.}}$, $T_{\text{знач.}}$ – соответствующие им периоды; $Hu1_{\text{ср.}}$... – «размахи» и периоды горизонтальных скоростей на горизонте 10 см от дна; $Hu2_{\text{ср.}}$... – «размахи» и периоды горизонтальных скоростей на горизонте 20 см от дна; $Hw1_{\text{ср.}}$ – «размахи» и периоды вертикальных скоростей на горизонте 10 см от дна; $Hw2_{\text{ср.}}$ – «размахи» и периоды вертикальных скоростей на горизонте 20 см от дна.

Анализ статистики показывает, что экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическими расчетами. Так вблизи дна динамика вертикальных движений резко падает и в 10 см от дна размах вер-

тикальной скорости в 2 раза меньше, чем в 20 см, при этом горизонтальные скорости и периоды колебаний на этих уровнях одинаковы. Горизонтальная ось эллипса вращения частиц воды у дна на порядок больше вертикальной, что хорошо согласуется с теоретическими положениями.

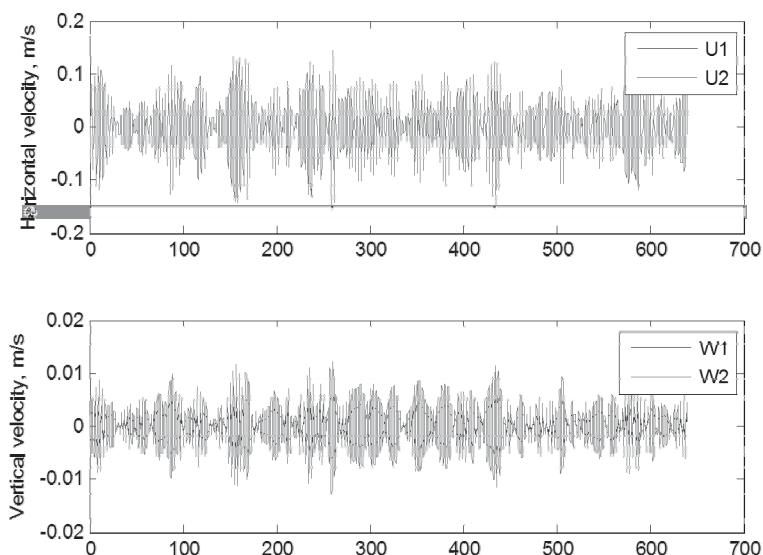


Рис.2. Динамика горизонтальных и вертикальных компонент скорости течений воды на дне Вислинского залива, рассчитанные по данным пульсаций давления, индуцируемого ветровым волнением.

$H_{cp.}(м)$	$T_{cp.}(с)$	$Hh_{макс.}(м)$	$Th_{макс.}(с)$	$Hh_{знач.}(м)$	$Th_{знач.}(с)$
0.169	3.31	0.385	3.25	0.259	3.292
$Hu1_{cp.}$	$Tu1_{cp.}$	$Hu1_{макс.}$	$Tu1_{макс.}$	$Hu1_{знач.}$	$Tu1_{знач.}$
0.128	3.332	0.289	3.25	0.195	3.329
$Hu2_{cp.}$	$Tu2_{cp.}$	$Hu2_{макс.}$	$Tu2_{макс.}$	$Hu2_{знач.}$	$Tu2_{знач.}$
0.129	3.332	0.289	3.25	0.196	3.329
$Hw1_{cp.}$	$Tw1_{cp.}$	$Hw1_{макс.}$	$Tw1_{макс.}$	$Hw1_{знач.}$	$Tw1_{знач.}$
0.005	3.212	0.012	3.25	0.008	3.224
$Hw2_{cp.}$	$Tw2_{cp.}$	$Hw2_{макс.}$	$Tw2_{макс.}$	$Hw2_{знач.}$	$Tw2_{знач.}$
0.010	3.212	0.024	3.25	0.015	3.224

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНОГО ВОЛНЕНИЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЙ В ТОЛЩЕ МОРЯ

Амбросимов А.К.^{1, 2}, Горбачкий В.В.², Якубов Ш.Х.¹

*1 Институт океанологии им.П.П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский проспект, 36, ambrosimov@ocean.ru
2 С-П, НПО «Гранит»*

In the article are presented preliminary results of characteristics of wind waves on surfaces of the Baltic Sea and the movements of benthonic waters received according to measurement a component of currents by the acoustic Doppler measuring instrument of currents.

Анализ научных публикаций показывает, что в литературе практически нет сведений о натурных наблюдениях за движением воды в придонной области моря под воздействием поверхностного волнения и течений, хотя эти данные востребованы для различных оценок по воздействию придонных движений воды на морские сооружения, перенос и осаждение взвешенного вещества, формирование ложа морей и водоемов, скорость заиления искусственных каналов и т.д. Появление доплеровских акустических измерителей ADCP позволяет получать новые данные по динамике течений водных масс в придонной области с высоким разрешением. В свою очередь придонные колебания воды позволяют рассчитать волнение на поверхности моря.

В 2007 г. на МЛСП Д-6 в Балтийском море был выполнен эксперимент по оценке характеристик поверхностного волнения с использованием данных измерения скоростей колебаний воды у дна. Запись течений производилась с помощью ADCP, установленного в юго-восточной части Балтийского моря в 22,5 км от берега на глубине 16,25 м от поверхности и 0,7 м от дна. Для анализа использовались записи трех компонент скорости течений, снятых во время развития шторма. Скорости течений регистрировались каждые 0,5 часа в течение 10 минут с 00 до 11 часов 17 августа 2007 года, с дискретностью измерений в 1 сек. Записи показали, что кроме колебательных движений воды у дна, обусловленных поверхностным волнением, там же имеет место небольшое течение с горизонтальными скоростями до 14 см/с.

Пересчет вертикальных и горизонтальных движений воды у дна в возвышения водной поверхности проводилось в соответствии с класси-

ческой линейной теорией волн. С помощью быстрого преобразования Фурье рассчитывались оценки спектра пульсаций течений. Далее, используя теоретическую передаточную функцию, осуществляется переход к частотному спектру ветрового волнения. На основании обратного быстрого преобразования Фурье частотного спектра ветрового волнения получались хронограммы возвышений свободной поверхности. С помощью передаточных коэффициентов было рассчитано волнение на поверхности, а также горизонтальные и вертикальные скорости колебаний воды на расстояниях 20 и 10 см от дна. Как показали измерения, вертикальная плоскость горизонтальных колебаний частиц воды у дна, обусловленная поверхностным волнением, и направление средней скорости течения – не совпадают. Отношению амплитуд колебаний в меридиональной и зональной плоскостях, указывают на северо-восточное направление движение волн под углом $58 \pm 2^\circ$, при этом вертикальная компонента колебательных движений воды у дна почти на порядок меньше горизонтальной. Ветровой перенос осуществлялся в ту же сторону под углом $83,5^\circ$.

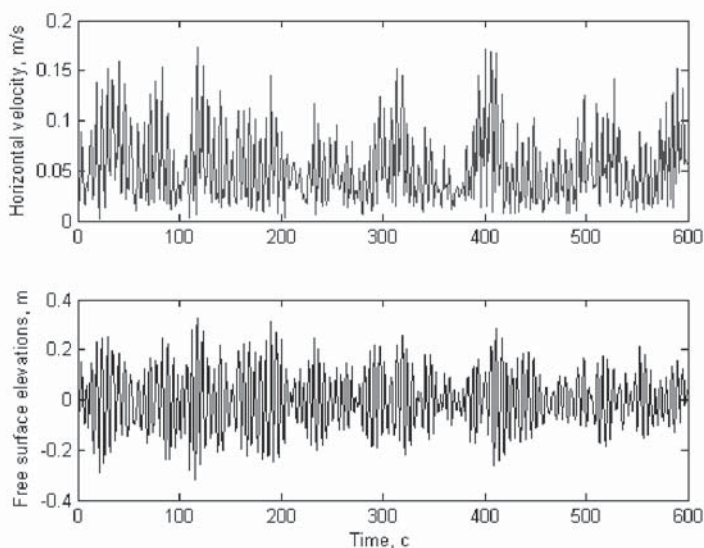


Рис. 1. Распределение скорости горизонтальных колебаний воды у дна (верхний рис.) и восстановленное волнение на поверхности моря (нижний рис.) 17.08.2007, 10⁰⁰

На рис.1 в качестве примера приведена запись горизонтальной скорости движения воды у дна (верхний рис.), снятая во время развития шторма у МЛСП Д-6 и восстановленное по ней волнение на поверхности моря (нижний рис.).

Частотный спектр изменчивости скорости течения воды у дна демонстрирует несколько пиков в пределах 0,16–0,19 Гц (нижний рис. 2). Это должно означать, что на поверхности присутствует смешанное волнение. Спектр волнения в низкочастотной области идентичен спектру колебаний воды у дна, однако в высокочастотной области спектра волнения присутствует ложный пик, происхождение которого связано с нелинейностью передаточного коэффициента. Спектральный пик на частоте $\sim 0,01$ Гц в спектре течений указывает на то, что само течение не постоянно и имеет низкочастотную изменчивость, которая при обратном преобразовании трансформируется в небольшой пик в низкочастотной области спектра волнения.

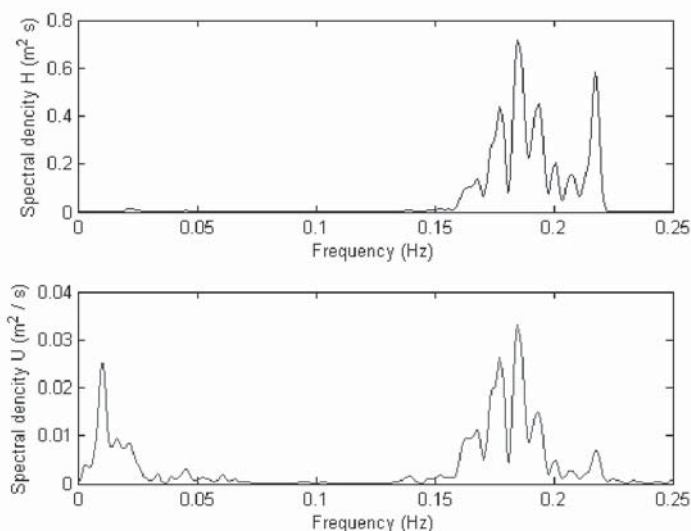


Рис. 2. Спектральные плотности волнения на поверхности моря (верхний рис.) и скорости движения у дна, 17.08.2007, 10^{00}

Расчетная максимальная высота волн достигает 0,5м. Визуально прослеживается групповая структура волн, при этом наблюдается амплитудная модуляция колебаний и цуговый характер волн.

С помощью описанной методики были рассчитаны вертикальные и горизонтальные колебания частиц воды у дна, которые крайне необходимы при решении задач по оценкам придонного переноса взвешенного материала при заилении русел и проходных каналов.

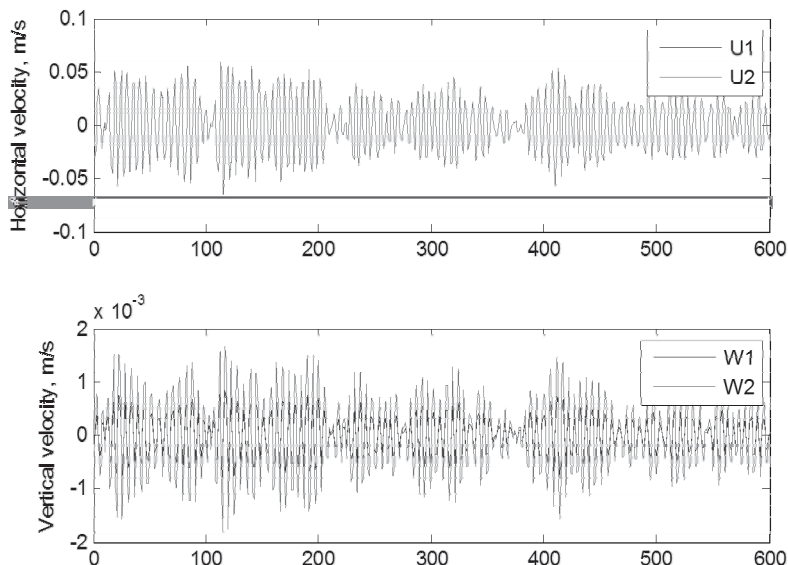


Рис. 3. Амплитуды горизонтальных и вертикальных скоростей воды на расстоянии 10 и 20 см от дна

На рис. 3 представлены амплитуды горизонтальных и вертикальных скоростей воды на расстоянии 10 и 20 см от дна, из которых видно, что непосредственно у дна вертикальные движения воды резко спадают. Так на расстоянии 20 см от дна максимальные размахи скоростей составляют около 3 мм/с, то на 10 см уже около 1 мм/с. При этом максимальные амплитуды горизонтальных скоростей одинаковы и равны около 10 см/с.

Описанная выше методика и новые океанологические технологии позволяют по данным измерения колебательных движений воды у дна моря получать волнение на поверхности и другие характеристики динамики водных масс.

О ВЛИЯНИИ ИСПАРЕНИЯ НА ВОЗМУЩЕНИЕ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ И ТЕЧЕНИЙ В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ СРЕДНЕГО КАСПИЯ

Амбросимов А.К.¹, Панин Г.Н.²

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,*

² *Институт водных проблем РАН,*

In article questions of influence of evaporation and a sea level inclination on violation of termokhalinny structure and currents in cyclonic circulation of the Average of the Caspian Sea are discussed.

Одним из вопросов, который возникает при анализе динамики течений в толще центрального круговорота Среднего Каспия (ЦК), является оценка влияния испарения на образование бароклинности в восточной части моря и как следствие – нарушение устойчивости циклонического круговорота в летний сезон.

В течение последних 10 лет Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН ведет регулярные междисциплинарные исследования системы Каспийского моря. В центральной части Среднего Каспия на северном склоне Дербентской котловины на протяжении 2-х лет на семи горизонтах водной толщи были выполнены непрерывные наблюдения за течением и температурой с помощью измерителей течений «Поток-М», которые устанавливались на притопленных буйковых станциях (ПБС).

Измерения, выполненные на ПБС показали, что в период с июня по середину октября структура ЦК подвержена значительным изменениям. Течения в толще моря замедляются, начинают меандрировать, изменяя направление вплоть до противоположного.

Эти изменения (рис. 1а) возникают из-за различной интенсивности прогрева и испарения в Среднем Каспии, которые приводят к перекосу уровня моря в зональном и южном направлениях. Этому способствует летняя интенсификация апвеллинга в восточной части моря. По данным спутниковых измерений и расчетов, выполненных Г.Н.Паниным, показано, что разность температуры и уровня моря между центральной и восточной частями Среднего Каспия могут достигать 15° и 0,5 м, соответственно. В восточной части моря холодные воды апвеллинга испаряются намного слабее чем воды в центральной части, где температура поверхностного слоя достигает 30°C по сравнению с 15-20°C в восточной. В результате бароклинной неустойчивости происходит опускание

холодных вод у восточного побережья и втекание их в толщу круговорота, что может привести к нарушению его структуры. При этом в восточной части Среднего Каспия образуются струйные течения в южном направлении.

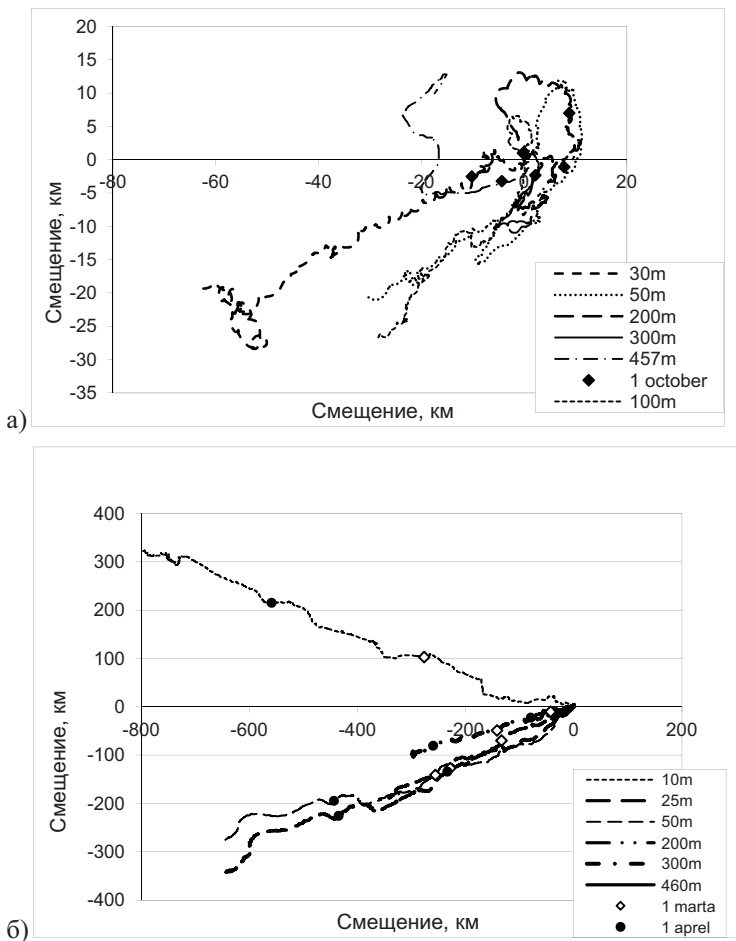


Рис. 1. Прогрессивные векторные диаграммы течений на горизонтах 30, 50, 200, 300 и 457м на ст.467

а) – осень 20.09.-25.10.2004, б) – зима-весна 26.01.-29.04.2005

Распределение течений на вертикальном профиле (рис. 2), снятое в восточной половине Среднего Каспия в зональном направлении от центра моря до залива Кендерли, показывает, что циклонический круговорот Среднего Каспия является более сложным образованием, чем считалось раньше. Так, например, в центре разреза на рис. 2 наблюдается, практически по всей глубине до 100 м, струйное течение южного направления, т.е. течения не направлены на север, как предписывают классические модели.

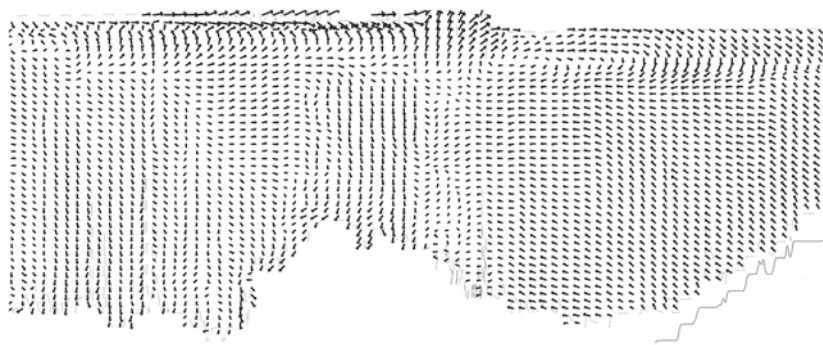


Рис. 2. Разрез от центра моря до залива Кендерли. 39- рейс нис «Рифт». (Файл 120527 0514-30_1323#11-15)

Можно предположить, привлекая том числе данные спутниковых наблюдений, что на уровневую систему Среднего Каспия в теплые сезоны года влияет большое число различных факторов:

- паводковый сток в первую половину лета оказывает большое влияние на уровень Среднего Каспия, при этом уровень моря Северного Каспия намного выше по отношению к Среднему и тем более Южному Каспию;
- различная температура поверхностных вод, а следовательно, и различная интенсивность испарения в различных районах моря, в результате чего возникает бароклинность в зональном и южном направлениях уровня;
- дренаж теплых флюидов из недр моря в водную толщу в центральной части Среднего Каспия;
- заток теплых и осолоненных вод вдоль восточного побережья из Южного Каспия.

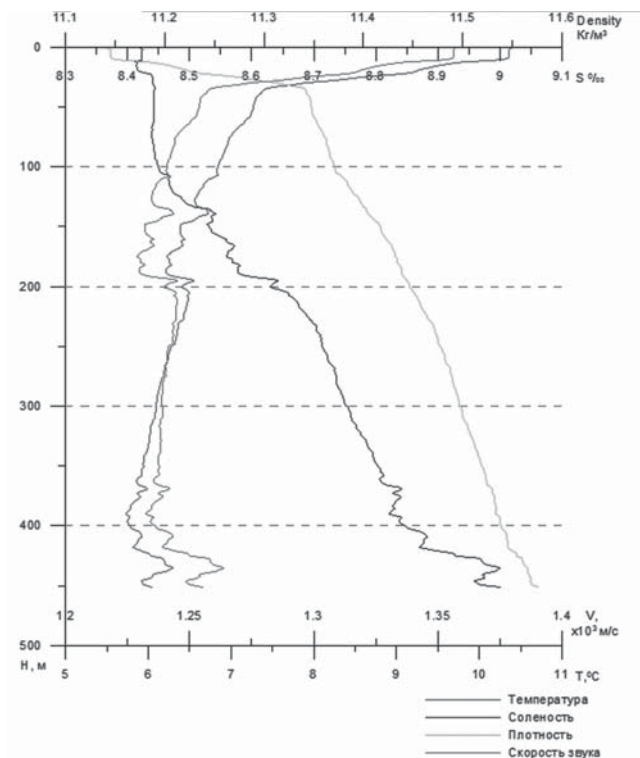


Рис. 3. Аномалии S,T- профилей в толще моря и у дна по данным наблюдений на ст.467 в центральной части Среднего Каспия

На рис.3 представлены аномалии температуры и солёности в промежуточном слое и у дна, при этом аномалии температуры у дна достигает величины 1°C , а в толще моря около $0,5^{\circ}$ Можно предположить, что эти аномалии являются откликом на дренирование газов или флюидов из морских недр. На некоторых записях сейсмоакустического зондирования на ложе дна отчетливо прослеживаются воронкообразные формы, сформировавшиеся в результате флюидных выходов. Возникает вопрос – не имеют ли возмущения в толще моря один и тот же генезис с возмущениями у дна. Можно предположить, что повышение температуры у дна – это выброс теплых вод из недр в придонную область, а аномалии на глубинах 100-200м – это те же воды, поднявшиеся и совершившие оборот в циклоническом круговороте Среднего Каспия.

РАЗВИТИЕ ВРЕМЯИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОДЕ

Греков А.Н.

*Морской гидрофизический институт НАН Украины,
ул. Капитанская, 2, 99001, г. Севастополь,
+38(0692) 54-03-80, glavniy@pisem.net*

Paper presents analysis of the sound speed measuring methods in situ. Block diagram showed of the developed sound speed meter. Timing considered in detail of the sound velocity sensor. Recommendations are given on improving the design of the sensor.

Для измерения скорости звука наиболее распространенным является импульсный метод. Данный метод в свою очередь подразделяется на два: узкополосный и широкополосный импульсные методы. В первом случае в качестве излучаемого сигнала используется амплитудно-модулированный гармонический сигнал. Строго говоря, его частотная характеристика не будет выглядеть как острый пик на фиксированной частоте, а будет иметь боковые лепестки.

При несущей частоте 10 МГц величина t_p для данного метода лежит в пределах от одной до десятков мкс [1]. Данный метод нашел широкое применение в системах измерения скорости звука в исследуемой жидкости путем сравнения со скоростью звука с эталонной [2].

В широкополосных импульсных методах в качестве сигнала используются импульсы длительность менее мкс при несущей частоте 10 МГц. Обычно в таких измерителях определение скорости звука заключается в точном измерении времени Δt , необходимого для прохождения сигналом расстояния Δx . Для широкоимпульсных методов групповая скорость:

$$c_g = \Delta x / \Delta t. \quad (1)$$

Все способы измерения скорости звука, за исключением импульсных, не нашли применения в реально выпускаемых ведущими мировыми производителями приборах *in situ*. Поэтому мы остановились на импульсном методе прямого измерения времени пролета акустического сигнала, т.к. этот способ обладает хорошим быстродействием, удовлетворительной точностью и простотой реализации.

Была реализована классическая схема измерения скорости звука времяимпульсным методом, структурно-функциональная схема которого представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурно-функциональная схема измерителя скорости звука

После выбора соответствующих элементов известных фирм была разработана принципиальная электрическая схема измерителя, разработано программное обеспечение к нему и собран макет прибора, на котором проведены предварительные испытания. В качестве датчика мы использовали разработанный в МГИ двухбазовый акустический преобразователь.

При длине акустической базы 0,071 м и разрешении по времени 90 пс мы получаем разрешение по скорости звука 0,0016 м/с. Полученное значение на порядок выше теоретического предела по точности для измерителей скорости звука [3].

В результате предварительных испытаний точность измерения скорости звука составила 0,02 м/с, а разрешение – 0,0016 м/с. При необходимости разрешение может быть улучшено до значений 0,0008 м/с и 0,0004 м/с (режим удвоенного и учетверенного разрешения времяцифрового преобразователя), но при этом значительно увеличивается время осреднения. Частота опроса датчика 16 Гц. Низкочастотный дрейф сигнала вызван изменением температуры в термостате.

После анализа работы первичного преобразователя было предложено модернизировать датчик скорости звука. Во-первых, исключить первый отражатель, используя границу раздела между исследуемой жидкостью и акустически прозрачным материалом (рис. 2). Рассмотрим подробно работу модифицированного первичного преобразователя. Для такого преобразователя время прихода отраженного от границы раздела акустического сигнала будет равняться:

$$t_1 = \tau_{\text{пер}} + 2\tau_{L1} + \tau_{\text{прием}}, \quad (2)$$

где $\tau_{\text{пер}}$ – задержка преобразования электрического сигнала в акустический, τ_{L1} – время распространения акустического сигнала на базе $L1$, $\tau_{\text{прием}}$ – задержка преобразования акустического сигнала в электрический.

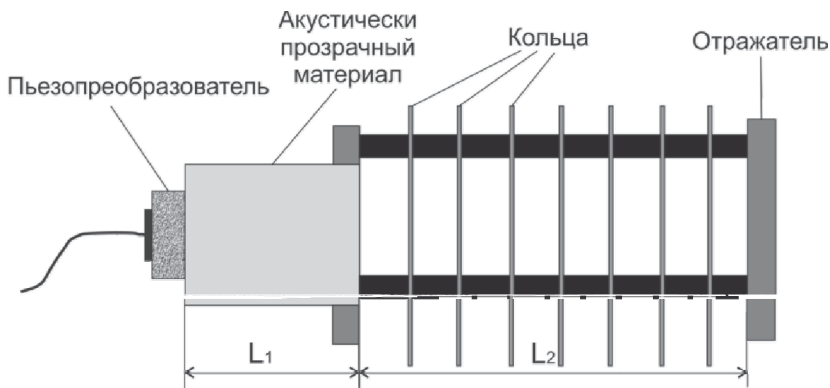


Рис. 2. Общий вид модифицированного первичного преобразователя

Для акустического сигнала прошедшего через измеряемую среду с продольной скоростью потока V :

$$t_2 = \tau_{\text{пер}} + 2\tau_{L1} + \tau_{\text{прием}} + \frac{L2}{c+V} + \frac{L2}{c-V}. \quad (3)$$

Найдем из уравнений 9 и 10 скорость звука:

$$c = \frac{L2 + \sqrt{L2^2 + (t_2 - t_1)^2 V^2}}{t_2 - t_1}. \quad (4)$$

Следовательно, нет необходимости устанавливать первый отражатель, достаточно наличие акустически прозрачной вставки длиной $L1$. Длина вставки $L1$ зависит от величины добротности для конкретного преобразователя.

Из полученного соотношения (4) следует, что точность измерения скорости звука напрямую зависит от наличия продольной скорости по-

тока V . Так, например, скорость океанических течений может достигать 2 м/с, что приводит к ошибке по скорости звука 2,5 мм/с, при свободном падении зондирующих приборов средняя скорость достигает 5 м/с, тогда ошибка по скорости звука – 1,7 см/с. Для исключения этой ошибки предлагается дополнить преобразователь кольцами на длине L_2 , которые будут препятствовать попаданию потока в измерительный канал при зондировании и измерениях при больших скоростях течений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Cedrone N. P. and Curran D. R.** Electronic pulse methods for measuring the velocity of sound in liquids and solids *J. Acoust. Soc. Am.* 26, 963–6 (1954).

2. **Carstensen E. L.** Measurement of dispersion of velocity of sound in liquids *J. Acoust. Soc. Am.* 26, 858–61 (1954).

3. <http://www.valeport.co.uk/Support/ApplicationNotes/SoundVelocitySensor/SVSensorAccuracy.aspx>

УДК 534.6

АКУСТИЧЕСКИЙ ВОЛНОГРАФ ИПВ

Греков А.Н.

*Морской гидрофизический институт НАН Украины
ул. Капитанская, 2, 99001, г. Севастополь
+38(0692) 54-03-80, glavniy@pisem.net*

Paper presents analyze of the acoustic wave recorder work. Block diagram and sources of errors are given, as well as field tests results.

Акустические волнографы предназначены для измерения высоты и периода поверхностных волн. Известны приборы аналогичного назначения различных фирм. Например, автономный измеритель волнения SBE-26, предназначенный для наблюдения за волнением в открытом море. Время наблюдения 1–30 секунд, частота измерения 2 Гц [1]. В качестве измерителя волнения используется датчик гидростатического давления. Диапазон измерения глубины 0–20 м с точностью 0,01%. Аналогичный прибор создан в центральном конструкторском бюро гидрометеорологического приборостроения (волнограф ГМВ), который

измеряет параметры волн с периодом 1–25 с, высотой 0,1–20 м с погрешностью $0,5 \pm 0,002$ м [2]. И прибор WTR 9 с глубиной постановки 0–60 м, при этом диапазон измерения высоты волн 0–20 м с точностью 2 см и диапазон измерения периода волн 0–20 секунд с точностью 0,02 секунды [3].

Этим приборам свойственен недостаток: необходимо использовать гидродинамическую модель, которая учитывает изменение давления жидкости от высоты поверхностных волн в зависимости от глубины расположения измерителя. На глубине, больше половины длины волны, возмущение от поверхностных волн на датчик давления практически отсутствует. И если поместить ниже этого уровня датчик давления, то его показания будут соответствовать среднему давлению и не зависеть от поверхностного волнения и, соответственно, измерить параметры будет невозможно. Поэтому данные модели волнографов корректно работают на глубине от 5 до 20 м. В бую прибрежного мониторинга СМВ 4280 используется датчик высоты волн на базе акселерометра. Однако, долговременная постановка такого буя проблематична.

В основе акустического способа измерения высоты и периода волн лежит принцип отражения акустических волн от границы раздела вода-воздух. Разработанный в ОАОИ МГИ акустический волнограф устанавливается на карданном подвесе на глубине и излучает зондирующий импульс перпендикулярно поверхности моря. При данном методе измерения непосредственно формируется реализация поверхностных возвышений, и период волны может измеряться прямым счетом.

Внешний вид измерителя параметров волн представлен на рис. 1.

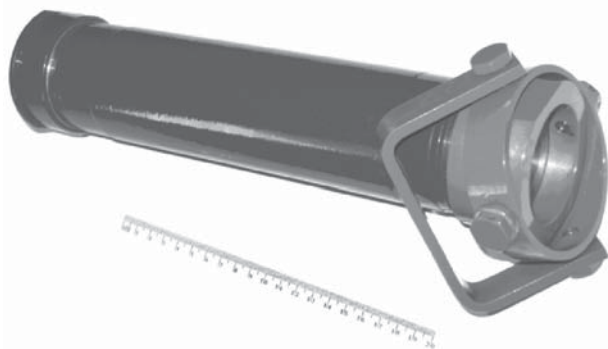


Рис. 1. Внешний вид измерителя параметров волн

Рассмотрим составляющие погрешности волнографа при измерении высоты волны. Поскольку, пьезоизлучатель работает на частоте 1,16 МГц, то длина волны в воде составляет $\sim 0,13$ см, и это для импульсного метода измерения является разрешением по дальности, при этом погрешность от дрожания фронта не превысит 1 см.

Вторая составляющая погрешности обусловлена изменением средней скорости звука на трассе акустического луча. Учитывая, что волнограф планируется установить на шельфе Черного моря, где диапазон изменения скорости 1450÷1511 м, то без корректировки погрешность может достигать $\sim 0,2$ м.

Ширина диаграммы направленности для разработанного волнографа с учетом диаметра и частоты пьезокерамической пластинки составляет $1,53^\circ$ [4]. Поэтому диаметр пятна на поверхности моря при максимальной глубине постановки прибора 50 м не превысит 1,4 м. В работе [5] приведена оценка искажения формы измеряемого спектра возвышений и ошибки измерения средней высоты волны. Отфильтрованная пятном средняя высота волны определяется уравнением $A = 0,05DM$ и в нашем случае составит 0,067 м.

Следовательно, основной вклад в погрешность определения высоты волны вносит составляющая погрешности от изменения скорости звука. Величину этой погрешности можно уменьшить, используя данные о скорости звука для конкретного района постановки прибрежной станции.

Период волн определяется как разность времени между двумя соседними максимумами (или минимумами).

Учитывая, что диаметр пятна может достигать 1,4 м, длина достоверно регистрируемых поверхностных волн, составляет 2,8 м, что соответствует минимальному периоду волны 1 с.

Структурно акустический волнограф можно представить в виде двух крупных блоков: приемника и передатчика, соединенных с устройством управления и обработки данных, и использующих для излучения зондирующего импульса и приема отраженного эхоимпульса один пьезокерамический датчик. Обобщенная структурная схема акустического волнографа представлена на рис. 2.

Прибор ИПВ прошел Государственные приемочные испытания. С помощью прибора получены характеристики поверхностного волнения в районе океанографической платформы (п. Кацивели) [6]. Результаты измерений сданы в базу данных МГИ НАНУ. Для примера на рис. 3 показана временная изменчивость уровня, поверхностного волнения и глубины с 14.08.09 по 26.08.09.



Рис. 2. Обобщенная структурная схема акустического волнографа

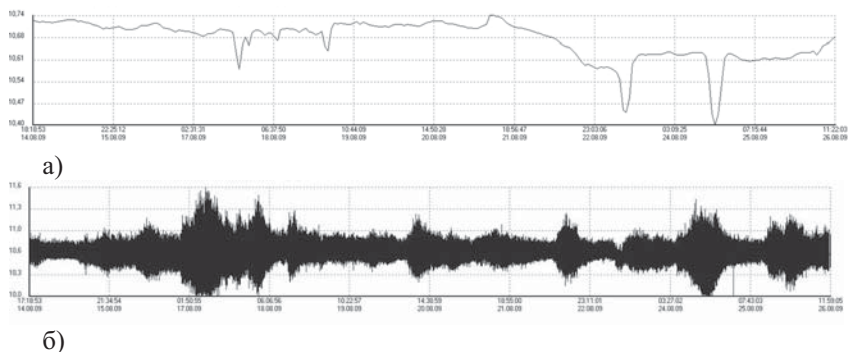


Рис. 3. Временная изменчивость в период с 14.08.09 по 26.08.09: а) глубины (м); б) поверхностного волнения (м)

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.seabird.com>.
2. <http://www.ckb-gmp.ru>.
3. <http://www.infomarcompany.com>.
4. **Смарышев М.Д., Добровольский Ю.Ю.** Гидроакустические антенны. Справочник. — Л.: Судостроение, 1984. — 302 с.
5. **Парицкий А.С.** Фильтрация спектра морского волнения волнографом конечного размера // Неконтактные методы измерения океанографических параметров. – М.: Гидрометеиздат, 1977. С. 105–112.
6. **Гайский П.В., Клименко А.В., Забурдаев В.И., Пеньков М.Н., Греков А.Н.** Предварительные результаты опытной эксплуатации морской прибрежной станции “БРИЗ-1” // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. НАН Украины, МГИ: Севастополь, 2009. С. 27–36.

СПЕЦИФИКА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ОКЕАНЕ

Бабий В.И.

*Морской гидрофизический институт НАН Украины
ул. Капитанская, 2, Севастополь, 99011 Украина
(380692) 534-689, marbab@yandex.ru*

The influence of underwater acoustic noise of the ocean on the *signal / noise* ratio at single-point measurement of the thermodynamic state parameters of the marine environment is considered. Spectral and integral expressions of the *signal / noise* ratios at the output of the meters are given.

В океане одновременно существуют два вида случайных гидротермодинамических полей, которые, согласно принятой терминологии, условно назовем гидрофизическими и гидроакустическими. Оценим вклад во флуктуации параметра X , обусловленный акустическими шумами океана [1, 2]. Полагая, что элемент объема морской среды озвучивается суперпозицией звуковых волн, приходящих с различных направлений, легко выразить спектр временных флуктуаций параметра $X(t)$ через спектр звукового давления $S_p(f)$ акустических шумов океана:

$$S_{xa}(f) = (\partial X / \partial P)^2 S_p(f). \quad (1)$$

В предположении локальной однородности и нормальности распределения вероятностей статистические свойства рассматриваемых процессов (одновременное измерение двух составляющих гидрофизического поля параметра X одноканальным прибором) достаточно полно описывает симметричная квадратная спектральная матрица:

$$\begin{vmatrix} S_{xr}(f) & S_{xar}(f) & S_{xshr}(f) \\ S_{xra}(f) & S_{xa}(f) & S_{xsha}(f) \\ S_{xrh}(f) & S_{xah}(f) & S_{xhh}(f) \end{vmatrix} \quad (2)$$

где $S_{xr}(f)$ – спектр флуктуаций гидрофизических (не акустических) полей [1, 3]; $S_{xa}(f)$ – спектр флуктуаций гидрофизических полей, обусловленных акустическими шумами океана (1), [1, 2]; $S_{xra}(f)$ и $S_{xar}(f)$ – взаимные спектры этих флуктуаций; $S_{xsh}(f)$ – спектр собственных шумов гидрофизического измерителя параметра X [4, 5]; $S_{xshr}(f)$ и $S_{xsha}(f)$ – взаимные спектры флуктуаций гидрофизических полей и шумов измерите-

ля. Из допущения о статистической независимости собственных шумов измерителя от флуктуаций измеряемых полей следует равенство нулю элементов $S_{x_{гш}}(f)$, $S_{x_{шш}}(f)$, $S_{x_{аш}}(f)$, $S_{x_{ша}}(f)$ матрицы (2).

В предположении относительной малости взаимных спектров $S_{x_{аг}}(f)$ и $S_{x_{га}}(f)$ в матрице (2) вследствие некоррелированности составляющих этих полей, запишем результирующий спектр флуктуаций, приведенный к входу одноканального измерителя:

$$S_{x_{и}}(f) = S_{x_{г}}(f) + S_{x_{а}}(f) + S_{x_{ш}}(f). \quad (3)$$

Выражение (3) есть *след* спектральной матрицы (2). Эти спектры перекрываются в рассматриваемой области частот. Поэтому, результатом измерения любого гидрофизического параметра X в океане реальным измерителем всегда является сумма трех составляющих:

$$X_{и}(t) = X_{г}(t) + X_{а}(t) + X_{ш}(t), \quad (4)$$

где $X_{г}(t)$ – флуктуации гидрофизических (не акустических) полей «безмолвного» океана; $X_{а}(t)$ – дополнительные флуктуации гидрофизических полей, обусловленные акустическими шумами; $X_{ш}(t)$ – флуктуации собственных шумов измерителя. Причем «гидрофизическое» слагаемое $X_{г}(t)$ имеет постоянную составляющую (среднее значение параметра $X_{г}$). Слагаемое $X_{ш}(t)$ также имеет постоянную составляющую – систематическую погрешность $\Delta_0(X)$ измерителя. Особенность слагаемого $X_{а}(t)$ состоит в равенстве нулю его среднего значения для малых интенсивностей звука. Однако оно «зашумляет» (рандомизирует) сигнал на входе измерителя. Из выражений (3), (4) следует, что выходной сигнал любого гидрофизического измерителя содержит информацию, как об измеряемых физических полях $X_{г}$ и $X_{а}$, так и о собственных шумах (погрешности) $X_{ш}$ средства измерения. В зависимости от вида и уровней входного сигнала и собственных шумов измерителя в (3), (4) будет преобладать та или иная составляющая, определяя отношение (*сигнал/шум*) на выходе измерителя.

При традиционных гидрофизических одноточечных измерениях в океане, например CTD – зондами, регистрируют результирующие флуктуации $X_{и}(t)$ согласно (4), и при этом получают на выходе измерителя отношение спектров:

$$S_{x_{и}}(f) / S_{x_{ш}}(f) = \{ [S_{x_{г}}(f) + S_{x_{а}}(f)] / S_{x_{ш}}(f) \} + 1, \quad (5)$$

где выражение в квадратных скобках относят к полезному сигналу. Тогда спектральное отношение (*сигнал/шум*) при таких измерениях:

$$F_{хи}(f) = [S_{x_{г}}(f) + S_{x_{а}}(f)] / S_{x_{ш}}(f) = [S_{x_{и}}(f) / S_{x_{ш}}(f)] - 1. \quad (6)$$

Если же выделять из $S_{x_{и}}(f)$ только гидродинамические флуктуации, описываемые $S_{x_{г}}(f)$, то слагаемое $S_{x_{а}}(f)$ надо отнести к шуму. Следовательно, спектральное отношение (*сигнал/шум*) будет:

$$F_{\text{хг}}(f) = S_{\text{хг}}(f) / [S_{\text{ха}}(f) + S_{\text{хш}}(f)] = \{S_{\text{хш}}(f) / [S_{\text{ха}}(f) + S_{\text{хш}}(f)]\} - 1. \quad (7)$$

Аналогично запишем спектральное отношение (*сигнал/шум*) при измерении составляющих гидродинамических флуктуаций среды, обусловленных только акустическими шумами:

$$F_{\text{ха}}(f) = S_{\text{ха}}(f) / [S_{\text{хг}}(f) + S_{\text{хш}}(f)] = \{S_{\text{хш}}(f) / [S_{\text{хг}}(f) + S_{\text{хш}}(f)]\} - 1. \quad (8)$$

Существенное значение имеют спектральные отношения

$$F_{\text{ха}}(f) = S_{\text{хг}}(f) / S_{\text{ха}}(f) \text{ и } F_{\text{хг}}(f) = S_{\text{ха}}(f) / S_{\text{хг}}(f),$$

которые получаем из (7), (8) при $S_{\text{хш}}(f) = 0$ (идеальный измеритель). Они характеризуют соотношение спектральных компонент гидродинамических и «акустических» составляющих флуктуаций гидрофизических полей океана, независимо от средств измерения, что может составить предмет отдельного исследования морской среды.

Располагая спектрами $S_{\text{ха}}(f)$ и интегрируя их в заданной полосе частот, находим дисперсии флуктуаций σ_x^2 и средние квадратические отклонения σ_x флуктуаций гидрофизических параметров X согласно выражению:

$$\sigma_x^2(f_1, f_2) = \int_{f_1}^{f_2} S_x(f) df = (dX / dP_a)^2 \int_{f_1}^{f_2} S_p(f) df. \quad (9)$$

Здесь частота $f_1 \sim 1/T_N$, а частота $f_2 \leq f_0 / 2$, где T_N – продолжительность реализации (выборки), f_0 – частота дискретизации. Обычно, частота f_0 составляет единицы-десятки, а в некоторых случаях и сотни герц, поэтому всегда выполняется условие $f_1 \ll f_2$.

Аналогичным интегрированием спектров $S_{\text{хш}}(f)$ находим дисперсии $\sigma_{\text{хш}}^2$ и средние квадратические отклонения $\sigma_{\text{хш}}$ инструментальных шумов измерителей.

Располагая дисперсиями σ_x^2 и $\sigma_{\text{хш}}^2$ или интегрируя спектральные выражения $F_x(f)$, находим интегральные значения отношений мощности (*сигнал/шум*) $\langle F_x(f) \rangle$ в заданной полосе частот, где символ $\langle \rangle$ означает усреднение. Так например, интегрируя согласно (9) максимальные обобщенные спектры акустических шумов океана, представленные в [2], в интервале частот от $f_1 = 0.01$ Гц до $f_2 = 100$ Гц, получим приближенные оценки порядков дисперсий флуктуаций гидрофизических параметров: температуры T , скорости звука C , электропроводности χ , показателя преломления света n , обусловленные подводными низкочастотными акустическими шумами океана:

$$\sigma_T^2 \leq 10^{-10} \text{ K}^2, \sigma_C^2 \leq 10^{-6} (\text{м/с})^2, \sigma_\chi^2 \leq 10^{-8} (\text{См/м})^2, \sigma_n^2 \leq 10^{-14},$$

и, соответственно, оценки среднеквадратических отклонений (СКО):

$$\sigma_T \leq 10^{-2} \text{ мК}, \sigma_C \leq 10^{-3} \text{ м/с}, \sigma_\chi \leq 10^{-4} \text{ См/м}, \sigma_n \leq 10^{-7}.$$

Несмотря на малость этих значений, они превышают уже реализованную пороговую чувствительность гидрофизических средств измерения. Например, при измерении скорости звука прямым методом гидроакустическими время-пролетными измерителями, случайная погрешность $\sigma_{сш} \leq 2 \cdot 10^{-4}$ м/с [5], и где еще далеко не достигнут потенциальный порог чувствительности, получаем $\langle F_c(f) \rangle \approx 25$. Такого же порядка оценку $\langle F_c(f) \rangle$ имеем и при измерении скорости звука косвенным методом посредством СТД – зондов, где $\sigma_{сш} \leq 3 \cdot 10^{-4}$ м/с [5].

В радиофизике для оценки качества и совершенства приемных устройств, вводится понятие коэффициента шума или шум-фактора (Noise-Factor) NF как числа, показывающего, во сколько раз отношение мощностей сигнала и шума на входе линейного активного или пассивного четырехполосника больше, чем на его выходе в одной и той же полосе частот. Проводя аналогию и используя формулы (7), (8), запишем соответственно спектральные выражения шум-фактора для гидрофизических измерителей. В случае измерения $S_{xг}(f)$ получим

$NF_{xг}(f) = 1 + S_{xш}(f) / S_{xа}(f)$ и соответственно при измерении $S_{xа}(f)$ получим $NF_{xа}(f) = 1 + S_{xш}(f) / S_{xг}(f)$. Здесь определяющим является собственный шум измерителя $S_{xш}(f)$. Например, для измерителя скорости звука [5] при $\sigma_{сш} \leq 2 \cdot 10^{-4}$ м/с и $\sigma_c^2 \leq 10^{-6} (\text{м/с})^2$ в диапазоне частот от $f_1 = 0.01$ Гц до $f_2 = 100$ Гц, имеем $\langle NF_{сг} \rangle = 1 + \sigma_{сш}^2 / \sigma_c^2 \approx 1.04$. Это хороший показатель, поскольку для идеальных измерителей всегда выполняются равенства: $\langle NF_{xг} \rangle = 1$ и $\langle NF_{xа} \rangle = 1$.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бабий В.И.** Мелкомасштабная структура поля скорости звука в океане. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 200 с.
2. **Бабий В.И., Родионов А.А.** Минимальные уровни флуктуаций гидрофизических полей океана // Труды XI Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб.: Наука, 2012. – С. 443 – 446.
3. **Монин А.С., Озмидов Р.В.** Океанская турбулентность. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 320 с.
4. **Бабий В.И.** Спектральная модель основной погрешности гидрофизических измерителей // Международная научно-техническая конференция. «Современные методы и средства океанологических исследований МСОИ – 2000». – М., 2000. Ч.1. – С.128 – 135.
5. **Бабий В.И.** Проблемы и перспективы измерения скорости звука в океане. Серия *Современные проблемы океанологии*. Выпуск № 7. Морской гидрофизический институт НАН Украины. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ – Гидрофизика», 2009. – 142 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДООБМЕНА, ВЫЗЫВАЕМОГО
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ПРИБРЕЖНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ В
БАССЕЙНЕ С НАКЛОННЫМ ДНОМ: ЛАБОРАТОРНОЕ И
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Степанова Н.Б.

*Российская Академия Наук Институт Океанологии им. П.П. Шишова,
Нахимовский проспект, д.36, 117997, Москва
тел: (499) 1245996 факс: (499) 1245983*

By Methods of laboratory and numerical modeling, the process of forming and characteristics of differential costal cooling over sloping floor being observed in coastal zone of seas and large lakes in autumn is researched and corresponding water exchange is estimated.

Методами лабораторного и численного моделирования исследуется процесс формирования и характеристики картины дифференциального прибрежного выхолаживания над наклонным дном, наблюдаемого в осенний период в прибрежной зоне морей и крупных озёр, и оценивается величина соответствующего водообмена.

В осенний период интегральный теплоток направлен из воды в атмосферу. При температуре воды выше, чем температура максимальной плотности, это приводит к отрицательному потоку плавучести через поверхность в воду и возникновению вертикальной конвекции. Температура воды понижается, причём в мелкой части быстрее, чем в глубокой, так что при вертикальной изотермии формируются значительные горизонтальные градиенты температуры воды над наклонным дном. Соответствующие градиенты плотности и давления вызывают обменные течения между мелкой и глубокой частями бассейна. [1] Бóльшая часть публикаций по этому вопросу рассматривает квазистационарные условия [2], [3], [4], в то время как в реальных водоёмах мы скорее имеем дело с процессом приспособления очень инертных горизонтальных конвективных течений к постоянно меняющимся внешним условиям; соответственно, полученные для квазистационарного случая количественные зависимости между теплотокотом через поверхность и расходом обменных течений могут быть применимы не всегда. Индикатором применимости квазистационарных решений могут быть определённые

характеристики профиля температуры поверхности воды над наклонным дном прибрежного подводного склона. Целью работы является изучение процесса установления профиля температуры воды на поверхности от берега в глубокую часть, а также сопоставление характеристик этого профиля с наблюдаемым расходом обменных течений.

Проведена серия лабораторных экспериментов в прямоугольном плексигласовом лотке с внутренними размерами 33 см × 33 см × 750 см с наклонным участком дна ($A \sim 0.03$) длиной 5 м и теплоизолированными стенками. Выхолаживание обеспечивалось теплообменом через поверхность с более холодным воздухом лаборатории; начальная температура воды составляла 25–31°C, воздуха – 19–25°C. В экспериментах изменялись глубина слоя воды (10, 12, 13, 16, 20, 22.5, 24, 24.5, 27 см) и начальная разность температур вода-воздух ($\Delta T \sim 4, 5, 6, 8, 9, 11$ °C). Регистрация временных рядов (с шагом по времени 30 сек) температуры воды в 8 точках поверхности в области над склоном и вертикальные зондирования в этих точках обеспечивалась электронной системой датчиков (терморезисторы). Расход обменных течений вычислялся по видео- и фотоизображениям деформации треков трассеров (перманганат калия) за соответствующие интервалы времени. Общая длительность экспериментов составляла 1–2 часа, из которых процесс установления профиля температуры в области над склоном занимал 20–30 мин. Критерием выхода на квазистационарный обмен принималось равенство скоростей падения температуры воды в мелкой и глубокой части.

Оказалось, что в квазистационарном режиме формы отдельных участков профиля температуры поверхности воды полностью подобны форме полного профиля, в то время как в процессе установления этот профиль имеет изломы, области повышенного градиента температуры воды и участки её линейного роста с удалением от берега. Это позволяет, например, по информации о поле SST в прибрежной зоне в период осеннего выхолаживания с определённой долей уверенности говорить о стационарности / нестационарности режима горизонтального обмена между открытой и прибрежной зоной.

Результаты численного моделирования на модели MIKE3-FlowModel (www.dhi.dk) как лабораторного эксперимента, так и процесса осеннего выхолаживания в бассейне с размерами и профилем глубин, воспроизводящим характеристики прибрежной зоны Гданьского залива Балтийского моря (Юго-Восточная Балтика) хорошо согласуются с результатами лабораторных экспериментов.

Исследования проводятся совместно с АО ИО РАН при поддержке РФФИ, грант № 13-05-01041а.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чубаренко И.П.** Горизонтальная конвекция над подводными склонами.— // Калининград, Терра Балтика. —2010.— 256 с. ISBN-978-5-98777-050-4.
2. **Horsch, G. M., Stefan, H. G.** 1988. Convective circulation in littoral water due to surface cooling. *Limnol Oceanogr.* 33(5), 1068–1083.
3. **Monismith, S., J.Imberger, M.Morison.** 1990. Convective motions in the sidearm of a small reservoir. *LimnolOceanogr.*, 35(8). Pp. 1676-1702.
4. **Sturman, J. J., Oldham, C. E. & Ivey, G. N.** 1999. Steady convective exchange flow down slopes. *Aquat. Sci.* 61, 260–278.

УДК 634.67

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ПИНГЕРНОГО КОНТРОЛЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ПРИБОРОВ – ТЕСТИРОВАНИЕ В ОКЕАНЕ

Демидова Т.А., Носов А.В., Тихонова Н.Ф.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)129-19-45,
tad-ocean@mail.ru*

A new complex of on-line pinger control of the height of deep-water research devices above the bottom, developed in Laboratory of acoustics, IORAN, was tested and used in four marine expeditions. The complex includes a new model of pinger and a digital registration system. Among essential advantages of the digital system in comparison with onboard analog registration are reliability of the control in conditions of low signal/noise ratio typical for work at big depths with big angles of the cable and increased resolution in the height determination.

Актуальность контроля положения приборов относительно дна при проведении океанографических работ не ослабевает, однако штатное оборудование регистрации сигналов пингера на судах ИОРАН морально устарело и не отвечает целям повышения их надежности и эффективности. Откликом на эту необходимость явились новая *цифровая регистрирующая система и модель пингера нового поколения*, разработанные в инициативном порядке в *Лаборатории акустики* ИОРАН. Они созданы на современной элементной базе с использованием новых конструктив-

ных подходов специально для акустического контроля расстояния до дна различных глубоководных устройств, применяемых в океанографии. Первые результаты тестирования приборов в океане были представлены в [1]. К настоящему времени их всестороннее тестирование выполнено в рабочем режиме в четырех экспедициях 2010-2012 годов на судах ИОРАН в процессе гидрологических и геологических исследований в глубоководных акваториях Атлантического океана.

В докладе рассматриваются основные пользовательские характеристики комплекса пингера и цифровой регистрации Лаборатории акустики и обобщаются все накопленные результаты опробования. Основой тестирования явилась параллельная цифровая и аналоговая регистрация акустических сигналов на более чем 50 станциях от поверхности до дна на глубине 4-5 км с использованием в качестве излучателей как рассматриваемых пингеров *Лаборатории акустики*, так и стандартных пингеров фирмы *Бентос*. При тестировании пингеры сопровождали CTD-зонды с доплеровскими измерителями течений, геологические трубки и драги. Одновременно с тестированием отработывалась оптимальная технология совместной работы новой системы регистрации с судовой приемной системой.

Особенностью конструкции пингера Лаборатории акустики является вынос излучателя наружу в качестве самостоятельного модуля, соединенного с блоком электроники гибким электрическим шлангом. Вес излучателя 2 кг. Вес стального корпуса электроники 7,5 кг, титанового – 5 кг. Длина корпуса 320 мм и внешний диаметр 85 мм. Рабочие глубины – до 6000 м. Обеспечивается надежное излучение стабилизированных импульсов 0,5, 1 и 2 мс частотой 12 кГц. При глубинах до 5 км и температуре у дна до 1-2°C питания пингера с 2 мс посылками достаточно для выполнения работ на 4-5 станциях. Небольшие размеры и вес прибора облегчают выполнение бортовых операций по его креплению к тросу и обслуживанию на борту. Конструктивные подходы, новая элементная база, глубоководная специализация позволили не только упростить и облегчить прибор, уменьшить габариты, но и значительно снизить затраты на него. При этом, как показали рабочие испытания, эффективность прибора по основному показателю *отношения сигнал/шум* при регистрации сигналов по сравнению с пингером Бентос только возросла.

Вторым (после пингера) важным элементом вновь разработанного комплекса является система цифровой компьютерной регистрации сигналов пингера. Система включает электронный приемный блок с АЦП и синхронизацией, программное обеспечение, высокоточный калибровочный гидрофон и любой современный компьютер с монитором. Исполь-

зуемые нами электронные блоки сконструированы на базе контроллера Мега-128 с 8 МГц кварцем. Программа нижнего уровня для контроллера позволяет оцифровывать сигнал в нужном временном интервале с точным интервалом следования периодов оцифровки 2 с.

Аналоговый сигнал пингера с судового трансдюсера, после соответствующего усиления, поступает в электронный блок, преобразуется в нем и направляется в компьютер. Интерфейсная программа обеспечивает визуализацию сигналов на мониторе в реальном масштабе времени и их запись в память компьютера с возможностью последующего вывода. Оперативный контроль положения пингера в водной толще выполняется на мониторе путем сравнения положения прямого и отраженного сигналов. Широкий диапазон усиления позволяет оператору, с одной стороны, успешно выделять очень слабые сигналы на фоне помех, а с другой – подавлять «ложные» отражения, следя за основным отражением от дна. Масштабная сетка и масштабный ползунок – скользящая шкала – обеспечивает оперативное измерение высоты пингера над дном с точностью до 1-2 м. Для разных длин импульса предусмотрены соответствующие моды развертки записи. Синхронизация системы регистрации и времени посылок конкретного пингера осуществляется на борту программным образом с помощью калибровочного гидрофона, без необходимости калибровки в воде. Калибровка на борту является неоспоримым (и неоценимым) преимуществом комплекса. Возможности системы *цифровой регистрации* и, в частности, функции калибровки, оптимизированы для работы с пингером *Лаборатории акустики*, однако с ней можно калибровать и регистрировать сигналы любого излучателя со стабилизированными скоростями посылки и излучения 12 кГц. В свою очередь, *новый пингер* может работать с *любым* синхронизируемым регистратором 12-кГц-сигналов, включая судовые комплексы и системы с выносными гидрофонами.

В процессе работ во всех случаях без исключения цифровая система регистрации обеспечивала повышенное видимое соотношение сигнал/шум по сравнению с судовым регистратором *LAZ-4700*. Это связано, в первую очередь, с возможностью широкого варьирования усиления и его тонкой подстройки при цифровой регистрации, а также с отсутствием на *мониторе компьютера* специфических "графических" шумов от токосъемной иглы на *электрохимической бумаге*. Относительное повышение соотношения сигнал/шум критично при сильных шумах двигателей и прослеживании слабых сигналов в работах на больших глубинах и удалениях от судна и с большим наклоном троса) (рис. 1). В частности, благодаря повышенному отношению сигнал/шум

значительно реже возникает необходимость отключения двигателей при подходе прибора ко дну, что существенно повышает точность координатной привязки глубоководных работ у дна, особенно сложной при драгировании и тралении. Цифровая регистрация сигналов нового пингера *Лаборатории акустики* обеспечивает в несколько раз более высокое разрешение при оценке расстояния до дна по сравнению с судовой записью. При этом принципиально более четкая и чистая запись на мониторе, чем на электрохимической бумаге, облегчает оператору правильную оперативную оценку расстояний до дна и оперативное принятие решений об остановках, поднятии или продолжении погружения.

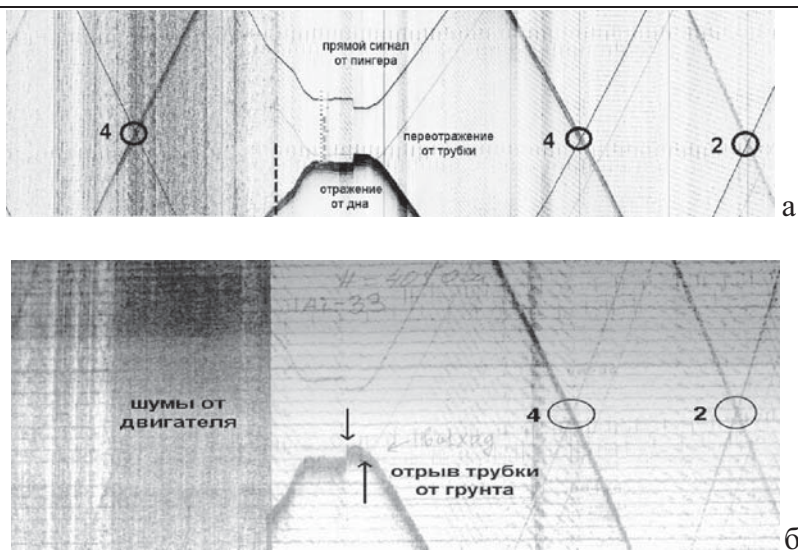


Рис. 1. Компьютерная (а) и бортовая (б) регистрация сигналов пингера, сопровождающего трубку. Глубина станции 4050 м. Помехи от двигателей – слева – полностью маскирует все сигналы бортовой записи

Основные преимущества опробованного цифрового комплекса оперативного контроля по сравнению со стандартной бортовой регистрацией, связаны с надежностью контроля в условиях низкого отношения сигнал/шум, характерного для работ на больших глубинах и при значительных углах отклонения троса от вертикали, и с повышением оперативности и точности определения высоты прибора над дном. Комплекс применим для контроля практически любых океанографических прибо-

ров, включая зонды СТД, трубки, пробоотборники, драги, тралы, фото- и видеокамеры и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидова Т.А., Сколотнев С.Г., Тихонова Н.Ф. Тестирование цифровой системы пингерного контроля глубоководных приборов относительно дна // Электронный научный журнал «Исследовано в России», сдано 24.05.2012, рег. номер 12031.

УДК 634.67

РАЗВИТИЕ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПИНГЕРОВ

Носов А.В., Демидова Т.А., Тихонова Н.Ф., Юрицын В.В.

Институт океанологии им П.П. Ширинова РАН

Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва

8(499)1248704, a_v_nos@mail.ru

Practical experience in the use of pingers service, developed at the Laboratory of Ocean Acoustics Institute of Oceanology, has shown its usefulness and effectiveness. In the materials for further development and improvement of the system.

Пингеры получили широкое распространение в практике океанологических работ во всем мире. На судах Института океанологии РАН и на ряде судов других организаций, построенных в советское время, размещено специальное оборудование для контроля сигналов пингеров, в основном фирмы ЭЛАК, которое демонстрирует высокую надежность и работоспособность вплоть до настоящего времени, однако в значительной мере морально устарело. Основным недостатком старого оборудования для наблюдения за пингерами является отображение графической информации на электрохимической бумаге, которое производится с малым диапазоном градаций серого. В Лаборатории акустики океана в инициативном порядке была предпринята попытка создания аппаратуры, позволяющей контролировать информацию пингеров с помощью современных компьютеров с высокой контрастностью и широким спектром сервисных возможностей.

Результаты испытаний этой аппаратуры, проведенных в ряде рейсов на судах института океанологии [1, 2], подтвердили ее работоспособность и эффективность. На основании этих испытаний аппаратура была усовершенствована в части функциональных возможностей и программного обеспечения. Данная статья посвящена описанию последних достижений Лаборатории акустики океана в области развития оборудования для работы с пингерами.

Для слежения за дистанцией между погружаемым в воду прибором и дном нужны три устройства, не считая компьютера. Это собственно пингер, прикрепляемый к погружаемому прибору, устройство синхронизации и оцифровки, а также акустическая приемная антенна. На рис. 1 представлен пример пингера – в данном случае разработки Лаборатории акустики [1]. На рис. 2 можно видеть новейшую версию устройства синхронизации и оцифровки Лаборатории акустики океана. От прежних версий внешне она отличается наличием дисплея и клавиатуры, предназначенных для установки ранее недоступных режимов работы и параметров приема.

Главным внутренним отличием нового устройства является то, что оно использует более мощный контроллер типа STM32. Другим новшеством является дополнение устройства управляемым приемным усилителем с диапазоном переключаемых коэффициентов усиления от 0 до 50 дБ. Высокая производительность нового контроллера позволила производить узкополосную фильтрацию принимаемых сигналов в цифровой форме в реальном времени. Оцифровка сигнала производится на частоте до 480 кГц, с последующим выделением квадратурных компонент сигнала и вывод в компьютер их сглаженных величин с заданной скоростью. Оцифровка сигнала, его узкополосная фильтрация и вывод данных в компьютер осуществляются одновременно. Тем самым, период обновления информации в компьютере составляет не 2 секунды, как раньше, а 1 сек., т. е. отображается каждый излученный пингером импульс.

Компьютерная программа помимо ранее доступных страниц – страницы главного поля с полутоновым отображением регистрируемых сигналов и страницы «осциллографа», настройки синхронизации управления записью и воспроизведением, имеет новую – страницу с замедленной разверткой по времени. То есть отображаются те же данные, что и на главной, но с управляемым замедлением. По умолчанию скорость развертки на этой странице в 10 раз медленнее, чем на основной. Это облегчает оператору задачу слежения за пересечениями нисходящего следа прямого сигнала пингера и восходящего следа отраженного дном сигнала.

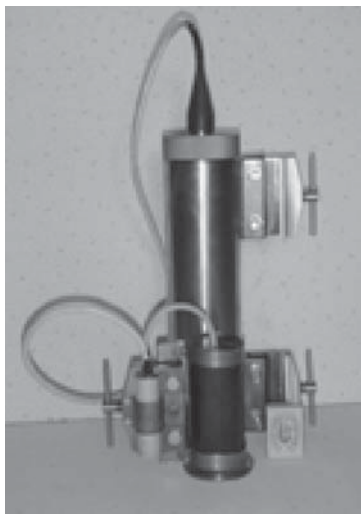


Рис. 1. Пингер Лаборатории акустики в сборе



Рис. 2. Новейшая версия устройства синхронизации и оцифровки Лаборатории акустики океана

Для проверки возможностей нового оборудования были проведены его испытания на воздухе. В качестве приемной антенны использовался столбчатый армированный пьезокерамический преобразователь, идентичный излучателю пингера, подсоединенный к устройству синхронизации 12-метровым коаксиальным кабелем без промежуточных электронных фильтров и усилителей (рис. 3).

Результат представлен на рис. 4. В ходе испытаний первоначально была произведена настройка синхронизации пингера и приемного устройства. Затем оба они были вынесены в коридор. Далее пингер был удален на 25 м от приемника, а затем возвращен обратно. Видно, что отображение сигналов производилось уверенно во всем диапазоне дальностей. Регистрация производилась в режиме максимального разрешения по дальности, то есть вертикальный размер поля соответствовал 250 мс.

Расположенная возле правой кромки поля линейка предназначена для оценки расстояния от пингера до дна, то есть, рассчитана на двукратное прохождение звука, от пингера до дна и обратно. Оценка дистанции по линейке близка к дистанции, измеренной в коридоре рулеткой.



Рис. 3. Акустическая приемная антенна

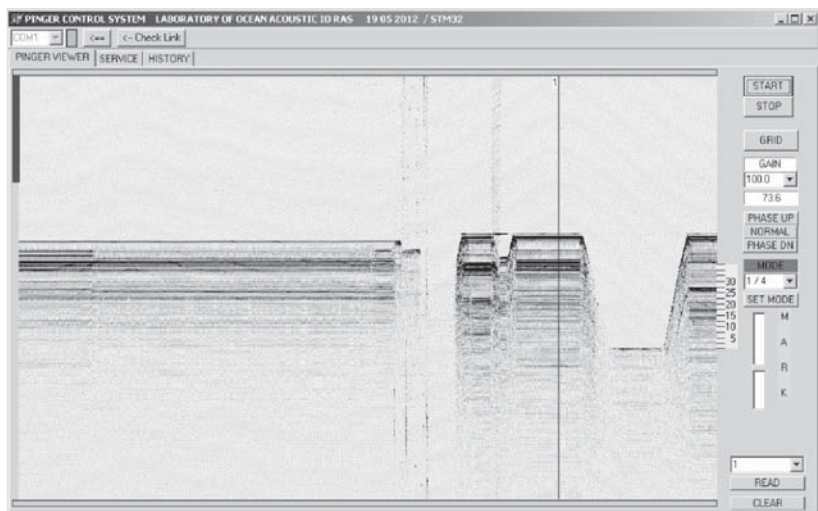


Рис. 4. Результат испытания устройства синхронизации

Испытания нового блока синхронизации показали, что чувствительность использовавшейся акустической антенны и уровень собственных шумов приемного устройства позволяют предположить, что они могут

обеспечить уверенную работу с пингером на глубинах до 6 км. Следует принять во внимание, что испытания в коридоре, являющемся абсолютным волноводом для воздуха, не вполне корректны, однако аппаратура имеет резерв увеличения мощности, поскольку пингер излучал посылки длительностью 0.5 мс вместо традиционных 2 мс, а блок синхронизации позволял усилить сигнал (без увеличения собственных шумов) еще на 30 дБ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Демидова Т.А. , Сколотнев С.Г., Тихонова Н.Ф., Тестирование цифровой системы пингерного контроля глубоководных приборов относительно дна // Электронный научный журнал «Исследовано в России», сдано 24.05.2012, регистр. номер 12031.

2. Демидова Т.А. , Носов А.М., Тихонова Н.Ф. Цифровая система пингерного контроля глубоководных приборов // Доклады МСОИ-2013 «Современные методы и средства океанологических исследований».

УДК 551.465.0625.5

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНОМАЛЬНО ТЕПЛОЙ ЗИМЫ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Прокопов О.И.

*Южное отделение Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН
prokopovoleg@yandex.ru*

For the first time the analysis of seasonal variability of wind and thermal atmospheric conditions for the anomalous warm winter the 1965/66. The possibility of assessing the severity of winter conditions on the complex characteristics of the early decades of the winter season, any of the annual cycle.

Северо-восточная часть Черного моря выделяется интенсивностью штормовой деятельности зимой [1]. Границы зимних сезонов целесообразно выделять по минимальным, для данного годового цикла, значениям параметра $\langle T_a \rangle$, средней за сезон температуры воздуха [2]. Эти зна-

чения рассматривались как результат совместного воздействия температуры T_a воздушных потоков с учетом скорости переноса воздушных масс V и направления ветра A^V .

Максимальные значения этого показателя позволяют выделить аномально теплые зимы (АТЗ), как относительно благоприятные периоды для работ в море [1, 2]. Сочетание показателей T_a , V и A^V отличается определенной спецификой. Выявление особенностей этой специфики представляют повышенный практический интерес.

Значения T_w , температуры поверхности моря, использовались для выявления ее отклика на воздействие воздушных потоков. Ветровые и термические атмосферные условия объединялись аббревиатурой ВТАУ.

Анализ практически не исследованных свойств штилевых пауз рассматривался как необходимое дополнение к анализу внутри сезонной изменчивости ВТАУ. В пределах штилевых периодов A^V теряет физический смысл, $V \approx 0$, а условия теплообмена поверхности моря и атмосферы носят специфический характер.

Ранжированный ряд значений $\langle T_a \rangle$ для многолетних (1935–2010 гг.) наблюдений температуры воздуха завершался аномально теплой зимой 1965/66 гг. Специфика сочетания параметров A^V , V , T_a и T_w определяла наступление АТЗ, а их статистические оценки позволяли выявить наиболее общие свойства таких сезонов. Внутри сезонная изменчивость ВТАУ исследовалась при аналоговом и дискретном, в рамках импульсной модели [3], подходах.

Ветровой режим исследовался по последовательности, без наложения и пропусков сменяющих друг друга элементарных эпизодов, включающих данные срочных, четыре раза в сутки наблюдений на гидрометеорологической станции г. Геленджика. Значения A^V , V , T_a и T_w в этой локальной точке постоянно менялись из-за зарождения, трансформации и вырождения системы циклонов и антициклонов в районе Черного моря.

параметры, размерность	статистические характеристики						
	m	Σ	$X_{\min}$	$X_{\max}$	$\langle X \rangle$	SD	K_V , %
A^V , °	351	56896	22.5	360	162	84.1	52
V , м/с	368	1314	0	24	3.57	3.97	111
T_a , °C	368	3118	-10.2	17.2	8.47	4.44	52
T_w , °C	368	3411	-5.65	12.5	9.27	1.22	13

Для каждой выборки параметров рассчитывались алгебраические суммы (Σ), средние ($\langle X \rangle$), минимальные ($X_{\min}$) и максимальные ($X_{\max}$)

значения, величина стандартного отклонения (SD) и коэффициента вариации $K_v = SD / \langle X \rangle$. Количество элементов в массивах вводилось показателем m (табл.). Их массивы представляют собой хронологическую последовательность элементов. Для A^V этот ряд разрывался при возникновении штилевых пауз.

Из-за включения в АТЗ штилевых пауз был зафиксирован уменьшенный объем показателя A^V . Аномально высокие объемы Σ и параметра K_v здесь объясняются повышенными значениями ее элементов ($\langle X \rangle$), значения SD – их разбросом ($X_{\min}$ и $X_{\max}$). Максимальные значения K_v зафиксированы для скорости ветра – следствие степени разброса этих величин и малой средней величины. Минимальные – для наиболее консервативного показателя T_w . Менее консервативный параметр T_a отражает большую изменчивость температуры воздушных потоков, коррелирующую, как и ожидалось, с вариациями азимута ветра. Средние значения T_a и T_w подтверждают доминирование АТЗ стока тепла с поверхности моря.

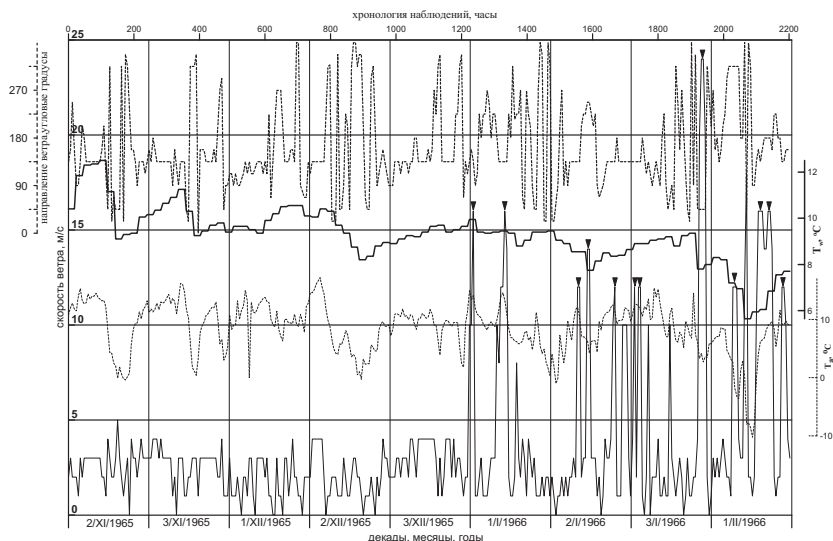


Рис. Внутри сезонная изменчивость параметров A^V , V , T_a и T_w для аномально теплой зимы 1965/66 гг. Треугольниками отмечены максимумы скорости ветра, превышающие 10 м/с.

Вариации основных характеристик ВТАУ представлены также в аналоговом виде на рисунке. Декады шкалы нижней оси абсцисс рисун-

ка идентифицировались тройными цифровыми индексами: арабскими цифрами – номер декады в месяце/ римскими – номер месяца в годовом цикле/ годовой цикл – в стандартном виде. Шкала верхней оси позволяла соотносить значения параметров со временем

наблюдений. Треугольниками обозначены пики скорости ветра, превышающие второй пороговый уровень в 10 м/с.

Для анализа ветровых условий использовалась модель случайного импульсного процесса в виде последовательности чередующихся штормовых эпизодов и окон погоды [1, 3]. В пределах первых скорость ветра превышала некоторый фиксированный уровень

V^* ($V > V^*$). Вторые ($V \leq V^*$) вводились как временные интервалы между штормовыми периодами. Для Черного моря характерными пороговыми значениями V^* считались скорости ветра в 5, 10, 15, 20 и 25 м/с [1].

Штормовые эпизоды и окна погоды определялись по участкам кривой $V = V(t)$, расположенным ниже (выше) порогового уровня V^* . Их границы выделялись последовательными точками пересечения $V(t)$ данного порогового уровня при встречных направлениях. Длительность – расстоянием между этими точками. Рост значений V^* приводил к уменьшению количества основных компонент (рис.).

Таким образом:

- аномально теплые зимы отличаются доминированием (32%) ветров юго-восточных направлений, их пониженной скоростью в начале сезона и повышенной – в конце.

- в рамках дискретного подхода с увеличением значений пороговой скорости следует ожидать уменьшения количества основных компонент в границах сезона и роста (уменьшения)

- локальной и суммарной длительности окон погоды (штормовых периодов). Следствием роста значений пороговой скорости является увеличение количества и суммарной длительности штилевых пауз в окнах погоды;

- возникновение штилевых пауз объясняется выравниванием горизонтального перепада давления по всем направлениям. Эти периоды должны рассматриваться как основной признак окон погоды и периоды со специфическими условиями теплообмена поверхности моря с атмосферой;

- признаками аномально теплой зимы следует считать слабые ветра в начале сезона, пониженное количество, малая длительность и неравномерность распределения штилевых пауз по сезону.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей (2-ой район Черного моря). С.-Петербург, 2006. Российский морской регистр судоходства. С. 233 – 262.
2. **Прокопов О.И.** Межгодовая изменчивость термических атмосферных условий в северо-восточной части Черного моря (1935 – 2007 гг.)// Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2009. Т. 45. № 5. С. 652 – 663.
3. **Рожков В.А.** Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами// СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. Т. 1. 340 с.

ИЗМЕРИТЕЛЬ УРОВНЯ МОРЯ ИУМ-1

**Греков А.Н., Греков Н.А., Клименко А.В.,
Пеньков М.Н., Буланов И.А.**

*Морской гидрофизический институт НАН Украины
ул. Капитанская 2, 99011, г. Севастополь
(0692) 54-03-80, glavniy@pisem.net*

The thesis is seen hydrostatic automated meter sea level, set up in the MHI NANU. It contains channels measuring pressure, temperature and relative conductivity. Shows the block diagram and functional unit, its visual appearance and performance.

Для замены поплавковых самописцев уровня моря установленных в лодках на береговых постах по побережью Черного моря, на современные автоматические измерители с регистрацией и передачей по каналам связи цифровых данных. В Морском гидрофизическом институте НАНУ был разработан и создан прибор ИУМ-1. Он предназначен для измерения уровня моря Н в диапазоне 0 – 2 м с погрешностью $\pm 0,4$ (или $\pm 0,2$) %.

Известные гидростатические измерители уровня моря не позволяли удовлетворить требованиям по точности измерения Н 0,2 % из-за влияния изменчивости атмосферного давления и изменения плотности воды в прибрежной полосе при изменении температуры и опреснении за счёт дождевых стоков. Целью разработки было исключение этих недостатков. В приборе используется принцип определения уровня моря по из-

мерению разности гидростатического давления на фиксированном горизонте под поверхностью и давления атмосферы, измерению удельной электропроводимости и температуры воды и рассчитанному значению плотности из регионального уравнения состояния воды.

Внешний вид созданного прибора показан на рис.1. Прибор содержит погружаемый в воду цилиндрический контейнер с размещёнными внизу датчиками, электроникой, соединительной жесткой трубкой длиной 2 м и гибким шлангом (длиной по месту) с блоком управления и индикации, помещённым в цилиндрический герметичный контейнер, защищённый от свободного доступа и вандализма.



Рис. 1. Внешний вид СТД-измерителя уровня моря ИУМ-1

В состав электроники погружного блока входят каналы измерения разности гидростатического и атмосферного давлений, электропроводимости и температуры, микроконтроллер ADuC812 BS с дополнительной флэш памятью данных.

В состав блока управления и индикации входят таймер на контроллере PIC 16F877, индикатор на четыре знакоместа, пульт из четырёх кнопок, узел питания, модем связи.

Электроника погружного блока питается напряжениями +10 В и –10 В от узла питания. Для питания цифровой электроники формируется напряжение –5 В, для питания аналоговой электроники используется напряжение +9 и –9 В. Узел питания содержит устройство подзарядки аккумулятора от сети ~ 220 В 50 Гц и аккумулятор.

С пульта управления также задаётся требуемый интервал опроса каналов и вызывается просмотр текущих измеренных параметров на индикаторе в произвольный момент времени в течение примерно 15 с.

В автономном режиме работы энергопитание осуществляется от стандартного аккумулятора напряжением 12 В. При емкости в 12 ампер-часов его хватает на 50000 циклов опроса.

Возможно питание от сети переменного тока ~220 В 50 Гц. Передача данных внешним потребителям осуществляется через модем связи со скоростью 1200 бод на расстояние до 1 км.

Структурно-функциональная блок-схема прибора ИУМ-1 показана на рис. 2.

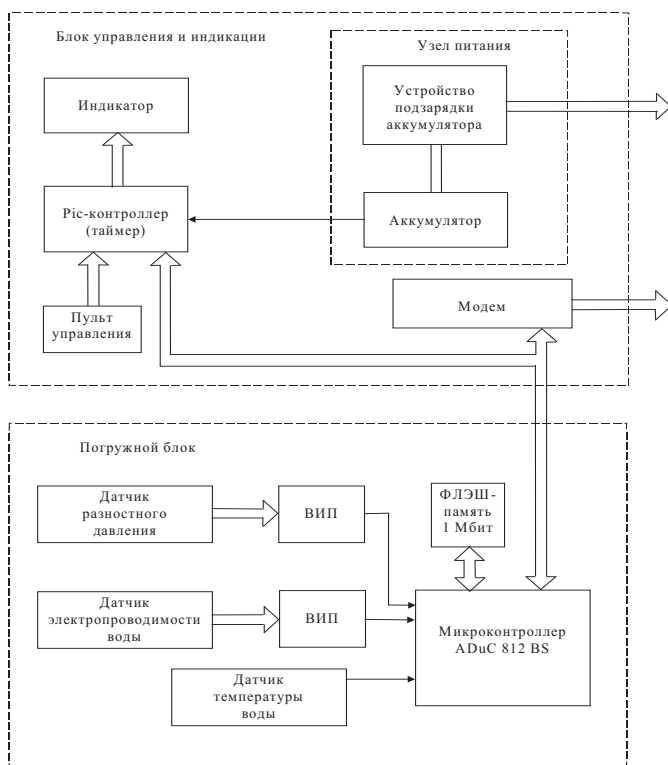


Рис. 2. Структурно-функциональная схема измерителя уровня моря

Регистрация информации, получаемой с помощью ИУМ-1, по всем измеряемым параметрам производится автоматически с дискретностью по времени, равной 5-ти минутам. Накопление и хранение информации осуществляется в флэш-памяти погружного блока ИУМ-1.

Прибор прошел Государственную приемку и экспериментальную эксплуатацию в уровнемерном колодце на мысе Павловский (порт Севастополь), в котором был штатно расположен стандартный самописец уровня СУМ, обслуживаемый сотрудниками "ГМБ Севастополь". Это позволило корректно сопоставить информацию, полученную с помощью ИУМ-1 и стандартного самописца уровня при воздействии на них одного и того же физического процесса (изменчивости уровня воды) как во времени, так и в пространстве.

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ МОРСКОГО И РЕЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Греков А.Н., Греков Н.А.

*Морской гидрофизический институт НАН Украины
ул. Капитанская 2, 99011, г. Севастополь
(0692) 54-03-80, glavniy@pisem.net*

In the report results of testing the devices IST-1 and IST-1M discussed. Device IST-1 has been tested in a Hydrometeorology network and several other organizations. For device IST-1M shows plots of the velocity and direction of flow in probing the oceanographic platform.

Разработанные и созданные в МГИ НАНУ измерители скорости течения серийно выпущенный ИСТ-1, внешний вид которого представлен на рис. 1 и экспериментальный морского и речного назначения ИСТ-1М, который представлен на рис. 2, проходили лабораторные и натурные испытания. Приборы ИСТ-1 в количестве 90 экземпляров введены в промышленную эксплуатацию на сети Гидрометеослужбы, а так же в Днепроводхозе и на ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог» где фактически работают в необычных условиях, а именно в агрессивных рассолах, уже на протяжении нескольких лет и показывают высокую надежность и хорошую метрологическую стабильность.

Испытания прибора ИСТ-1М было проведено в экспедиции на океанографической платформе экспериментального отделения МГИ НАНУ в п. Кацивели.



Рис. 1. Внешний вид погружного и бортового блоков прибора ИСТ-1

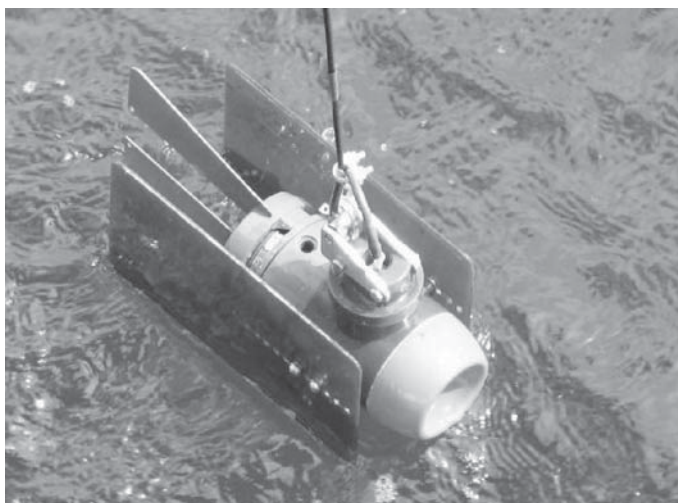


Рис. 2. Внешний вид прибора ИСТ-1М

Описание прибора ИСТ-1М приведено в [1]. В приборе имеются каналы скорости и направления течения V и A , температуры t , давления P — по которому определяется глубина h , ускорения по трем осям x , y , z .

По данным гидрометеопоста п. Кацевели в период испытаний степень волнения была 2 балла, наблюдалась зыбь высотой 0,3 м и длиной

3,2 м с одновременным присутствием ветровой ряби, направление волнения восточное и юго-восточное.

Испытания заключались в зондировании прибором по вертикали (погружение и подъем) до глубины 15 метров и сравнении результатов измерения, полученных при зондировании и осредненных на 10 горизонтах. На рис. 3 представлен график модуля скорости течения при погружении со скоростью 0,09 м/с и подъеме со скоростью 0,18 м/с.

Качественно графики модуля скорости течения для средних (измерения на горизонтах) и мгновенных (погружение и подъем) характеристик течений соответствуют друг другу. При погружении после 2 м расхождение показаний модуля скорости течения с осредненными показаниями, полученными при измерениях на горизонтах, не превышали 5,7 см/с, при подъеме – 3,8 см/с.

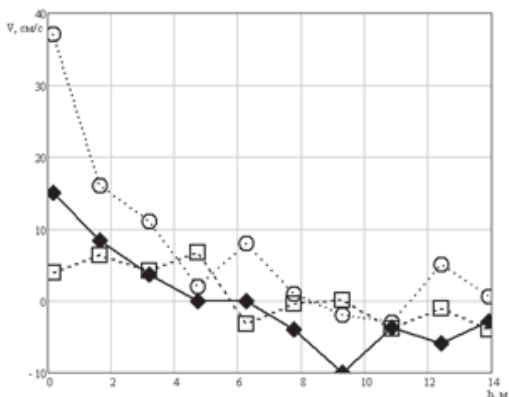


Рис. 3. Зависимость скорости течения от глубины при: $\blacklozenge$ – постановке прибора на десяти горизонтах; $\circ$ – погружении прибора; $\square$ – подъеме прибора

На рис. 4 представлены графики направления течения A в зависимости от глубины h с осреднениями на горизонтах. Расхождение в показаниях могут быть вызваны запаздыванием измерительных каналов A и V , временной изменчивостью течений и разницей средних и мгновенных значений.

Поскольку в гидрометрии принято осреднять показания приборов за период не менее чем 30 с, то для зондирований без остановок на горизонтах требуется изменение существующих методик проведения измерений.

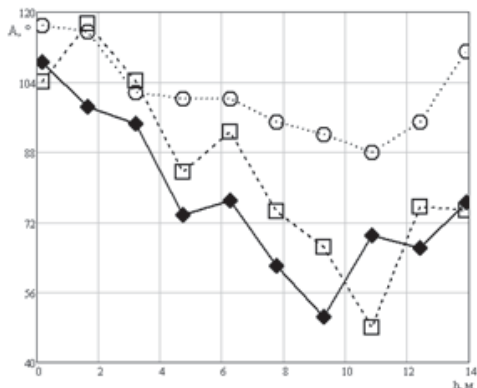


Рис. 4. Зависимость направления течения от глубины при:
 ◆ – постановке прибора на десяти горизонтах; □ – погружении прибора; ○ – подъеме прибора

ЛИТЕРАТУРА

1. Греков А.Н., Алексеев С.Ю. Акустический измеритель скорости и направления течения ИСТ-1М речного и морского назначения // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь, 2008. – С. 77–82.

УДК 551.465

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДАТЧИКОВ КИСЛОРОДА ПРИ РАБОТЕ В РЕДОКС ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Стунжас П.А.¹, Мошаров В.Е.², Радченко В.Н.²

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
 Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва,
 8(499)124-77-42, pastunzhas@mail.ru

² Центральный Аэрогидродинамический институт
 им. Н.Е. Жуковского, г. Жуковский, МО

Paper presents the results of comparison of different oxygen probes to measure low value of O_2 in redox zone of the Black Sea. Electrochemical probe without membrane is fast but is not stable. Photo luminescent probe is stable but needs dynamical correction that

is proposed. The data both of probes confirm the correctness of each other measurements.

В докладе анализируются возможности различных датчиков кислорода для работы в редокс зоне Черного моря и измерения очень низких его концентраций. Измерения проведены летом 2010 г. в Голубой бухте. Главные датчики: электрохимический безмембранный, разработанный в ИО РАН и использовавшийся для работ на Черном море с 1999 г., и отечественный фотOLUMИнесцентный датчик (ФЛД), разработанный в ЦА-ГИ. Актуальность этих работ связана с тем, что представления о том, где и как происходит взаимодействие аэробных и анаэробных вод Черного моря, сильно менялись во времени, следуя за возможностями измерения низких концентраций O_2 : слой сосуществования кислорода и сероводорода, субокисильный слой (suboxic layer), наличие субокислительной и субвосстановительной зон. Истинное, т.е. позже подтвержденное независимыми измерениями, распределение O_2 в редокс зоне было получено одним из авторов (ПАС) в 1999 г. при помощи безмембранного датчика (БД) [1,2]. Его преимущества перед другими датчиками: благодаря отсутствию изолирующей пленки, он не адсорбирует в себе кислород и по быстрдействию является практически безынерционным. Главным недостатком БД является невозможность его калибровки в лабораторных условиях вследствие сильной зависимости показаний датчика от скорости обтекания его водой. Кроме того, воздействие среды и особенно сероводорода сказывается на постепенном понижении чувствительности.

В ФЛД измеряется влияние кислорода на интенсивность люминесценции, для чего он оборудован двумя идентичными каналами: опорным и измерительным. Главными достоинствами ФЛД являются уникальная избирательность к O_2 , а также возможность калибровки датчика в газовой среде путем изменения давления воздуха, т.е. без использования метода Винклера. Недостатками ФЛД являются инерционность, обусловленная временем выравнивания парциального давления O_2 в пленке и среде, и необходимость контроля температуры сенсора и электроники. Оба недостатка компенсируются динамической коррекцией данных.

На рис. 1а сигнал ФЛД без коррекции показывает два профиля – на спуске и подъеме (гистерезис), а сигнал БД располагается между ними. После введения коррекции оба профиля значительно сближаются между собой и с профилем БД, причем не только в мелком, но и в увеличенном масштабе на рис.1б (подъем, коррекция по 2 точкам).

Так как в этом случае БД является эталонным по быстродействию, то можно сравнить (рис. 2) коррекцию по 2-м (1) и по 21 точке (2):

$$S_k(i+1) = S(i+1) + k \cdot (S(i+1) - S(i)), \quad (1)$$

$$j=10$$

$$S_k(i) = S(i) + k / 770 \cdot \sum (S(i+j) - S(i-j)) \cdot j, \quad (2)$$

$$j=1$$

где S_k и S , соответственно, отсчет с коррекцией и без, k – коэффициент коррекции, теоретически равный отношению времени запаздывания к интервалу между отсчетами. Коррекция по (2) позволила убрать гистерезис при спуске и подъеме (рис. 1б) и показывает хороший результат при сравнении с коррекцией по формуле (1) на рис. 2. Коррекция по 2-м точкам лучше воспроизводит тонкую структуру, но сильно увеличивает зашумленность сигнала. Коррекция по 21 точке почти не увеличивает шум сигнала и правильно воспроизводит основные особенности распределения O_2 (скорость зондирования 0.8 м/сек, запаздывание 5-6 сек, частота опроса 8 Гц). Данные БД и ФЛД взаимно подтверждают правильность измерений друг друга.

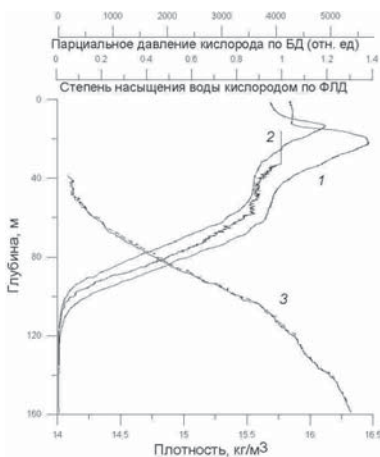


Рис. 1.А. Профили вертикального распределения кислорода по ФЛД (1) (на спуске и подъеме) без коррекции и БД (2) (профиль между ними). Показан также профиль плотности воды (3) на спуске и подъеме

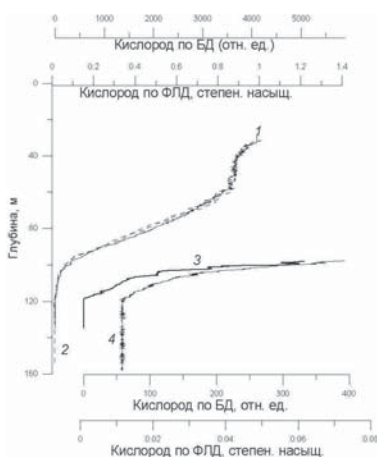


Рис. 1.Б. Совмещение профилей БД и ФЛД после введения коррекции: 1,2 – глубины от 30 м, (шкалы вверх), 3,4 – глубины от 90 м (подъем, коррекция по 2-м точкам)

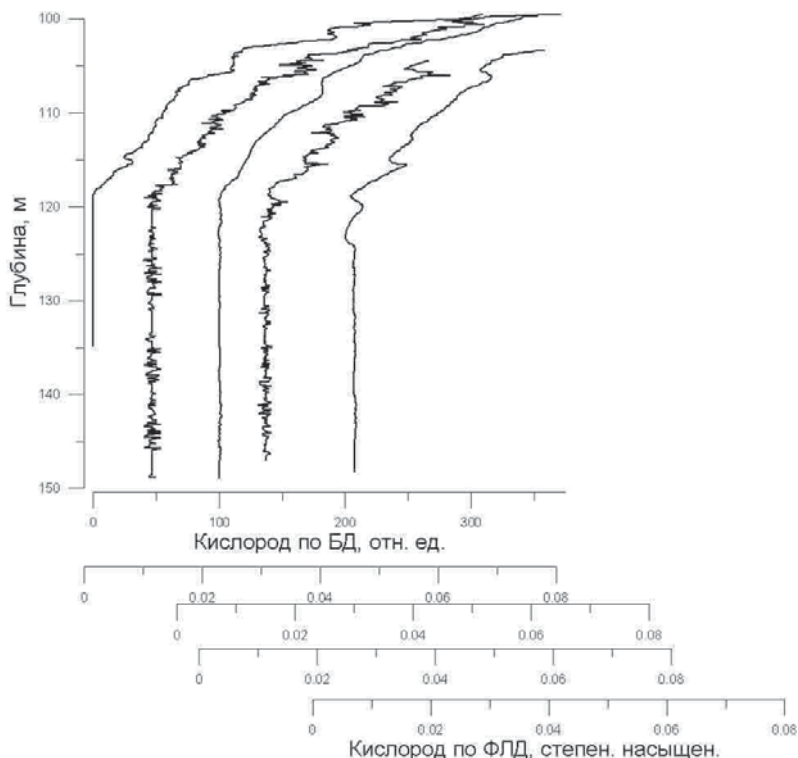


Рис. 2. Сравнение сигнала БД (без коррекции) и ФЛД (разные способы коррекции). Слева направо: 1- сигнал БД, 2-5 – сигнал ФЛД: 2-3) подъем, коррекция по 2-м и 21 точке, 4-5) спуск, коррекция по 2-м и 21 точке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стунжас, П. А. О строении зоны взаимодействия аэробных и анаэробных вод Черного моря по измерениям безмембранным датчиком кислорода // Океанология. – 2000. – №4.- С. 539-545.
2. Стунжас, П. А., Якушев Е.А. О тонкой гидрохимической структуре редокс зоны в Черном море по результатам измерений открытым датчиком кислорода и по батометрическим данным // Океанология.- 2006. – №5. – С. 672-684.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ МОЛИБДЕНА И ВОЛЬФРАМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТОДОМ ИСП-МС В ОКЕАНСКОЙ ВОДЕ

Римская-Корсакова М.Н., Бережная Е.Д., Дубинин А.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский просп. 36, 117997, Москва
т. (499)1245949, korsakova@ocean.ru*

A technique for solid phase extraction preconcentration of Mo and W from ocean water with ICP-MS detection has been developed. The concentration factor is 50; the detection limits are 0.31 nmol/kg for Mo and 6 pmol/kg for W. The precision of the determination is 2.7% for 108 nmol/kg Mo and 3.4% for 72 pmol/kg W in seawater (n=6).

В океанской воде молибден является необходимым элементом экосистем, участвуя в процессах фиксации азота морскими организмами. Вместе с тем молибден демонстрирует консервативное поведение в толще океанской воды. По химическим свойствам вольфрам является близким аналогом молибдена. Оба элемента в океанской воде находятся в степени окисления +6 в форме оксианионов.

Определение содержания вольфрама в океанской воде представляет значительные аналитические трудности, так как его концентрация составляет $\sim 50 \times 10^{-12}$ моль/л [1]. Немногочисленные исследования показывают, что молярное отношение Mo/W составляет порядка 1800:1 для воды Тихого океана [2]. В то же время в земной коре величина Mo/W близка к 1. Предполагают, что различия в поведении Mo и W в океанской воде вызваны разными механизмами сорбции на железомарганцевых оксигидроксидах [3].

Достоверные сведения о содержании молибдена и вольфрама в толще океанских вод имеются только для трех станций в Тихом океане [2]. Данных о латеральном изменении величины Mo/W и факторов ее определяющих нет. Не ясно, с чем связано направленное изменение величины Mo/W в осадках. Для понимания причин вариаций отношения элементов в истории Земли (запись в осадках) необходимо исследовать вариации элементов в воде современного океана.

Для одновременного определения Mo и W в океанской воде была разработана методика предварительного концентрирования этих элементов для последующего определения методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС).

В качестве метода концентрирования исследуемых элементов был выбрана твердофазная экстракция на обращенно-фазовом сорбенте. Данный метод позволяет одновременно сконцентрировать Mo и W, удалить солевой фон при минимальном загрязнении при пробоподготовке.

Объем пробы океанской воды для предварительного концентрирования Mo и W составляет ~150 мл. К фильтрованной пробе (<0.45 мкм) прибавляют раствор 8-оксихинолина, и при pH близком к 4 пропускают через колонку, заполненную октадецил-кремнеземом (C18). При этом 8-оксихинолинаты изучаемых элементов сорбируются на смоле, затем элементы элюируют смесью разбавленных кислот HCl и HNO₃. Полученный элюат осторожно упаривают и непосредственно перед масс-спектрометрическим определением сухой концентрат переводят в 3 мл 5% HNO₃ с добавлением внутренних стандартов In и Re. Таким образом, достигается концентрирование в 50 раз.

Правильность определения Mo и W в океанской воде по данной методике исследовали методом добавок (рис. 1). Для экспериментов использовали предварительно отфильтрованную поверхностную океанскую воду, отобранную в южной части Атлантического океана (22° ю.ш. в районе САХ).

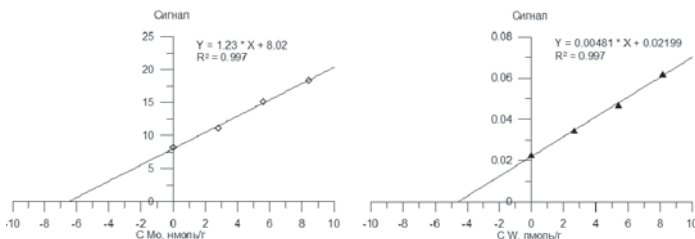


Рис. 1. Определение содержания Mo и W в образце океанской воды методом стандартных добавок

Коэффициент корреляции между введенными содержаниями элементов и сигналом составил 0.99 для обоих элементов. Отношение содержания элементов при прямом определении и методом добавок по предложенной методике составило 0.86. Воспроизводимость для 6 параллельных проб составила 2.7% для концентрации 108 нмоль/кг Mo и 3.4% для 72 пмоль/кг W.

Предел обнаружения элементов по данной методике (рассчитанный как 3 стандартных отклонения от среднего фона при n=6) составил для Mo – 0.31 нмоль/кг и для W – 0.006 нмоль/кг.

С использованием разработанной методики были определены содержания молибдена и вольфрама в поверхностной воде 16 станций на субмеридиональном профиле в Атлантическом океане

ЛИТЕРАТУРА

1. **Donat J., Dryden C.** Transition metals and heavy metal speciation / Encyclopedia of ocean sciences. Eds.: J. Steele, S.Thrope, K. Turekian.– New York.: Academic, Elsevier Science, 2001. P.3027–3035.
2. **Sohrin Y., Isshiki K., Kuwamoto T., Nakayama E.** Tungsten in North Pacific waters // Mar. Chem. – 1987. – V.22. – P. 95–103.
3. **Kashiwabara T., Takahashi Y., Marcus M.A., Uruga T., Tanida H., Terada Y., Usui A.** Tungsten species in natural ferromanganese oxides related to its different behavior from molybdenum in oxic ocean // Geochim.Cosmochim. Acta. – 2013. – V.106. – P. 364–378.

УДК 551.465

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ КИСЛОРОДА МЕТОДОМ ВИНКЛЕРА

**Якушев Е.В.^{1,2}, Виноградова Е.Л.³, Дубинин А.В.³, Костылева А.В.¹,
Меньшикова Н.М.¹, Пахомова С.В.³**

*1Южное отделение Института океанологии им. П. П. Ширикова РАН,
Геленджик-7к, 8(861)412-80-69*

*2Норвежский Институт водных исследований, Осло, Норвегия,
Gaustadalleen, 21, NO-0349, Oslo, +47 22 18 51 00, eya@niva.no*

*3Институт океанологии им. П.П. Ширикова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
vinogradova@ocean.ru*

Based on the data of 100th cruise of RV “Professor Shtokman” authors present recommendations for an increasing of the accuracy of the oxygen Winkler technique such as using argon during the sampling for oxygen-protecting the samples and taking into account the oxidized forms of metals that allows correcting the calculations.

Авторами предложен ряд рекомендаций, позволяющих повысить точность определения растворенного кислорода по методу Винклера и

описан опыт применения этих рекомендаций при работах в редокс-зоне Черного моря.

Эксперименты, проведенные в ИО РАН, выявили сокращение ошибки при определении низких концентраций кислорода на: 5 мкМ при использовании склянок с 9 мм пробкой относительно традиционных склянок с 29 мм удлиненной пробкой [2]; 2.5 мкМ при использовании сухих склянок, заполненных аргоном относительно влажных, ополоснутых пробой; 5 мкМ отборе проб из батометров, заполняемых аргоном [3]. Показана целесообразность внесения фиксирующих реагентов диспенсерами после заполнения склянки пробой без промежуточного закрывания пробкой.

В 100-м рейсе НИС “Проф. Штокман” и в интеркалибрационном рейсе НИС «Академик», были проведены эксперименты по улучшению техники отбора проб и введению поправок в результаты анализа. Результаты сравнения обычно используемого и модифицированного способов отбора проб, представленные в табл. 1, согласуются с ранними оценками суммарного загрязнения пробы реактивами и кислородом воздуха при отборе [1].

Таблица 1. Результаты эксперимента по сравнению традиционного и модифицированного отборов проб морской воды

	Традиционный отбор	Модифицированный отбор
Время заполнения склянки пробой	~30 с	~ 7 с
Фиксация пробы	Шприц-пипетки, промежуточное закрывание склянки пробкой.	Диспенсеры, без промежуточного закрывания склянки пробкой.
Склянка	Влажная, трехкратное ополаскивание.	Сухая, заполненная аргоном.
Отбор из батометра, заполняемого аргоном	0.057 мл/л (2.5 мкМ) ²	0.033 мл/л (1.5 мкМ) ²
Отбор из батометра, заполняемого воздухом	0.189 мл/л (8.4 мкМ) ¹	0.035 мл/л (1.6 мкМ) ²

^{1,2}Последовательность отбора.

Снизить погрешность процедуры анализа и предел обнаружения (0.3 мкМ) по сравнению с визуальным определением (2.23 мкМ [4, 7]), позволяет использование автоматических титраторов с потенциометрическим определением конечной точки титрования [5, 6].

Точность определения обеспечивается корректностью вычисления результатов с учетом поправок на содержание кислорода в реактивах, присутствие в анализируемой пробе окислителей и восстановителей.

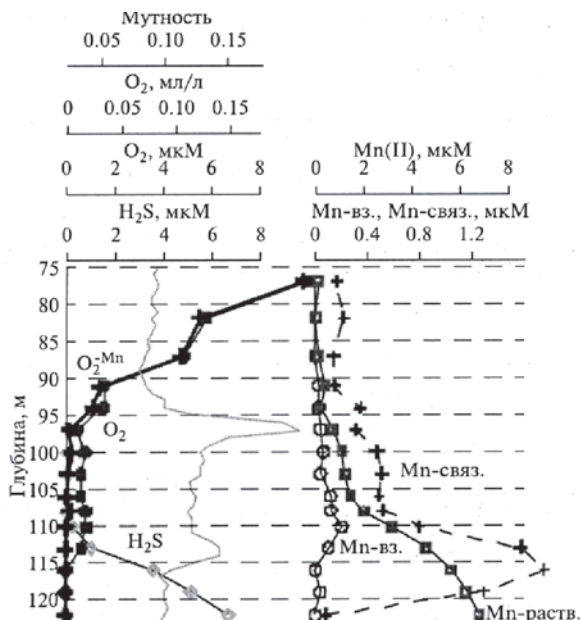


Рис. 1. Распределение растворенного кислорода с учетом поправки на присутствие в воде окисленных соединений марганца (O_2^{-Mn}), растворенного кислорода без учета поправки (O_2), мутности, восстановленного растворенного марганца (Mn-раств), окисленного взвешенного марганца (Mn-вз.), окисленного растворенного марганца (Mn-связ) на ст. 100-50 в 100-м рейсе НИС «Профессор Штокман»

Рекомендуемая поправка на содержание кислорода в фиксирующих реактивах, полученная в экспериментах при непрерывном продувании аргоном реактивов во время отбора и фиксации проб дали величину составляет 1.34 мкМ. Суммарное содержание всех восстановителей в аэрированной воде сопоставимо с точностью метода Винклера, что позволяет пренебречь поправкой на их содержание. Поправка на содержание в воде окислителей учитывается согласно процедурам, описанным в [13] или определением в пробе окисленных форм металлов (Mn(IV),

Mn(III); Fe(III)), как это было сделано в 100-м рейсе НИС «Профессор Штокман». Распределение окисленных форм железа и марганца представлено на рис. 1. При сведении к минимуму контакта пробы с воздухом, автоматическом титровании, введении вышеуказанной поправки 1.34 мкМ на содержание кислорода в реактивах и поправки на присутствующие в пробе соединения окисленного марганца на всех станциях на нескольких горизонтах в субвосстановительной зоне концентрации кислорода составляли ~ 0.5 мкМ, до появления сероводорода. В пробах из нижележащих слоев, содержание кислорода было менее предела обнаружения. Практически на всех исследованных станциях был зафиксирован 10-м слой, в котором отсутствует как растворенный кислород, так и сероводород (рис. 1).

Наличие такого слоя соответствует современным теоретическим представлениям (анапнокс) и подтверждаются измерениям кислорода безмембранным датчиком.

Использование предложенных модификаций метода Винклера позволило увеличить точность и снизить предел обнаружения определения растворенного кислорода до 0.5 мкМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Безбородов А.А., Новосёлов А.А.** Новые данные о распределении кислорода на границе аэробных вод в Черном море. Пересмотр устоявшихся представлений. Севастополь: МГИ АНУ, 1989. Деп. ВИНИТИ 6773_В 89. 18 с.
2. **Чернякова А.М.** Определение растворенного кислорода. Современные методы гидрохимических исследований океана / Отв. Ред. Бордовский О.К., Чернякова А.М. М.: ИО РАН, 1992. 100–110.
3. **Якушев Е.В., Виноградова Е. Л., Дубинин А. и др.** Об определении низких концентраций кислорода методом Винклера // Океанология. 2011. Т. 52. № 1. С. 131–138.
4. **Carpenter, J.H.** The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis // Limnol. Oceanog. 1965. №10. P. 135–141.
5. **Granli W., Granli E.** Automatic potentiometric determination of dissolved oxygen // Marine Biology. 1991. V. 108. P. 341–348.
6. **Furuya K., Harada K.** An Automated Precise Winkler Titration for Determining Dissolved Oxygen on Board Ship // J. of Oceanography. 1995. V. 51. P. 375–383.
7. **Potter E.C.** The microdetermination of dissolved oxygen in water // J. Appl. Chem. 1957. V. 7. P. 285–328.

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕСНЫХ ВЗВЕСЕНЕСУЩИХ ПОТОКОВ В СОЛЁНОЙ ВОДЕ

Петрига А.А., Зацепин А.Г., Низов С.С.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский проспект, д. 36., 117997, Москва
тел.: +7(499)124-63-92, факс: +7(499)124-59-83,
E-mail: petriga@ocean.ru*

The dynamics of fresh water turbidity flow in the ambient salted water was studied in tilted laboratory tank. It has been found, that turbidity flow spreads down the slope as a gravity current till the moment when its density decreases below the density of the ambient water due to settling out of the particles. After that convective mixing between the turbid fresh and overlying salted waters occurs.

Цель работы – лабораторное исследование взвесенесущего (турбидитного) пресноводного течения по наклонному дну в солёной воде. В природных условиях такие течения наблюдаются в прибрежной зоне моря в местах впадения речной воды с большим содержанием взвеси [1, 2]. Если положительный вклад взвеси в плотность превышает отрицательный, обусловленный опреснением, турбидитное течение «ныряет» на морское дно и распространяется вниз по склону дна в виде придонного плотностного течения (ППТ). Это экзотическое явление было воспроизведено и исследовано в лабораторных условиях.

Эксперимент проводился на установке, схематически представленной на рис. 1. Перед проведением каждого опыта бассейн наполняется водой с заданной солёностью без стратификации. В начале опыта производится импульсный впрыск в верхнюю часть бассейна заданного объема взвесесодержащей дистиллированной воды. В начале, за счёт содержания взвешенного вещества, впрыснутая вода имеет плотность большую, по сравнению плотностью солёной воды в бассейне. Вследствие этого формируется ППТ, движущийся вниз по наклонному дну бассейна. Постепенно происходит выпадение взвеси в осадок, вследствие чего плотность воды в ППТ уменьшается. При уменьшении плотности до критического значения, движение потока по дну прекращается, и частично освободившаяся от взвеси вода, более лёгкая, по сравнению с окружающей солёной водой, всплывает на поверхность. Задача эксперимента – выявить зависимость скорости движения и дальности распространения ППТ до его остановки и

всплытия от концентрации взвешенного вещества и его гидравлической крупности в первоначальной суспензии.

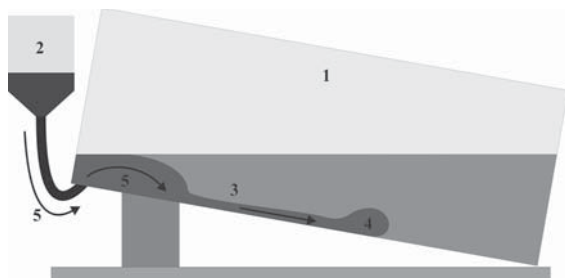


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – бассейн из оргстекла, 2 – резервуар для подачи взвесесодержащей дистиллированной воды, 3 – турбидитный поток, 4 – голова потока, 5 – траектория движения потока

Первым делом была выполнена серия опытов, в которой вода в бассейне была пресной. В отсутствие различия по солёности между водой в бассейне и в источнике, турбидитное ППТ опускалось по наклонному дну до конца бассейна: его остановки и всплытия не наблюдалось (рис. 2). Были установлены закономерности ППТ в зависимости от начального объема суспензии, концентрации взвеси и ее гидравлической крупности.

Затем была выполнена серия опытов, в которой пресная вода с определенной концентрацией взвеси впрыскивалась в бассейн с соленой водой. Данная серия состояла из 8 опытов. Такие параметры как угол наклона дна, солёность воды в бассейне оставались неизменными для всей серии: 10° и 1‰ соответственно. Содержание взвешенного вещества (частицы спитого кофе) в суспензии изменялось от 15 до 50 г/л от опыта к опыту. Выбор такого диапазона содержания взвеси объясняется тем, что при содержании взвеси менее 15 г/л турбидитный поток не формировался, а при ее содержании более 50 г/л затруднялась подача суспензии из вспомогательного резервуара в бассейн. От опыта к опыту изменялась также и гидравлическая крупность взвеси.

Было установлено при достаточной концентрации взвеси и наличии опреснения вод ПТ по сравнению с водой в бассейне оно первоначально распространяется в виде придонного течения. По мере уменьшения в нем концентрации взвеси за счет ее осаждения на дно его плотность уменьшается и на некотором расстоянии от источника придонное тече-

ние останавливается и поднимается к поверхности в виде конвективных струй (рис. 3).

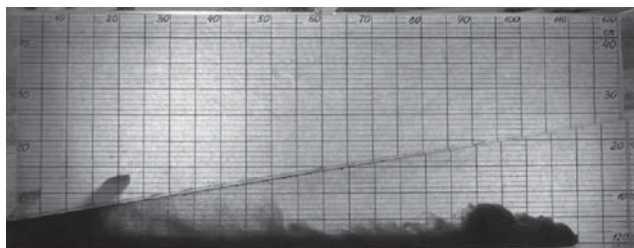


Рис. 2. Движение турбидитного потока по дну бассейна (угол наклона бассейна – 10° , солёность воды в бассейне – 0‰, концентрация взвешенного вещества в суспензии – 50 г/кг, плотность взвеси – $1,25 \text{ г/см}^3$, гидравлическая крупность частиц – $0,007 \text{ см/с}$)

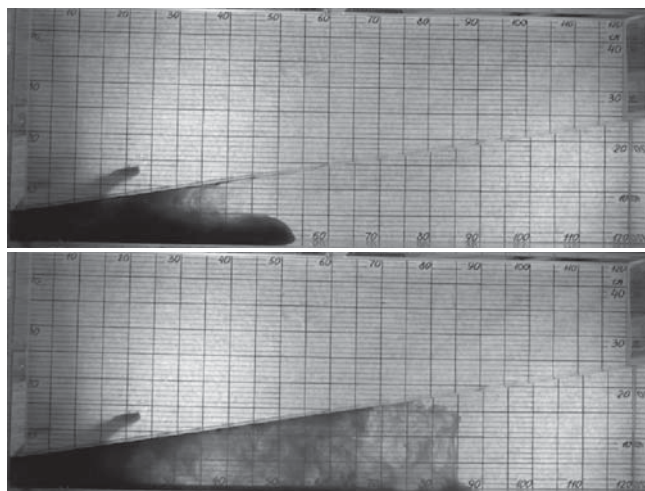


Рис. 3. Пресное турбидитное течение на наклонном дне в соленой воде (угол наклона дна – 10° , солёность воды в бассейне – 1‰, концентрация взвеси 25 г/л, плотность взвеси – $1,25 \text{ г/см}^3$, средняя гидравлическая крупность частиц – $0,007 \text{ см/с}$);

а) начальная фаза распространения; б) остановка опресненного ППТ после осаждения части взвеси и его конвективное перемешивание с вышележащим слоем соленой воды

Дальность распространения пресного ПТ возрастает при увеличении начальной концентрации взвеси (рис. 4) и убывает при увеличении ее гидравлической крупности.

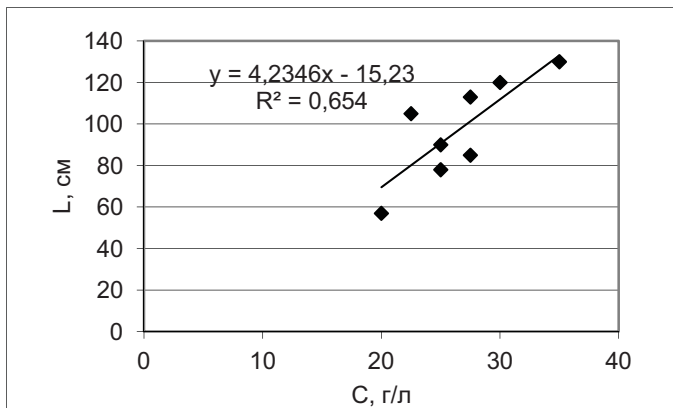


Рис. 4. Зависимость дальности L (см) распространения пресного турбидитного течения вдоль наклонного дна в зависимости от начальной концентрации C (г/л) взвеси (угол наклона дна – 10° , солёность воды в бассейне – $1,0\%$, плотность взвеси – $1,25 \text{ г/см}^3$, средняя гидравлическая крупность частиц – $0,007 \text{ см/с}$)

ЛИТЕРАТУРА

1. **Mulder, T., Syvitski, J.** Turbidity currents generated at river mouths during exceptional discharges to the World Ocean. *The Journal of Geology*, 1995, 103, p. 285–299.
2. **Rimoldi, B., Alexander, J., Morris, S.** Experimental turbidity current entering density-stratified water: analogues for turbidities in Mediterranean hypersaline basins. *Sedimentology*, 1996, 43, p. 527–540.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ НАЧАЛА И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЗАМКНУТЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Прокопов О.И.

*Южное отделение Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН
prokopovoleg@yandex.ru*

The duration of the annual hydrological cycle is determined by the time between the start of winter and the end of the fall season. An alternative method of selection explains the observed variability of the timing of the hydrological cycle and variations in their duration.

Предполагается, что реальная длительность замкнутого годового гидрологического цикла определяется временным интервалом между началом гидрологической зимы и концом гидрологической осени. По устоявшимся представлениям [1] этот временной отрезок начинается 01.01 и заканчивается в конце 31.12. Из традиционного подхода автоматически следовала одинаковая длительность гидрологических циклов при неизменных сроках их начала.

Исследования последнего времени показали, что при выборе зимних (летних) гидрологических сезонов как трехмесячных периодов с минимальной (максимальной), для данного гидрологического цикла, средней температурой поверхности моря осенний сезон мог рассматриваться [2, 3] как временный интервал между летними и зимними гидрологическими сезонами. Рамки альтернативного подхода предусматривают: вариации сроков начала зимних гидрологических сезонов и конца осеннего, существенную изменчивость длительности гидрологической осени [2], неопределенность положения осенних сезонов на календарной шкале года [3]. Вместе с тем, при альтернативном подходе операция определения границ годового гидрологического цикла приобретает необходимую однозначность. Данные о сезонной и межгодовой изменчивости температуры поверхности моря необходимы для решения ряда прикладных задач при оценке режима сезонной и многолетней изменчивости гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических процессов в Черном море.

Непредсказуемость положения концевых сезонов годового цикла приводит к флюктуациям его длительности и неопределенности размещения по календарным датам. Между тем, надежность хронологической идентификации циклов, выявление времени их смены, соотносимость экспериментов с конкретным годовым гидрологическим циклом представляют существенный практический интерес.

Вариации концевых дат годовых гидрологических циклов исключают регулярность их размещения и значительно усложняет их взаимосвязь с календарными датами. В частности, конкретный годовой гидрологический цикл может располагаться стыке последовательно расположенных календарных (от 1 января до 31 декабря) лет, в пределах конкретного календарного года, между датами 01.01 и 31.12 и совпадать с границами календарного года. Для повышения точности оценки границ годовых циклов был использован подекадный интервал осреднения суточных значений температуры.

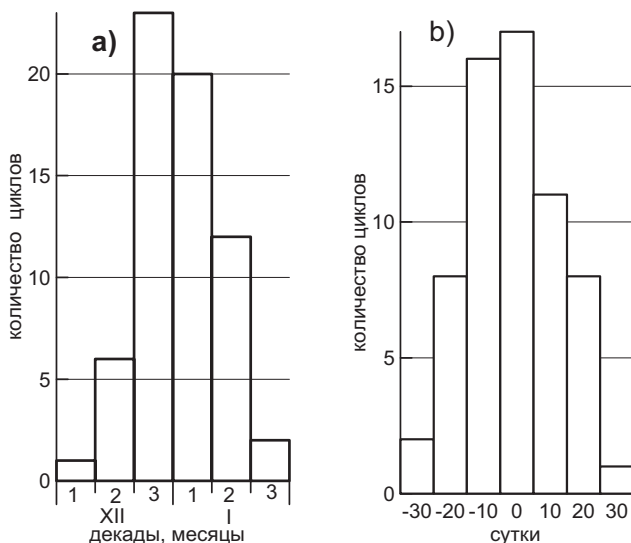
Ниже годовые гидрологические циклы, выделенные в рамках альтернативного подхода, вводятся как фактические. В качестве базы исследований были выбраны наблюдения температуры поверхности моря с 1938 по 2010 гг. на гидрометеорологической станции «Геленджик». На первом этапе обработки данных наблюдений формировался хронологический ряд подекадных температур поверхности моря. На втором – определялось положение на календарной шкале года границ годовых гидрологических циклов. На третьем – строилась гистограмма сроков их начала. На четвертом – гистограмма длительности циклов.

Гистограммы рассматривались как удобная форма обобщения данных о временных рамках гидрологических годовых циклов. Отдельный разряд гистограммы позволяет оценить вероятность реализации данного интервала значений параметра, гистограмма в целом – характер распределения параметров по градациям.

Данные о смещении начала годовых гидрологических циклов (фрагмент рис. а) несут в себе информацию о сроках их начала. Как видно из гистограммы, наиболее вероятные сроки начала гидрологических циклов – 21 декабря и 1 января. Количество годовых циклов, где сроки наступления опережают календарные, составляют 48%. При этом наиболее ранний срок наступления цикла составил 1 декабря, наиболее поздний – 21 января.

Длительность годовых циклов (фрагмент б) может меняться от 335 до 395 суток. Наиболее вероятная (52%) длительность годового гидрологического цикла колеблется от 355 до 365 суток. Как видно из гистограмм, сроки начала годовых циклов не более на 32% совпадают с ка-

лендарными прогнозами. Совмещение длительности годовых циклов с устоявшимися представлениями не превышает 27%.



Распределение годовых гидрологических циклов по срокам начала (а) и (б) по вариациям отступления от календарной (365 суток) длительности

Таким образом, детальная проработка относительно узкой и, на первый взгляд, очевидной проблемы выделения годовых гидрологических циклов, позволила выявить своеобразие реальных особенностей их размещения на календарной шкале года и оценить вариации дат их смены, флуктуации длительности. Альтернативный подход столь существенно меняет эти оценки, что календарная схема выделения гидрологических циклов может рассматриваться только как некоторой приближение к реальной информации.

Таким образом, сроки начала и длительность наступающего гидрологического годового цикла практически непредсказуемы. Их неопределенность в первую очередь связана с вероятностным характером направления, скорости и температуры воздушных потоков в район наблюдений. Альтернативный подход позволяет прежде всего отслеживать эволюцию событий в данном районе и адаптировать результаты гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических наблюдений к режиму ветровых и термических атмосферных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Блатов и др.** Изменчивость гидрофизических полей Черного моря// СПб.: Гидрометеиздат, 1984. 240 с.
2. **Прокопов О. И.** Динамика многолетней изменчивости зимней и летней температуры прибрежных вод в северо-восточной части Черного моря// Вестник Южного научного центра РАН. 2011. Т. 7. №2. С. 35–44.
3. **Прокопов О. И.** Многолетняя изменчивость температуры поверхности прибрежной зоны северо-восточной части Черного моря весной и осенью/ Метеорология и гидрология, № 7. 2011. С. 59–71.

УДК 551.463.8

АБСОРБЦИОННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОРСКОЙ ВЗВЕСИ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Коновалов Б.В., Грабовский А.Б.

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Нахимовский пр-т, 36, 117997, Москва

+7(499)124 59 96, факс +7(499)124 59 83, bvkonovalov@yandex.ru

The technique and some results of the absorption spectral analysis of the total content of components of marine suspensions – suspended organic and mineral matter

Очевидными достоинствами оптических методов исследований (в частности, абсорбционного спектрального анализа) при мониторинге экологического состояния водоемов являются их минимальная трудоемкость и экспрессность. К числу важнейших показателей, характеризующих состояние морских экосистем, относятся значения концентраций основных компонентов морской взвеси (ВОВ – взвешенного органического вещества, включающего в себя фитопланктон и детрит, и ВМВ – взвешенного минерального вещества), а также соотношения величин этих концентраций. Прямые (весовые) методы определения любого из этих компонентов, кроме того, что они предполагают значительные затраты труда и времени, что осложняет проведение массовых анализов, не обладают чувствительностью и точностью, достаточными при работе с низкими концентрациями взвеси.

В докладе предлагается альтернативный метод (с более высокими чувствительностью и точностью), в основе которого – измерение спектральных оптических плотностей (на 440 и 750 нм) взвеси, осажденной на мембранный фильтр. Для расчета концентраций компонентов взвеси используются эмпирические уравнения, полученные нами в результате сопоставления данных фотометрии и величин концентраций минеральной и органической взвеси, измеренных прямым (весовым) методом:

$$C_{\text{БМВ}} = 0.11 + 71 \cdot a_{\text{БМВ}}(750), (r = 0.97)$$

$$\text{или } \lg(C_{\text{БМВ}}) = 1.28 + 0.66 \cdot \lg[a_{\text{БМВ}}(750)] (r = 0.88);$$

$$C_{\text{БОВ}} = 0.15 + 1.06 \cdot a_{\text{БОВ}}(440), (r = 0.92)$$

$$\text{или } \lg[C_{\text{БОВ}}] = 0.088 + 0.65 \cdot \lg[a_{\text{БОВ}}(440)] (r = 0.84),$$

где $a_{\text{БМВ}}(750)$ и $a_{\text{БОВ}}(440)$ показатели поглощения света, которые рассчитываются по спектральным оптическим плотностям [1].

Приведённые уравнения можно считать универсальными, применимыми как для мутных прибрежных приустьевых вод внутренних и окраинных морей, так и для прозрачных вод открытых океанических, так как эти уравнения были получены по материалам семи морских экспедиций: в Атлантический и Южный океаны, в Белое, Черное, Аральское и Карское моря, и охватывают диапазоны концентраций $C_{\text{БМВ}}$ почти в три, а $C_{\text{БОВ}}$ – в два десятичных порядка.

В качестве демонстрации возможностей предлагаемого метода на рисунке 1 приведен пример распределения концентраций взвеси, рассчитанных для разреза вдоль побережья Черного моря.

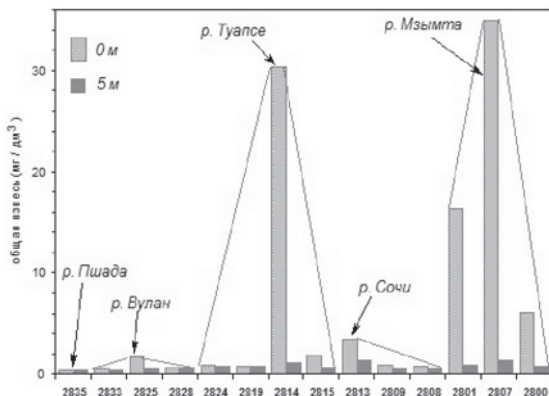


Рис. 1. Распределение концентраций взвешенного минерального вещества в поверхностном слое (на горизонтах 0 и 5 м) в приустьевых зонах пяти рек Черного моря в мае 2008 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Коновалов Б.В.** Определение показателя поглощения света компонентами сесто́на по спектру поглощения его осадка на мембранном фильтре // *Океанология*. 1992. Т.32. №3. С.588–593.

УДК 551.466

ДИСТАНЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫМИ ЛОКАТОРАМИ ФУРУНО-M1715 И «РЕКА» (НПФ МИКРАН)

**Ивонин Д.В.^{1,2}, Телегин В.А.^{3,4}, Мысленков С.А.⁵, Азаров А.И.⁶,
Куклев С.Б.⁶, Чернышов П.В.⁶**

¹ *Институт океанологии им. П.П. Шири́сова РАН,*

Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-75-65,

² *Российский государственный гидрометеорологический университет,*

Малоохтинский проспект, 98, 195196, Санкт-Петербург

8(926)124-35-18, ivonin@ocean.ru

³ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения*

радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН

г.Троицк, 142191, Московская обл., 8(496)751-01-20,

⁴ *НИИ дальней радиосвязи, Бухвостова 1-я ул., 12/1, 107076, г. Москва,*

8(909)990-92-01, telvika@gmail.com

⁵ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,*

Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 119991, г. Москва

8(495) 939-22-38, stasoccean@gmail.com

⁶ *Южное отделение института океанологии им. П.П. Шири́сова РАН,*

ул. Просторная 1-2, 353470, г. Геленджик, Краснодарский край,

8(86141)2-80-89, azarov@ocean.ru

Apparatus for remote sensing (1-3 km) of the significant wave heights developed on the base of nautical radars Furuno-M1715 and “River-Micran” have been successfully tested at the Black Sea during 2011-2013 years. Comparison of remote vs. in-situ measurements was performed, as well as, comparison vs. wind-wave model SWAN.

В докладе представлены результаты тестирования аппаратуры и дистанционного метода измерения ветрового волнения с помощью навига-

ционных радиолокаторов (РЛС) сантиметрового (СВЧ) диапазона Фуруно-М1715, производства Японии, и «Река», производства НПФ «Микран», г. Томск (рис. 1). Аппаратура проходила тестирование на Черном море в Южном отделении института океанологии (ЮО ИОРАН) г. Геленджик, Голубая бухта. На рис. 2 показана установка РЛС в ЮО ИОРАН («Река» выше на треугольной стойке, Фуруно – ниже). Также приведен пример радиолокационного (РЛ) изображения волнения.



Рис. 1. Радиолокаторы Фуруно-1715 и «Река» (НПФ МИКРАН)

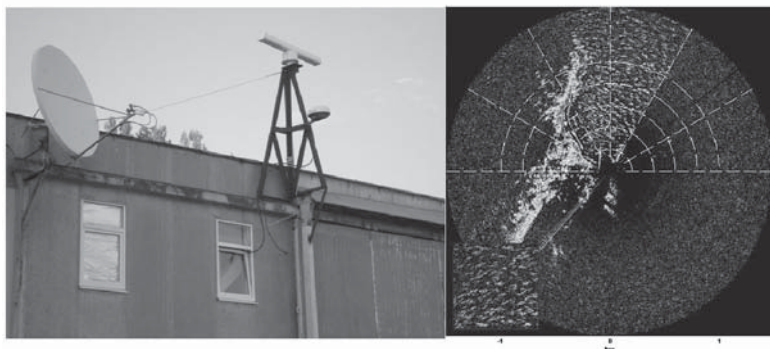


Рис. 2. Радиолокаторы Фуруно-1715 и «Река» установленные в ЮО ИОРАН (г.Геленджик) (слева); РЛ изображение волнения и морской поверхности по данным РЛС «Река», прямоугольником показан фрагмент изображения, который используется для определения высоты волнения (справа)

РЛС Фуруно работала в период с 2011 по 2013 год (с перерывами), РЛС «Река» – зимой 2012-2013 года. Одновременно с РЛС, когда позво-

ляли возможности, в зоне обзора проводились in-situ измерения волнения. Использовались лазерный уровнемер, волновой буй Datawell DWR-G4, и донная станция ADCP Workhorse-600.

Для определения значительной высоты волнения H_s использовались оцифрованные радиолокационные (РЛ) данные. Для этого РЛС Фуруно-M1715 было дооборудовано 14 разрядным 200 МГц аналого-цифровым преобразователем (АЦП). РЛС «Река» такой доработки не требовала, поскольку она изначально конструктивно использует цифровой сигнал.

Для обработки данных использовался метод, предложенный изначально в работах [1, 2]. Метод был адаптирован для использования с РЛС Фуруно и «Река». На рис. 3 показана применяемая схема интерпретации радиолокационных изображений поверхности моря для оценки значительной высоты волнения. Ключевым в методе является фильтрация трехмерного сигнала в спектральной области для разделения спеклшума и полезного сигнала от волн.

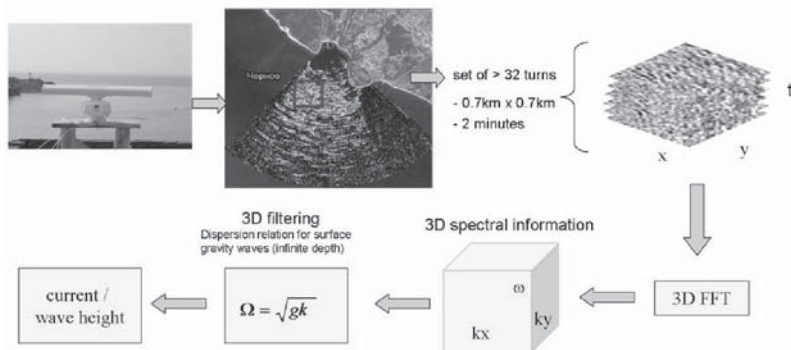


Рис. 3. Интерпретация радиолокационных изображений поверхности моря

Приводятся примеры определения значительной высоты волнения H_s в моменты прохождения штормов в период 2011-2013 годов на Черном море (г. Геленджик, Голубая бухта). Сопоставление значительной высоты волнения полученной радиолокационным (РЛ) способом и полученных in-situ показало хорошие результаты. Также было проведено сопоставление РЛ измерений волнения с результатами расчета по ветро-волновой модели SWAN, которое также показало хорошие результаты.

По результатам тестирования разработанная аппаратура на базе РЛС Фуруно-M1715 и «Река» может быть рекомендована для дистанционно-

го измерения волнения на удалении 1-3 км от локатора в мониторинговых, гидрометеорологических и т.п. задачах.

Данная работа была выполнена при поддержке гранта Правительства РФ (Договор №11.G34.31.0078) для поддержки исследований под руководством ведущих ученых в Российском государственном гидрометеорологическом университете, Программы Президиума РАН №23 “Динамика морского волнения в задачах дистанционного зондирования морской поверхности в прибрежной зоне”, грантов РФФИ № 12-05-92004-ННС_а, №12-05-31498, №12-05031463, №12-05-31409.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Young, I.R., Rosenthal, W., Ziemer, F.** A Three-dimensional analysis of marine radar images for the determination of ocean wave directionality and surface currents // J. Geophys. Res. – 1985. – V.90. – P. 1049 – 1059.

2. **Nieto-Borge, J.C., Hessner, K., Jarabo-Amores, P., de la Mata-Moya, D.** Signal-to-noise ratio analysis to estimate ocean wave heights from X-band marine radar image time series // Radar, Sonar & Navigation. IET. – 2008. – V.2(1). – P. 35 – 41.

УДК 621.371

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПУТНИКОВЫЙ И САМОЛЕТНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ РСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОКЕАНСКИХ ТЕЧЕНИЙ

Переслегин С.В.^{1,2}, Ивонин Д.В.^{1,2}

*1 Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва
8(499)124-75-65, peresleg@ocean.ru*

*2 Российский государственный гидрометеорологический университет,
Малоохтинский проспект, 98, 195196, Санкт-Петербург
8(926)124-35-18, ivonin@ocean.ru*

The problem of reconstruction of vector velocity fields of ocean surface using conventional relationships for SAR interferometers (InSAR) is addressed. Vector velocity fields (radial and tangent components) are proposed to be evaluated using a setup of two slightly along-track inclined antenna beams.

В докладе представлен проект нового перспективного спутникового (или самолетного) ИРСА (интерференционного радиолокатора с синтезированной апертурой) предназначенного для измерения **вектора** скорости поверхностных океанских течений. В настоящее время все современные спутниковые РСА и ИРСА обладают возможностью измерения только одной – дальностной – компоненты вектора скорости течений [1, 2].

Для обеспечения возможности измерения **вектора** скорости предлагается использование смещения фазовых центров (ФЦ) антенны (см. рис. 1). Последний образуется благодаря наклону плоскости антенны относительно вертикали (если представить рисунок в плане, то можно видеть «угол сноса» $\beta = \arctg(l_z \sin \theta / l_x)$ (обозначения см. на рис. 1). Скорости космического аппарата (КА) и объекта проектируются на луч антенны в верхних и нижних секциях. В этом случае к стандартной в РСА фазовой задержке по оси X за счёт скорости аппарата и радиальной скорости течений, $W_x - V_x$, добавляется дополнительная фазовая задержка по оси Y за счёт вращения Земли и азимутальной скорости течения, $W_E + V_y$ (обозначения см. на рис. 1).

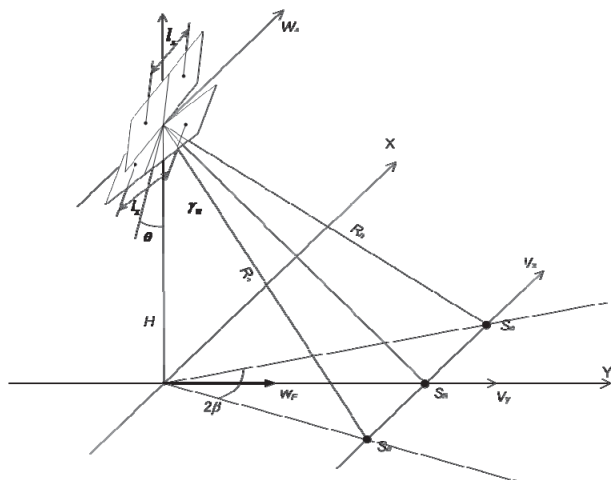


Рис. 1. Геометрия визирования векторно-скоростного ИРСА

Расчет показывает, что азимутальный разворот плоскости антенны на угол $\beta \sim 15^\circ$ (искусственный угол сноса), должен обеспечить приемлемую точность измерений азимутальной компоненты скорости тече-

ния. Возможное решение заключается в развороте верхних и нижних секций на углы $\pm\beta$, т.е. в переходе на двух лучевую систему.

Рассматривается проблема восстановления векторно-скоростных полей поверхности океана – как при высоком разрешении (орбитальные скорости энергонесущих ветровых волн), так и при осреднении скоростного поля на мезомасштабных площадках (градиентные течения). Изучаются точностные характеристики ИРСА с продольной антенной базой, где радиальная и тангенциальная составляющие скорости поверхности определяются по их проекциям на два «скошенных» луча.

С учётом энергопотенциала оценивается флуктуационная ошибка скоростного ИРСА, а также способы исключения систематических ошибок, возникающих, например, из-за скорости вращения Земли, которая изменяется вдоль орбиты космического аппарата. Для случая диагностики энергонесущих морских волн оценивается достижимое продольное разрешение ИРСА, определяемое расфокусировкой из-за случайной разностно-фазовой составляющей отраженного сигнала.

В качестве примера приводятся яркостные и скоростные изображения судов в устье р. Эльба, полученные на ИРСА TerraSAR-X [3]. В заключение даются рекомендации по созданию «универсального» ИРСА для формирования яркостных и скоростных портретов морской поверхности, включая дрейфующий ледовый покров.

Данная работа была выполнена при поддержке гранта Правительства РФ (Договор №11.G34.31.0078) для поддержки исследований под руководством ведущих ученых в Российском государственном гидрометеорологическом университете, Программы Президиума РАН №23 “Динамика морского волнения в задачах дистанционного зондирования морской поверхности в прибрежной зоне”, грантов РФФИ № 12-05-92004-ННС_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Pereslegin, S. V., Sinitsyn, Yu. P.** Interference synthetic-aperture radars for routine monitoring of ocean phenomena // Radiophysics and Quantum Electronics. – 2011. – №54(6). – С. 376–389.
2. **Romeiser, R., Thompson D.** Numerical study on the along-track interferometric radar imaging mechanism of oceanic surface currents // IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. – 2000. – V.38. – P. 446–458.
3. **Gabele, M., Brautigan, B., Shulze, D., Steinbrecher, U., Tous-Ramon, N., Younis, M.** TerraSAR-X Dual Receive Antenna Mode-Channel Reconstruction and Impact on the GMTI Performance // Proc. of IGARSS-2009. IEEE. – 2009. – V.III. – P. 725–728.

II. ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ РЕСУРНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОКЕАНЕ

УДК 634.67

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ

Левченко Д.Г., Лобковский Л.И., Римский-Корсаков Н.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-87-01,
levch35@mail.ru*

Advantages and lacks of seismic signals registration at the bottom of water areas are examined. Necessity of creation of long seismological monitoring systems for areas of industrial development of the shelf and a continental slope and in the areas of high seismic and a tsunami hazard of oceans and seas is proved. Results of broadband bottom seismographs application in the expeditions of Shirshov' Oceanology Institute RAS are given. To create a naval seismological network autonomous broadband bottom seismographs with long term operation at the bottom and with operative communication via satellite or radio channels are offered to be used.

Донная сейсмическая активность, как известно, концентрируется в прибрежных зонах ряда континентальных окраин, островных дуг и срединных океанических хребтов. Катастрофические морские землетрясения и сопровождающие их цунами, которые произошли в последние годы и привели к многочисленным человеческим жертвам и экономическим потерям, заставляют признать, что простое увеличение количества наземных сейсмографов не приводит к заметному прогрессу в области прогноза землетрясений и что динамика процессов, происходящих в недрах Земли в конкретном регионе, остается по-прежнему неизвестной. В связи с таким положением, на наш взгляд, необходимо существенно расширять области исследований: распространять сейсмологическую сеть в районы, где ожидаются и происходят сильные землетрясения и цунами, проводить комплексные изучения различных геофизических и гидрохимических параметров с целью выявления возможных прогнозных признаков для конкретных регионов.

Следует признать, что накопление огромного количества упругой энергии в недрах Земли в зоне готовящегося землетрясения неизбежно должно сопровождаться определенными внешними признаками, в том числе изменениями геофизических полей: сейсмического, теплового, магнитного, электрического. Сложности состоят в том, что эти признаки слабо проявляются на поверхности Земли по сравнению с мешающими факторами и специфичны для различных регионов. К таким признакам, на наш взгляд, относятся, в первую очередь, особенности пространственного и временного распределения гипоцентров слабых ($M < 2$) землетрясений в районе ожидаемого сильного землетрясения («сейсмической бреши»).

Другим перспективным направлением краткосрочного прогноза является на наш взгляд мониторинг состава придонных вод в районе ожидаемого сильного морского землетрясения. Повышение внутрикорового давления перед наиболее опасными неглубокими сильными землетрясениями сопровождается, как правило, истечением газов и флюидов, которые меняют физико-химические параметры придонных вод. Подобные эксперименты проводились организацией «Камчатнедра» в районе Авачинской бухты на Камчатке с 1987 по 1995 годы и дали положительные результаты.

В 1996 году в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН по договору с МЧС РФ была разработана донная обсерватория для длительного мониторинга состава придонных вод в этом районе с оперативной связью с берегом по радиоканалу. В 1997 году обсерватория прошла успешные натурные испытания в Авачинской бухте и была принята в опытную эксплуатацию [1].

В августе 1999 г. был получен успешный прогноз землетрясения средней магнитуды ($M = 4.5$, $H = 35$ км), эпицентр которого находился в Авачинском заливе на расстоянии 50 км от г. Петропавловск-Камчатский. За 4-5 дней до момента землетрясения начали существенно меняться температура, среднее давление, скорость звука в воде и кислотность pH. Изменение среднего давления происходило, на наш взгляд, вследствие изменения плотности придонного слоя воды.

В связи с активным освоением шельфа для нефте- и газодобычи, прокладкой подводных трубопроводов и кабелей связи донные землетрясения и провоцируемые ими явления (оползни, мутьевые потоки и др.) становятся чрезвычайно опасными как для самих морских сооружений, так и для экологии региона в целом. Необходимо, также, отметить возможность появления наведенной сейсмичности при извлечении больших объемов нефти и газа из земных недр. Поэтому сейсмологиче-

ское обеспечение морских нефте- и газодобывающих комплексов и других крупных подводных сооружений представляется совершенно необходимым [2].

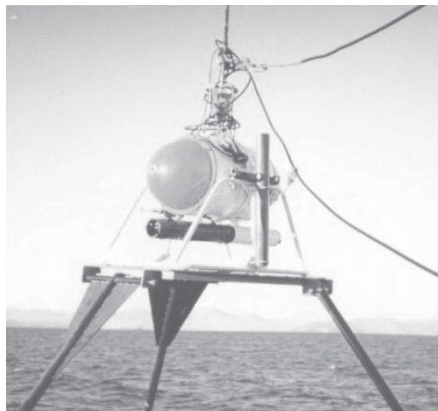


Рис. 1. Обсерватория ИО РАН (Камчатка, 1998 г.)

В настоящее время широкополосная сейсмологическая сеть развернута на всех континентах и на некоторых островах. Однако морских широкополосных сейсмографов в настоящее время практически не имеется. Наземные сейсмографы регистрируют сигналы сильных морских землетрясений с большими искажениями при их распространении на значительные расстояния, а сигналы слабых морских землетрясений не регистрируются вовсе, координаты гипоцентров и энергетические характеристики морских землетрясений при этом определяются с существенными ошибками. По этой причине не удастся адекватно оценивать геотектонические процессы, происходящие на Земле во всем их единстве и многообразии. Практически не исследовано глубинное строение океанической коры и верхней мантии. Недостаточно сведений о сейсмических процессах, происходящие в зонах субдукции континентальных окраин и в области срединных океанических хребтов. В связи с изложенным создание океанической сейсмологической сети представляется совершенно необходимым. Однако развертывание такой сети наталкивается на ряд существенных научно-технических, методических и экономических трудностей.

Поскольку постановка станций на дно и их работа производятся без непосредственного участия людей, необходимо обеспечить их высокую

надежность в течение длительного срока эксплуатации. Станции должны иметь прочные корпуса для защиты аппаратуры от давления на глубине и от ударов о борт судна и о твердое дно при постановке.

Необходимо также отметить методические проблемы, появляющиеся при регистрации сейсмических сигналов на дне. К таким проблемам относятся: возможные искажения при установке сейсмографа на мягком дне, помехи от придонных течений, особенности распространения сейсмических сигналов и микросейсм в океанической среде.

Важной проблемой является обеспечение длительного энергетического питания станции и оперативной связи для передачи данных и команд управления. Кардинальным решением является использование для этих целей подводных кабелей, однако стоимость морских стационарных кабелей чрезвычайно высока.

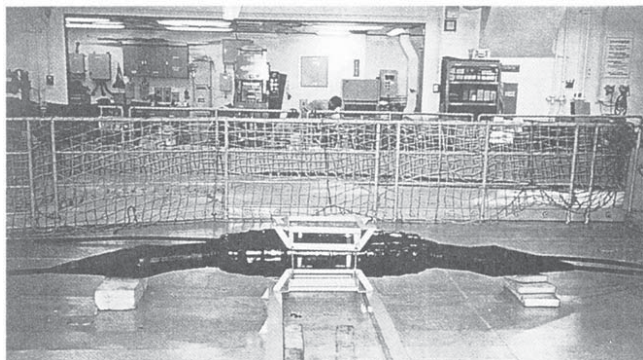


Рис. 2. Японский кабельный донный сейсмограф
(проект «Venus», 1997 г.)

Перспективным направлением представляется использование уже проложенных связанных донных кабелей, которые в настоящее время не используются по прямому назначению (Проекты "Poseidon", «Venus», Япония). Однако и такие работы требуют значительных капиталовложений. Кроме того, надежность старых кабелей при их подъеме и повторной укладке крайне низка [3].

Многие сейсмологи возлагали большие надежды на использование донных скважин для размещения сейсмографов. Ожидалось, что удастся исключить влияние придонных течений и надежно закрепить сейсмограф в твердом дне под слоем мягких осадков. Для скважин разрабатывались специальные сейсмографы и их установка производилась с по-

мощью обитаемых подводных аппаратов и роботов. Ниже показаны результаты измерений в скважине 595В и на дне Тихого океана в районе восточнее Австралии [4].

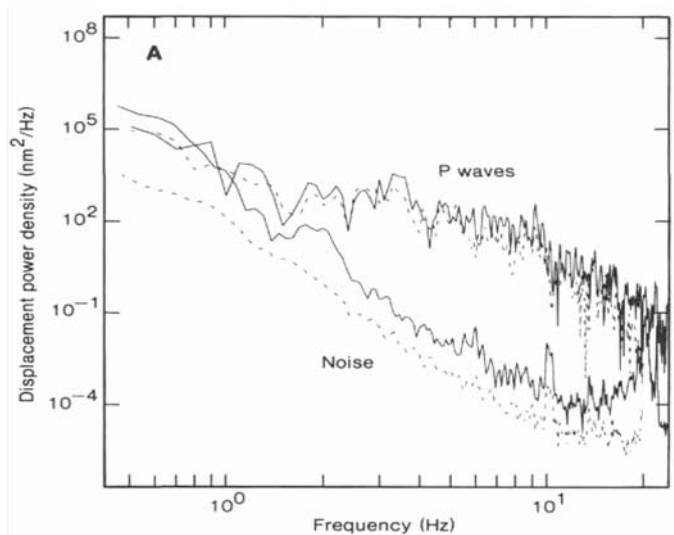


Рис. 3. Сравнительные спектры шумов и сигнала Р-волны землетрясения для донного сейсмографа (сплошные линии) и скважинного (пунктирные линии)

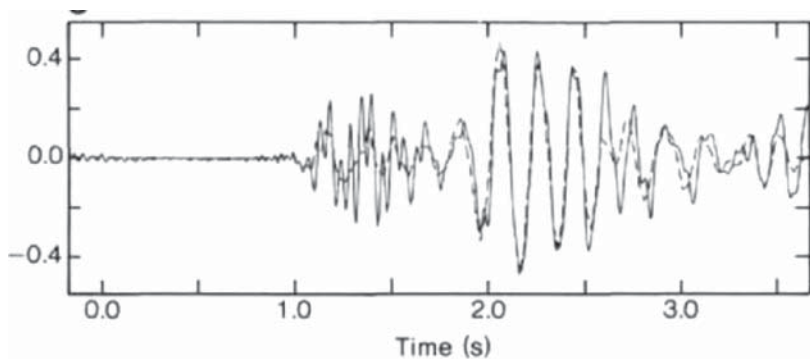


Рис. 4. Записи сигнала от испытательного взрыва донным сейсмографом (сплошная линия) и скважинным (пунктирная линия)

Ряд экспериментов показал, что уровень помех от течений в скважине немного ниже, чем у донных сейсмографов с хорошей обтекаемостью, но меньше и амплитуда сигналов землетрясений из-за большей жесткости среды и отсутствия «пограничного эффекта» дна. Из рисунка 6 следует, что сигналы от экспериментального взрыва практически совпадают при регистрации как на дне, так и в скважине. Отсюда следует малый выигрыш от использования скважинных сейсмографов, в то же время, стоимость их постановки и эксплуатации в скважине на несколько порядков выше по сравнению с использованием донного самовсплывающего сейсмографа с установкой в свободном падении.

В связи с практическим отсутствием в настоящее время стационарной морской сейсмологической сети для решения задач морской сейсмологии в ряде развитых стран используются в основном автономные донные сеймостанции (АДСС). Не решая всех сейсмологических задач, АДСС тем не менее имеют ряд преимуществ. Их высокая мобильность позволяет быстро разворачивать сеть станций практически в любом интересующем районе мирового океана. Конфигурация полигона может быть выбрана в соответствии с конкретными задачами и имеющимся оборудованием. Состав аппаратуры и параметры сейсмометров могут меняться перед каждой постановкой. Наконец, стоимость АДСС примерно на порядок ниже стоимости кабельной стационарной станции.

Существенной принципиальной трудностью является отсутствие серийно выпускаемых широкополосных и достаточно чувствительных сейсмодатчиков, пригодных для использования в донных сейсмографах. В высококачественной наземной аппаратуре в настоящее время применяются сейсμοприемники маятникового типа (фирмы Streckeisen, Швейцария и Guralp, Англия) с полосой от 0.01 до 20 Гц. Они имеют большие габариты и вес, требуют ручной установки, боятся ударов и влаги.

В широкополосных донных сейсмографах Института океанологии Российской академии наук (ИО РАН) в течение более 20 лет применялись электрохимические сейсμοприемники типа ЭХП-17 разработки Института электрохимии РАН. Основные преимущества электрохимических сейсμοприемников – малая чувствительность к ударам (до 30 g), возможность работы при любом наклоне, малые габариты и вес, экономичное питание. Известные недостатки электрохимических сейсμοприемников – некоторая зависимость параметров от температуры и внешнего давления не существенны для донных сейсмографов и в настоящее время успешно преодолеваются конструктивным путем.

В последнее время были разработаны новые широкополосные молекулярно – кинетические (разновидность электрохимических) сейсмо-

приемники типа EP105OBS в фирме EENTEC (США) и типа СМЕ411 в Центре молекулярной электроники Московского физико-технического института. Эти сейсмоприемники проходят в настоящее время экспериментальную проверку в ОКБ океанологической техники РАН и устанавливаются в новые разработки сейсмографов ИО РАН.

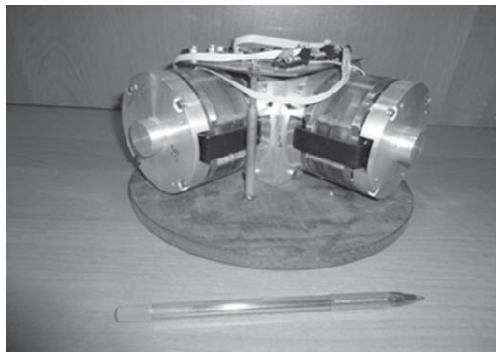


Рис. 5. Трехкомпонентный широкополосный сейсмоприемник СМЕ411 электрохимического типа

Существенные проблемы для автономных донных станций – обеспечение длительного питания и оперативной передачи информации на берег или обеспечивающее судно. Эти проблемы на наш взгляд могут быть успешно решены с использованием стабилизированных поверхностных буюв.

В 1970–1980-х годах в США и СССР были разработаны и использовались для научных экспериментов подобные буюв. Такой буюв представляет собой в первом приближении заякоренную вертикальную трубу длиной около 50 м, погруженную на три четверти в воду. Вследствие высокой остойчивости и малой парусности такой буюв даже в сильный шторм имеет малый наклон (единицы градусов) и малые вертикальные перемещения по отношению к среднему уровню моря (единицы сантиметров).

Благодаря особой системе крепления стабилизированный буюв не вращается вокруг оси, что позволяет соединять его кабелями с донными станциями. Один из таких буюв был установлен в Южном отделении ИО РАН и находился в эксплуатации в течение 10 лет (1974–1984 гг.) [2]. На буюв должны быть установлены волновой или ветровой генератор, солнечные батареи и спутниковый или радио ретранслятор.



Рис. 6. Стационарный стабилизированный буй

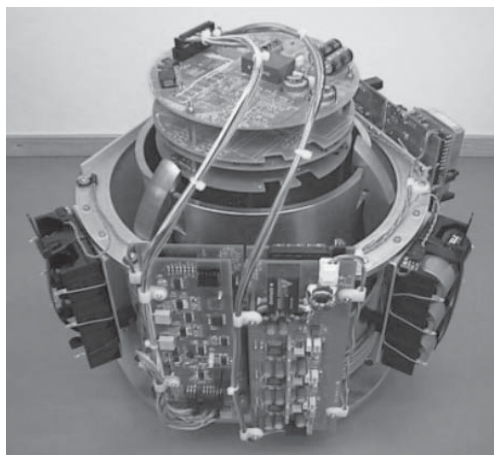


Рис. 7. Сейсмоприемник фирмы Guralp CMG-1TD с автоматической настройкой

Следует отметить, что в ряде зарубежных стран (США, Япония) существует тенденция приспособления основных элементов наземных сейсмографов к работе в морских условиях. Для этого используется сложная автоматика, подводные роботы для установки приборов и замены источников питания и устройств памяти.

Однако такой путь сопряжен с существенными техническими и эксплуатационными трудностями. В качестве примера рассмотрим донный сейсмограф (типа МОВВ), помещенный в специальный футляр, заглубленный в дно залива Монтерей (США, Калифорния) в 2002 г. Сейсмологической лабораторией Калифорнийского университета (г. Беркли, США) [5].



Рис. 8. Установка на дно сейсмографа МОВВ с помощью подводного робота

В сейсмографе используется маятниковый сейсмоприемник электромагнитного типа, разработки фирмы Guralp (Англия), с автоматической установкой по азимуту и юстировкой по вертикали .

Сейсмограф МОВВ находится в эксплуатации с 2002 г. по настоящее время. С его помощью были зарегистрированы местные и удаленные землетрясения, а также уровень местных шумов. Оказалось, что помехи, вызванные сильными в этом месте приливными течениями, имеют весьма высокий уровень, существенные микросейсмы возбуждаются также штормовыми волнами.

В Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН донные сейсмологические исследования с помощью АДСС выполняются с 1979 года. Для их проведения использовалась аппаратура собственной разработки. Существенные результаты были получены при разработке и применении широкополосных автономных донных сейсмографов (ШАДС) с полосой регистрации от 0,003 Гц до 20 Гц [6].

На дне ряда акваторий были получены уникальные записи: сигналы местных и удаленных землетрясений, микросейсм, сейшевых колебаний, сотрясений от подводных оползней и др.

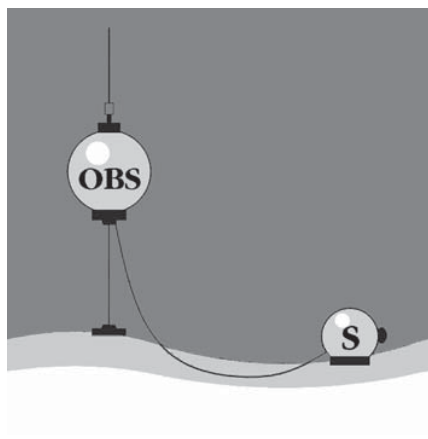


Рис. 9. Широкополосный автономный донный сейсмограф ИО РАН
(эскиз постановки на дно)



Рис. 10. Широкополосный автономный донный сейсмограф ИО РАН
для станции со стабилизированным трансляционным буем

Донные сейсмографы ИО РАН экспонировались на всемирных выставках ЭКСПО-98, (г.Лиссабон, Португалия, 1998 г.), ЭКСПО-2000 (г. Ганновер, Германия, 2000 г.), ЭКСПО-2005 (г. Нагоя, Япония) в составе экспозиции России.

Широкополосные автономные донные сейсмографы ИО РАН совместно трансляционными буюми могут быть положены на наш взгляд в основу глобальной морской сейсмологической сети.

Развитие морской сейсмологической сети, по нашему мнению, следует начинать по региональному принципу с так называемых “горячих точек”. В первую очередь, это относится к районам освоения морских нефтегазовых месторождений. В России это Баренцево, Печорское и Карское моря на севере, Черное и Каспийское – на юге, Охотское – на востоке. При этом кабельные донные сейсмографы могут быть интегрированы в сеть экологического мониторинга, которая должна развертываться вокруг каждой буровой или добывающей платформы. Кроме слежения за сейсмической активностью, в том числе и вызванной перераспределением тектонических напряжений при добыче, такая сеть может выполнять и другие задачи, например, доразведки месторождения, оценки запасов и др. Размещение пункта сбора данных на платформе обеспечит оперативность передачи информации и необходимые условия для ее обработки [2].

Другие районы преимущественного развертывания локальных сейсмологических сетей должны находиться в области “сейсмических брешей”, где ожидаются сильнейшие морские землетрясения и возможные цунами. Такие районы находятся, например, в Авачинском заливе Камчатки, в южной и центральной частях Курильских островов. В связи со значительным удалением от берегов здесь следует устанавливать долговременные автономные донные станции с оперативной передачей экспресс-информации. Основными приборами таких станций должны быть широкополосный сейсмограф и сейсмограф сильных движений, устройство оперативного анализа данных и система связи через спутниковый или радио каналы.

Учитывая изложенное, можно утверждать, что создание стационарной морской сейсмологической сети, приближающейся по основным метрологическим характеристикам к наземной, может быть выполнено на основе автономных донных сейсмографов и стабилизированных буев в обозримые сроки при приемлемых экономических затратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов В.А., Левченко Д.Г., Утяков Л.Л., Шехватов Б.В. Гидрохимическая донная станция для регистрации краткосрочных предвестников морских землетрясений // Океанология. 2000. Т.40, № 3. С.456–467.
2. Лобковский Л.И., Левченко Д.Г., Леонов А.В., Амбросимов А.К. Геоэкологический мониторинг морских нефтегазоносных акваторий. М.: Наука, 2005. 325 с.
3. Kasahara J., Toshinori S. Broadband seismic observation in VENUS project / Int. Worksh. Sc. Use Subm. Cabl. Okinawa, Japan. 1997. P.126–130.

4. Shearer P.M., Adair R.G., Orcutt J.A., Jordan T.H. Simultaneous borehole and bottom seismometer recordings of earthquakes and explosions: results from the 1983 Ngendei experiment at deep sea drilling project hole 595B. Report Script Inst. Ocean. P. 9. 1985. P. 377-383.

5. **Romanovich B., Ctakes D., Dolenc D., Neuhauser D., McGill P., Uhrhammer R., Ramirez T.** The Monterey Bay broadband ocean bottom seismic observatory // Ann. Geoph. 2006. V. 49. № 2/3. P.607-622.

6. **Левченко Д.Г.** Особенности конструирования широкополосных донных сейсмографов // Океанология. 2001. Т. 41, № 4. С.613–626.

УДК 550.834 + 552.143

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ ЗВУКОВЫХ ВОЛН В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Лужецкий В.Г.

*Институт вычислительной математики и
математической геофизики СО РАН
пр. Лаврентьева, 6, 630090, г. Новосибирск,
тел. (383)330-64-67, lug@omzg.sccc.ru*

In shallow water areas have been experimentally determined the velocity of transverse sound waves, which are much higher than the velocity of longitudinal waves. It was found a significant increase in the transverse velocity of multiples, the reason for this phenomenon is not clear, more researches are needed.

При изучении скоростей осадконакоплений в глубоководных озерах (Байкал и Телецкое) мы столкнулись с интересным явлением. Приемники сейсмосигналов регистрировали отраженные от слоев сигналы, возникающие в слоях-резонаторах при ударном воздействии на них звуковой волны. При этом возникали звуковые поперечные волны, которые распространялись вдоль осадочных структур с весьма незначительным затуханием. Для проверки этого явления осенью 2011 г. мы провели ряд экспериментов на трех озерах Новосибирской области (Линево, Круглое, Светлое), Бердском заливе и пруду.

При проведении экспериментальных работ использовали разработанный нами высокоразрешающий геопрофилограф, который обеспечи-

вал генерацию продольных звуковых волн, одноканальный прием отраженных сигналов и их регистрацию в цифровом виде в электронную память. В качестве излучателя использовался электродинамический источник (бумер), генерирующий звуковые волны в диапазоне 4–8 кГц с энергией излучения 100–300 Дж. Дополнительно комплекс был оснащен двумя радиостанциями.

Технология работ состояла в следующем. Вначале в стационарной точке с помощью груза, опускаемого на дно, на поверхности воды устанавливался двухканальный приемный блок (для регистрации сигналов от гидрофона и радиопередатчика), затем измерялась глубина воды с помощью эхолота и засекались спутниковой системой координаты этой точки. Радиопередатчик с геопрофилографом размещались на весельной лодке. После чего начинался сам процесс профилирования, при этом для отметки времени на радиоприемник стационарной точки каждый раз подавался радиопередатчиком сигнал в момент начала возбуждения звуковой волны. В нескольких точках профиля после ручной записи в журнал координат подавался дополнительный сигнал в радиопередатчик, что позволило в камеральных условиях определять местоположения точки на временных разрезах трасс сейсмопрофилей и вычислять скорости распространения поперечных волн.

По нашему представлению, в момент прихода от излучателя на дно очень короткой звуковой волны (длительностью менее 1 мс), в донных слоях возникают колебания, и возникшие поперечные волны с малым затуханием начинают распространяться по этим слоям в разные стороны, в том числе и вдоль нашего профиля. Эти волны регистрируются стационарно установленным сейсмоакустическим приемником.

Скорость распространения поперечной звуковой волны при многократных отражениях V_K может быть определена как:

$$V_K = L / (T_K - (H_{cm} + H_{из}) / 1430 - 2 H_{из} (K - 1) / 1430),$$

где L – расстояние (измеренное с помощью GPS) по прямой линии между стационарным приемником и положением излучателя в известной точке; T_K – время между началом синхроимпульса и передним фронтом соответствующей кратной волны, измеренное на сейсмограмме; H_{cm} и $H_{из}$ – глубины воды соответственно на стационарной точке и под излучателем; 1430 м/с – скорость звука в пресной воде; K – номер кратной волны.

На рис. 1 приведены графики вычисленных скоростей волн первой кратности в зависимости от расстояний (удалений) для трех водоемов. Появление изгиба у кривой на пруду связано с изменением направления профилирования, а на бердском профиле изгиб обусловлен пересечением старого ложа реки Бердь. Наблюдается очень интересная картина на

линевском озере, где видны существенные изменения скоростей на участках, пространственное расположение которых представлено на составленной нами и приводимой в докладе батиметрической карте.

На рис. 2 для линевого озера изображены временные разрезы одновременно зарегистрированного профиля, один из разрезов получен с помощью сейсмоприемника, расположенного рядом с излучателем (рис. 2а), а второй – стационарного сейсмоприемника (рис. 2б). На обоих профилях время (по вертикали) равно 50 мс, а длина профиля составляла 370 трасс.

Для примера, на рис. 2б мы выделили начала фронтов шести кратных волн отраженных от дна, тогда как на том же временном участке (рис. 2а) уместилось всего только двукратное отражение, а это свидетельствует о том, что скорости поперечных волн в осадках имеют очень высокие значения. Так, например, на линевом озере отношение кратных скоростей $V_{6к}/V_{1к}$ составили значения 2,8 и 1,9 соответственно для точек 2 и 3 (рис. 1). В бердском заливе в середине ложа реки это отношение было около 1,5.

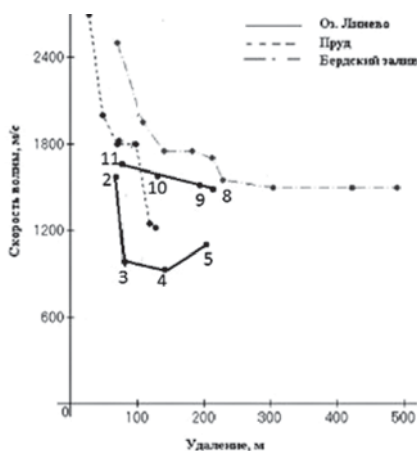


Рис. 1. Графики скоростей поперечных волн для трех водоемов

Аналогичные увеличения скоростей кратных волн наблюдались на всех водоемах. Физические причины происхождения такого большого разброса скоростей кратных волн нам пока не известны. Резкое увеличение скоростей кратных волн мы наблюдаем только при малых глубинах воды, а на больших глубинах это эффект отсутствует. Необходимо

тщательное изучение обнаруженного явления в различных акваториях, включая моря и океаны. Первые предварительные результаты по измерению скоростей поперечных волн на Телецком озере мы получили в 2012 г. и они нас очень удивили, скорости оказались настолько высокими, что мы не поверили полученным данным и запланировали повторить эксперимент в этом году.

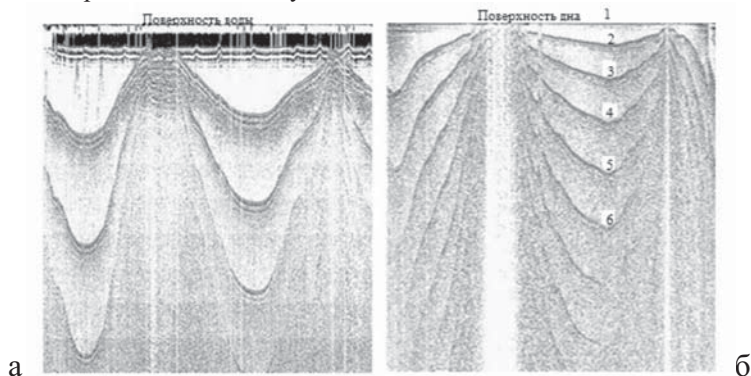


Рис. 2. Временные разрезы на линевском озере для одного и того же профиля, но при разных расположениях сейсмоприемников: а – рядом с излучателем; б – на стационарной точке

Интересен и тот факт, что полученные нами значения скоростей поперечных волн имеют большие значения, в то время как геофизики утверждают, что скорости поперечных волн всегда меньше скоростей продольных волн (почти в 2 раза), а в нашем случае – совсем иная картина. А на вопрос, почему так происходит – пока ответа нет.

Поперечные волны мы используем при анализе данных в разработанном нами «бескernовым» методе определения возраста донных осадков на основе высокоразрешающих сейсмоакустических профилей и датировок ледовых кернов антарктических станций «Восток» и «ЕРСА».

Резонирующие свойства донных слоев наблюдаются всегда, но наиболее наглядно мы это увидели на сеймопрофилях, полученных на Посольской банке Байкала. Присутствие слоев-резонаторов в донных отложениях приводит нас к выводу о том, что широко применяемый при моделировании в геофизике лучевой метод здесь не работает. Конечно, эта гипотеза требует теоретических обоснований и в этой связи наш доклад преследовал и цель – привлечь внимание специалистов к совместному дальнейшему изучению этой очень интересной проблемы.

СИНХРОННАЯ ГИДРОЛОКАЦИОННАЯ И ВИДЕО СЪЕМКА ПРИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОМ КАРТИРОВАНИИ ДНА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

**Римский-Корсаков Н.А.¹, Пронин А.А.¹, Белевитнев Я.И.¹,
Коротаев В.Н.², Иванов В.В.²**

*¹ Учреждение Российской академии наук Институт океанологии
им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Нахимовский 36, Москва, Россия,
+7(499)1247987, nrk@ocean.ru*

*² МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, 119991,
ГСП-1, Ленинские горы, Москва, Российская Федерация, +7(495)-939-
22-38, факс: +7(495)-932-88-36, info@geogr.msu.ru*

The operational interpretation effectiveness of sonar images can be significantly improved with the help of surrounding coastland and water surface video observation synchronous with sonar data flow.

Современная геоморфологическая съемка дна акваторий, в том числе русел рек и прибрежных областей ведется методами эхолотирования и гидролокации бокового обзора. Получаемые способом гидролокации изображения подводного рельефа нуждаются в интерпретации. Существует ряд способов интерпретации гидролокационных изображений, наиболее эффективным из которых является сравнение получаемых изображений с гидролокационными изображениями изначально известных форм рельефа, собранных в соответствующих каталогах [1, 2].

Однако даже при наличии каталогов гидролокационных изображений, интерпретация вновь получаемых данных затруднена многообразием форм подводного рельефа, а также существенным отличием изображений одних и тех же форм, полученных при гидролокационной съемке с различных ракурсов.

В частном случае интерпретации гидролокационных изображений поверхности дна прибрежной зоны акваторий и русел рек, может быть использован тот факт, что формы подводного рельефа генетически связаны с береговыми геологическими структурами.

Первоначально сравнение береговых и подводных форм рельефа велось путем записи в экспедиционном журнале попутных наблюдений с привязкой ко времени. Позже стало использоваться фотографирование

характерных береговых форм и геологических структур. Существенно повысить эффективность оперативной интерпретации гидролокационных изображений позволяет синхронная с гидролокационной видеосъемка берега и окружающей водной поверхности. Оператору гидролокатора не требуется при этом производить визуальный обзор берега, его фотографирование и запись комментариев в журнал наблюдений. Запись гидролокационных изображений и видеоизображений ведется в привязке к единому времени GMT, которое синхронизировано с навигационной информацией, получаемой с помощью космических систем глобального позиционирования GPS и ГЛОНАСС.



Рис. 1. Функциональная схема системы сбора гидролокационной информации с параллельной видеосъемкой структур берегового рельефа

Таким образом формируется электронный видеожурнал наблюдений береговых форм рельефа. Особенно актуален такой способ ведения съемок в экспедициях с ограниченным составом участников и с использованием маломерных плавсредств. Функциональная схема сбора гидролокационной информации с одновременной видеосъемкой береговых ландшафтов представлена на рисунке 1.

Оперативная интерпретация данных гидролокатора использовалась при геоморфологическом картографировании дна рукавов в дельте Волги в 2010–2012 годах в ходе выполнения проекта РФФИ 10-05-00236. На рисунке 2 приведено гидролокационное изображение участка дна рукава Бахтемир в дельте Волги в районе пересечения бэровского бугра, сложенного в основании горизонтальнослоистыми шоколадными верхнехвалынскими морскими глинами.

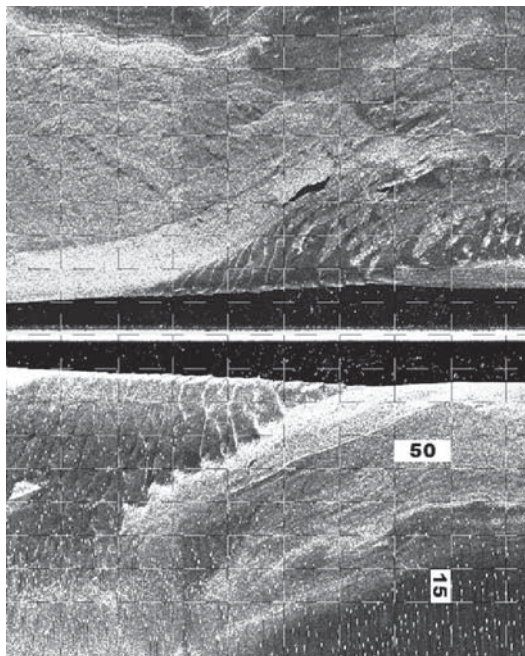


Рис. 2. Гидролокационное изображение участка дна рукава Бахтемир в месте пересечения Бэровского бугра. Вверху и внизу глинистые отмели.

В центре песчаные гряды, сформированные современными осадками

В стрежневой зоне рукава регистрируются современные осадочные отложения, которые маркируются песчаными грядами. При рассмотрении фрагмента видеозаписи (рис. 3), сделанной синхронно с гидролокационной съемкой, становится понятно, что дно рукава слева и справа от стрежня потока сложено глинистыми отмелями, выработанными в подводной части бэровского бугра.



Рис. 3. Фрагмент видеозаписи с изображением обрывистого берега в районе с. Сергеевка, образовавшегося при размыве бэровского бугра

ЛИТЕРАТУРА

1. **Римский-Корсаков Н. А., Пронин А. А.** О методологии исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами Учреждение Российской Академии наук Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН. – М., 2010. – 62 с. Библиогр.: 20 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ 22.12.10, №718-B2010.

2. **Римский-Корсаков Н. А., Пронин А. А.** Идентификация подводных объектов, обнаруженных в ходе исследования дна водоемов гидролокационными методами. – В сб. Современные методы и средства океанологических исследований. Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ 2011»: в 2 т. – М.: АПР, 2011. Т.2. с.72–77.

АЭРОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ ИФЗ РАН В АРКТИКЕ

Конешов В.Н.¹, Абрамов Д.В.², Клевцов В.В.³, Макушин А.В.⁴

*1 Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта РАН
ул. Б. Грузинская, 10 стр. 1, 123995, г. Москва
8(499)254-23-35, slavakoneshov@hotmail.com*

*2 Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта РАН
ул. Б. Грузинская, 10 стр. 1, 123995, г. Москва
8(916)643-87-64, mikrogal@yandex.ru*

*3 Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта РАН
ул. Б. Грузинская, 10 стр. 1, 123995, г. Москва
8(499)254-23-35, vklevtsov@rambler.ru*

*4 Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта РАН
ул. Б. Грузинская, 10 стр. 1, 123995, г. Москва
8(916)525-22-03, malexeum@yandex.ru*

Results of specification of anomalies of a gravitational field of the Arctic by means of a young way of obtaining information – aerogravimetric survey are presented in the paper. Options of installation of different type of aero gravimetric complexes aboard – laboratories and methodical receptions of performance of work are considered. Results of aero gravimetric survey in the Arctic on the total area of 170000 square kilometers are presented.

В течение пятидесяти лет в ИФЗ РАН выполняются работы по созданию аппаратуры и методических приемов для выполнения гравиметрических съемок с подвижных носителей (рассматриваются три среды – на суше, в полете, на поверхности моря и под водой). Работы проводились и продолжают выполняться для нужд Министерства обороны РФ, а также по отдельным контрактам.

При изучении аномалий гравитационного поля Арктики в настоящее время нет альтернативы, кроме как выполнение съемок с самолетов-лабораторий, на борту которых установлены аэрогравиметрические комплексы [1]. Причиной для этого является то, что морские площадные съемки там выполнить нет возможности, а спутниковые методы не могут обеспечить необходимую разрешающую способность и точность съемок. Кроме того, современные модели аномалий гравитационного

поля менее всего достоверны для широт от 85 до 90 градуса северной широты.

В период с 2006 по 2012 г.г. один из базовых методов гравиметрической съемки – аэрогравиметрический – был активно задействован для проведения учеными ИФЗ РАН исследований по заданию МО РФ в высоких широтах, в частности, в восточной части Баренцева моря, западной части и центральной части Карского моря и архипелага островов Новой Земли. Общая площадь, на которой были выполнены аэрогравиметрические съемки, составила 170 000 квадратных километров. Ранее на эти районы не существовало гравиметрических карт.

Выполнение аэрогравиметрических съемок в Арктике имеет ряд особенностей, обусловленных спецификой работы гравиметров в высоких широтах, потребностях в использовании специальных самолетов-лабораторий для проведения съемок и обработкой сигналов GPS в высоких широтах.

Выбранные самолеты в качестве самолетов-лабораторий должны иметь дополнительные баки с горючим, иметь низкую скорость на съемочных профилях и должны быть перепланированы с целью дооборудования отдельным помещением под гравиметрическую лабораторию. Данная лаборатория должна:

- находиться в виде отдельного замкнутого объема для удобства его отдельного термостатирования внутри самолета;

- лаборатория должна быть вблизи метacentра самолета-лаборатории;

- для уменьшения термоударов от разной температуры обшивки самолета-лаборатории в полете и на стоянке необходима пассивная термоизоляция салона гравиметрической лаборатории;

- антенны GPS должны находиться на минимальном расстоянии от аэрогравиметрических комплексов и быть вынесены от фюзеляжа самолета-лаборатории;

- внутри лаборатории в местах крепления аэрогравиметрических комплексов должна быть предусмотрена отдельная вибрационная защита, рассчитанная с учетом массы установленных аэрогравиметрических комплексов.

За время проведения аэрогравиметрических работ в ИФЗ РАН были проанализированы варианты эксплуатации разных аэрогравиметрических комплексов. Сравнение на борту самолета разных конструкций позволило оценить возможности каждого из комплексов и выбрать наиболее оптимальную схему установки трех относительных аэрогравиметрических комплексов на борту самолета-лаборатории.

При проведении аэрогравиметрических съемок в Арктике был накоплен некоторый опыт установки базовых станций GPS.

Проведение аэрогравиметрической съемки внесло значительные коррективы в методику выполнения гравиметрических съемок, выполняемых с относительными гравиметрами, и в методику камеральной обработки. В ходе этой обработки был создан отдельный этап экспресс оценки результатов каждого профиля и всего полета самолета-лаборатории в целом. Камеральная обработка результатов полетов также отличается от обычной методики работы с материалами измерений с относительным гравиметром. В докладе будут представлены примеры всех названных операций, результаты съемок, построенные гравиметрические карты и варианты предварительной интерпретации материалов работ.

В докладе будет сделана оценка разрешающей способности разных методов получения информации об аномалиях гравитационного поля в Арктике: морской гравиметрической съемки, авиадесантной съемки, альтиметрической и градиентометрической съемок и аэрогравиметрической съемки. Показаны пути улучшения разрешающей способности аэрогравиметрической съемки.

Отдельно будут рассмотрены пути совершенствования методики аэрогравиметрической съемки в Арктике.

Проблема высоких широт заключается в том, что в высоких широтах с приближением к полюсу ухудшается (на полярной шапке практически невозможна) выработки значений углов курса волоконно-оптическим гироскопом. Предложены способы решения этой проблемы и будут показаны предварительные результаты.

Проведение аэрогравиметрических съемок позволит получить и обобщить гравиметрическую информацию на труднодоступные приполюсные районы с целью уточнения превышений геоида над эллипсоидом, то есть уточнить фигуру Земли для высоких широт.

Литература

1. Рожков Ю. Е., Дробышев Н. В., Конешов В. Н., Погорелов В. В., Соловьев В. Н. Особенности методики аэрогравиметрической съемки, проводимой в высоких широтах// Физика Земли. 2009. №8. с. 36–41.

**30 ЛЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИРОДЫ ТЕЧЕНИЙ В ОКЕАНАХ,
МОРЯХ И ОЗЕРАХ**
(История поисков, размышлений, заблуждений, открытий)

Щевьев В.А.

*Институт водных проблем РАН
119333 Москва, ул. Губкина, д. 3. Тел. 499-135-73-80*

We present the results of field investigations currents in the oceans, seas and lakes in 30 years.

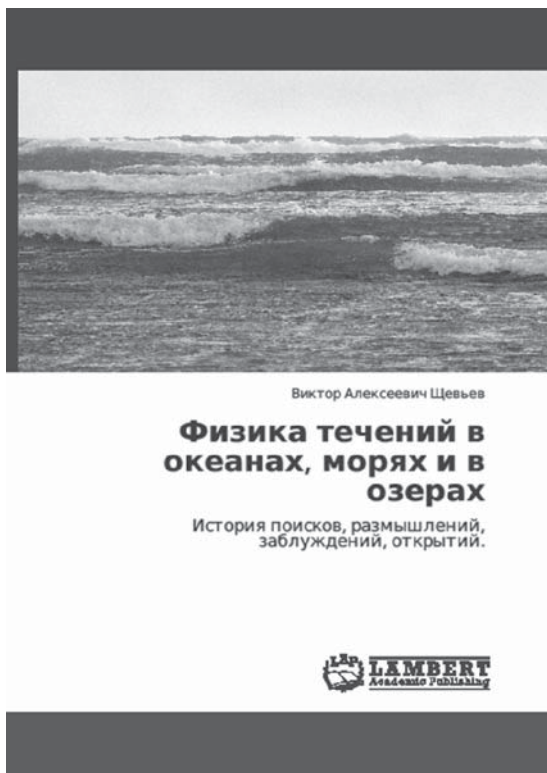
Сотрудники ИВП РАН с 1981 г. по настоящее время занимались исследованиями природы течений в океанах, морях и озерах. Результаты были опубликованы, защищены диссертации, и появилось желание подвести итоги, написать книгу. Мы начинали с исследований течений Северного и Среднего Каспия, которые организовал Альберт Леонидович Бондаренко. Эти исследования описаны в главе 1.

Основные результаты этих исследований.

1. Роль ветровых течений в динамике моря ограничена 5%.
2. Основная энергия течений принадлежит волнам Россби и инерционным волнам.
3. Результирующее движение волн Россби образует крупномасштабную квазипостоянную циклоническую циркуляцию.
4. Роль термохалинных течений сильно завышена.
5. Разработаны и применены методы исследования различных процессов в море, позволяющие выявить закономерности течений ветровых, термохалинных, квазипостоянных циркуляционных, длиннопериодных волновых, инерционных.

Впоследствии мы перешли от исследований течений Каспийского моря к исследованиям отдельных видов течений в других морях и в крупных озерах по опубликованным данным. Это значительно расширило базу экспериментальных данных для анализа, и позволяло выявить особенности этих течений в водных объектах разных размеров и в разных географических зонах (Гл. 2).

Ветровым течениям посвящена третья глава. Показано, что сомнения в справедливости теории Экмана возникали давно, но они замалчивались. Ближе к действительности является гипотеза Е. Г. Никифорова.



В четвертой главе показано, что гипотеза о значительном вкладе термохалинных течений в динамику моря принята без всяких оснований, на основе умозрительных рассуждений. Вопрос: «Являются ли течения результатом разности плотности воды, или напротив, разность плотности является результатом действия течений?» решили бездоказательно в пользу первого предположения.

В главе пятой показано, что основные крупномасштабные циркуляции в океанах и морях есть результирующее движение длиннопериодных волновых течений. Показано, что наиболее вероятной причиной образования и существования крупномасштабных циркуляций в океанах, морях и крупных озерах является воздействие приливообразующих сил Луны и Солнца на водную массу.

В главе шесть рассматриваются закономерности изменчивости приливообразующих сил Луны и Солнца.

Глава семь посвящена инерционным течениям Каспийского моря.

В главе восемь даны общепринятые представления о явлении Эль-Ниньо-Ла-Нинья, и представления А. Л. Бондаренко, который показал функциональную зависимость температуры морской воды от амплитуды изменчивости волновых течений (волн Россби).

В главе девять показана роль различных видов течений в экологии океанов, морей и озер.

В главе десять представлены методические и методологические результаты исследований природы течений в океанах, морях и в озерах.

В главе одиннадцать излагается теория (основные закономерности) образования и существования течений в океанах, морях и озерах.

Глава двенадцать посвящена социологическим аспектам научных исследований.

В заключении показано, что по любому из рассматриваемых вопросов существует, по крайней мере, два мнения (а зачастую и больше). Так, наряду с широко распространенными традиционными представлениями о течениях (геострофические, ветровые (экмановские), термохалинные) существуют представления о волновой природе течений (С. С. Лаппо), о том, что основные крупномасштабные циркуляции (антициклонические и циклонические) в океанах, морях и в крупных озерах образованы действием приливообразующих сил Луны и Солнца на водные массы (И. Кант; А. С. Монин, Ю. А. Шишков; П. Ле Блон, Л. Майсек), о преимущественно волновой природе (не дрейфовой) ветровых течений (Е. Г. Никифоров), о незначительной роли термохалинных течений (Агафонова Е. Г., Галеркин Л. И., Монин А. С.). Великий русский математик А. Н. Колмогоров говаривал своим ученикам: «Если вы хотите сделать математическую модель какого-либо сложного гидрофизического явления, вы должны сначала найти личность, которая знает, как это явление происходит в действительности». В предлагаемой книге собраны результаты работы многих исследователей, которые и являются подобными личностями.

Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG
Heinrich-Bocking-Str. 6-8, 66121 Saarbrücken, Germany Телефон +49 681 3720-310, Факс +49 681 3720-3109

E-mail: info@lap-publishing.com

Напечатано в России ISBN: 978-3-8484-1929-6

АВТОРСКОЕ ПРАВО ©2012 принадлежат автору и LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG и лицензиарам Все права защищены. Saarbrücken 2012.

ЛИТЕРАТУРА

Щевьев В. А. Физика течений в океанах, морях и в озерах. Издательство LAMBERT academic Publishing. Saarbrücken, Germany. 2012. 312 с.

Сокращенный вариант:

Щевьев В.А. Физика течений в океанах, морях и в озёрах.

<http://www.randewy.ru/gml/shev5.html>

УДК 551.46

ЛУНА И СОЛНЦЕ – ДВИГАТЕЛИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЦИРКУЛЯЦИЙ В ОКЕАНАХ, МОРЯХ И В КРУПНЫХ ОЗЕРАХ

Щевьев В.А.

Институт водных проблем РАН

119333 Москва, ул. Губкина, д. 3. Тел. 499-135-73-80

Studies of I Kant, Monin A. S., Shishkov Yu. A., Dobrolyubov A. I., Le Blon, P., L. Maysek, Egbert G. D., Ray R. D, Wunch C. showed that the most likely cause of the formation and existence of large-scale circulation patterns in the oceans, seas and large lakes is the action of tidal forces of the Moon and the Sun.

Ю. де Тессан, инженер–гидрограф (1844 г.) говорил следующее: «Обобщая, можно сформулировать следующим образом результаты наблюдений: имеются холодные течения, направленные от полюсов к экватору вдоль западных берегов континентов; холодные течения, направленные с востока на запад вдоль экватора; теплые течения, направленные от экватора к полюсам вдоль восточных берегов континентов.

Это общее распределение теплых и холодных течений можно было бы предвидеть заранее, учитывая действие солнечного прогрева и влияние вращения Земли на водные массы Земного шара. Вследствие этого вращения и переноса воды от полюсов к экватору, около экватора должно образоваться течение, направленное с востока на запад, как это имеет место в атмосфере и по той же самой причине. Такое течение должно обязательно создать приток вод к восточным берегам континентов и отток от их западных берегов; при этом оно должно создать поступление полярных вод к экватору и, наоборот, перенос экваториальных вод к полюсам на восточных берегах тех же континентов.

Итак, мы имеем перед собой прекрасную, но трудно поддающуюся разрешению задачу механики, заключающуюся в определении всех характеристик движения вод морей под воздействием солнечного тепла и вращения Земли» [1]. Исходя из этого высказывания, можно заключить: Ю. де Тессан предполагал, что основной движущей силой течений является термохалинный фактор.

За 100 лет до Ю. де Тессана И. Кант предположил, что приливообразующие силы Луны и Солнца тащат воду вдоль экватора с востока на запад, образуя экваториальные течения, которые трением о дно тормозят скорость вращения Земли. Это показывают астрономические наблюдения. В настоящее время в таком механизме эволюции скорости вращения Земли нет никакого сомнения [2].

Broche P., Sundermann J. [7] предположили, что торможение скорости вращения Земли происходит посредством вязких вращающих моментов. Добролюбов А.И. (Институт кибернетики АН Белоруссии 1996 г.), исходя из общего понимания физических процессов в результате воздействия ПО сил Луны на водные массы в районе экватора разработал схему циркуляционных течений в трех океанах (рис. 1).

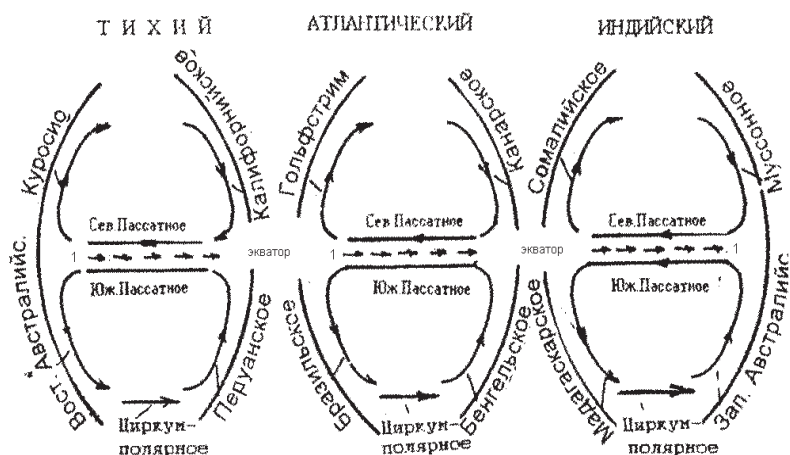


Рис. 1. Структурная схожесть крупномасштабных течений в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах (Garetskii R. G., Dobrolubov A. I. 2006)

Многочисленные наблюдения показали, что в 3х океанах существуют независимые гигантские океанские антициклонические круговороты

(Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Монин А.С.), крупномасштабные антициклонические циркуляции в северных и южных полушариях. Большинство исследователей считают, что они образованы воздействием ветра на поверхность воды в экваториальной зоне.

Е. Г. Никифоров на I съезде советских океанологов (1977) сказал: «Проблема объяснения современной циркуляции вод не может считаться удовлетворительно решенной даже на уровне качественных гипотез. Гипотезы о ветровом происхождении циркуляции вод не объясняют глубинную циркуляцию, а гипотеза о термохалинной природе циркуляции вод опирается главным образом на существующее поле плотности. Поэтому никаких выводов о природе циркуляции вод на основе расчетов, выполненных по фактическому полю плотности ...сделать так же невозможно».

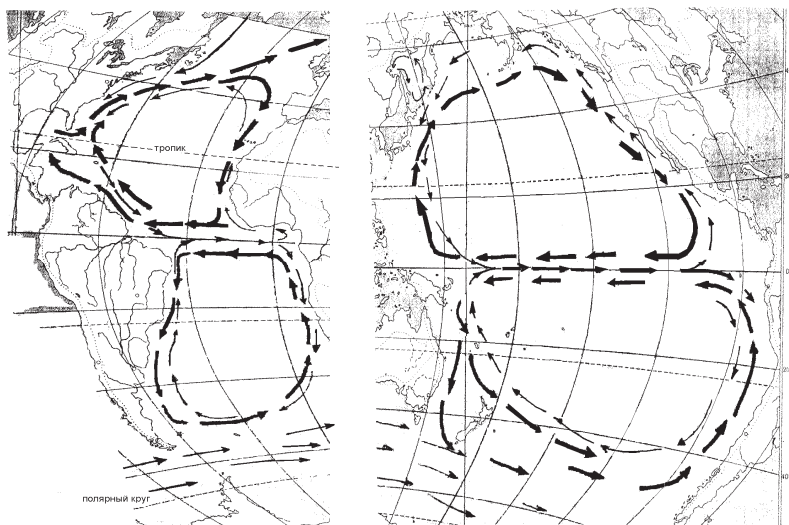


Рис. 2. Крупномасштабные антициклонические (толстые линии) и циклонические (тонкие линии) циркуляции в Атлантическом океане (слева, в Тихом океане (справа)

Наши исследования природы ветровых и термохалинных течений показывают справедливость высказывания Е.Г. Никифорова. И как показывают исследования [3, 4, 5, 6] наиболее вероятной причиной образования течений крупномасштабных циркуляций является воздействие приливообразующих сил Луны и Солнца на водные массы.

В результате ежедневного периодического воздействия приливообразующих сил Луны и Солнца на водные массы океанов **в районе экватора** образуются экваториальные течения, протекающие в западном направлении. Достигая западных берегов океанов, они растекаются в северном и в южном направлении, и дают начало крупномасштабным антициклоническим циркуляциям (по часовой стрелке в северном полушарии и против – в южном) (рис. 2, 3).

В результате ежедневного периодического воздействия приливообразующих сил на водные массы океанов **вне экватора** образуются течения циклонических крупномасштабных циркуляций, наиболее известным проявлением которых являются экваториальные противотечения (рис. 2, 3).

Аналогичные воздействия на водную массу морей и крупных озер образуют циклонические крупномасштабные циркуляции этих водоемов.

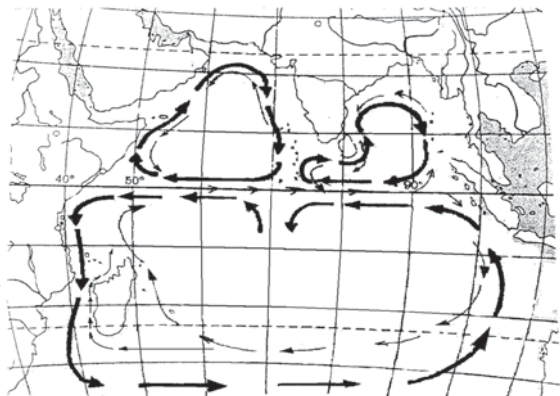


Рис. 3. Крупномасштабные антициклонические (толстые линии) и циклонические (тонкие линии) циркуляции в Индийском океане

ЛИТЕРАТУРА

1. Лакомб А. Физическая океанография. М. Мир. 1974.
2. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л. Гидрометеиздат, 1979. 408с.
3. Щевьев В. А. «Ветровые течения во внутренних морях и озерах». Электронный журнал «Исследовано в России», <http://hurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/005.pdf>

4. **Щевьев В. А.** Приливообразующие силы Луны и Солнца – причина образования длиннопериодных волновых течений в океане. Электронный журнал «Исследовано в России», 032, стр. 320–334, 2009. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2009/032.pdf>

5. **Щевьев В. А.** Природа термохалинных течений. Электронный журнал «Исследовано в России», 043, стр. 559–568, 2011.

6. **Щевьев В. А.** Физика течений в океанах, морях и в озерах. Издательство LAMBERT academic Publishing. Saarbrücken, Germany. 2012. 312 с.

Сокращенный вариант:

Щевьев В.А. Физика течений в океанах, морях и в озёрах.

<http://www.randewy.ru/gml/shev5.html>

7. **Broche P., Sundermann J.** Die Gezeiten des Meeres und die Rotation der Erde. Pure Appl. Geophys., 86, 95–117, 1971.

УДК 551.46

О НЕКОТОРЫХ НЕВЕРНЫХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕЧЕНИЙ МИРОВОГО ОКЕАНА

Бондаренко А.Л.

Институт водных проблем РАН

ул. Губкина, д. 3, 119333 Москва, Тел. 499-135-73-80

Presented research showing that the currents of long period waves fundamentally different from the gradient and drift currents, and in this case the accepted methods of measurement do not provide a representative to obtain information about them. Researchers use this information frequently get misconceptions about the currents of long-waves.

По кинематическим свойствам океанические течения принято делить на градиентные, дрейфовые и длинноволновые. У многих исследователей популярны представления о том, что в океанах абсолютно доминируют градиентные и дрейфовые течения. Применительно к этим течениям существующие методы их измерения и их интерпретации могут рассматриваться как состоятельные, т.е. они позволяют получить правильные представления о параметрах и свойствах исследуемых течений.

Однако наука располагает данными, свидетельствующими о том, что океанские течения в основном длинноволновые, т.е. сформированы

длинными волнами, получившими название волн Россби [1]. В этом случае существующие методы измерения течений и их интерпретации несостоятельны, они не обеспечивают правильных представлений о течениях, их параметрах и свойствах. Продемонстрируем это на следующих примерах.

Исследования [1] показали, что реальные долгопериодные волны в океане, названные волнами Россби, больше похожи на солитоны. Но поскольку реальные волны в океане по общепринятой терминологии — это волны Россби, то и мы будем их так называть. Здесь рассматриваются волны, и только они, для района Гольфстрима. На рис. 1а изображены линии токов волн по вертикальному сечению, проходящему через центр волны, что соответствует центру Гольфстрима. На рис. 1б изображены линии токов на поверхности океана около Гольфстрима.

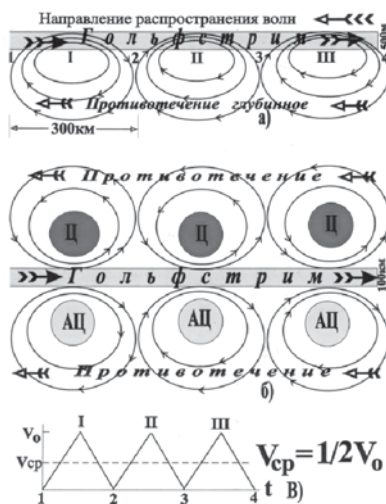


Рис. 1. Линии тока волн Россби в вертикальной плоскости, проходящей через центр Гольфстрима (а, б) и модуль скорости течения (в) а – центр волн, б – линии тока в горизонтальной плоскости у поверхности воды.

Стрелки на линиях тока – направление силы, воздействующей на частицы воды, что одно и то же – направление течений. Ц, АЦ – циклон, антициклон. Модуль скорости течения измерен стационарно установленным прибором у поверхности воды или дрифтером (рис. а) в моменты времени прохождения через них частей волн I, II, III, и т.д., 1, 2, 3, 4 и т.д. V_0 – амплитуда модуля скорости течения волны, V_{cp} – модуль средней скорости течения волны, t – время

Предположим, что производится измерение течения в фиксированной точке у поверхности воды в центре Гольфстрима, что одно и то же в центре волн. Тогда, как правило, направление течения запишется неизменным – в направлении течения Гольфстрим, а модуль скорости так, как изображено на рис. 1в. При прохождении волны через пункт регистрации точки I (см. рис. 1а) запишется максимум скорости (см. рис. 1 в), точки 2 – минимум скорости, практически равный нулю, точки II – максимум, 3 – минимум скорости, практически равный нулю и далее всё повторится. Фактически будет записана зубчатообразная кривая, похожая на изображённую на рис. 1в. Выделяются пульсации с периодом 1 – 2, 2 – 3 и т. д. Амплитуда этих пульсаций равна V_0 . Средняя величина модуля $V_{\text{ср}} = 0,5 V_0$. Обычно, когда обрабатываются натурные измерения течений, такую среднюю величину скорости течений относят к постоянным океанским течениям, переносящим массы воды в пространстве, в данном случае к Гольфстриму. Но в эксперименте мы рассматриваем только волны, а ведь волны в пространстве воды не переносят. Поэтому эту выделенную среднюю величину течения не следует относить к океанским течениям, переносящим массу воды в пространстве, а рассматривать как среднюю скорость течения в фиксированной точке.

Рассмотрим теперь вариант измерения течений дрейфтерами. Считается, что дрейфтер движется вместе с переносящей его водой. И поэтому по трассе дрейфтера обычно судят о путях движения масс воды океана. Это было бы так, если бы океанские течения были градиентными и дрейфовыми, как это считается. Но в океане доминируют не эти, а волновые течения, как мы отмечали. Всё происходит иначе, когда дрейфтером измеряются волновые течения. Мы помним, что масса воды волнами не переносится, а вращается в виде орбитальных движений частиц воды вокруг некоего положения равновесия, на месте, на рис. 1а в вертикальной плоскости. Вместе с тем, дрейфтер будет перемещаться в пространстве в направлении течения Гольфстрим пульсационно, как изображено на рис. 1в. Когда дрейфтер окажется в точке I, его скорость будет максимальной, равной V_0 , в точке II – минимальной, равной нулю, в точке три – максимальной, IV – минимальной, V – максимальной, и далее всё будет повторяться в такой же последовательности. Здесь существует два движения, происходящих навстречу друг другу: движения частиц воды волны, которые увлекают дрейфтер, и навстречу им движение волны.

Итак, присутствие долгопериодных волн в океане приводит к значительным погрешностям измерения океанских течений существующими методами.

Далее приведём некоторую информацию о движении дрейфтеров в океане без комментариев, пусть это сделают сами читатели.

Считается, и это не подвергается сомнению, что воды Гольфстрима поступают на север к берегам Европы и далее в Северный Ледовитый океан. Таким образом они обогревают Европу и Арктику.

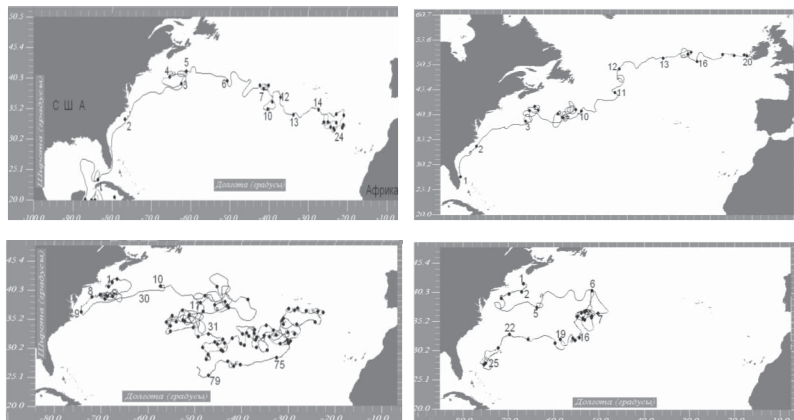


Рис. 2. Трассы дрейфтеров, запущенных в воды Гольфстрима или около него, и прошедшие через Гольфстрим. Цифры около точек: время движения дрейфтера с момента начала наблюдений в месяцах

Автором данного доклада был выполнен следующий эксперимент. Было выбрано произвольно сто трасс дрейфтеров, проходящих через Гольфстрим [1]. Приблизительно 50% дрейфтеров, покидая Гольфстрим, направлялись в сторону Африки (см. рис. 2а), 50% – “блуждали” по океану (рис. 2в, г), два дрейфтера подошли к берегам Португалии и один – Ирландии (рис. 2б). Но ни один из ста дрейфтеров не попал в Северный Ледовитый океан.

Совсем недавно, просматривая Интернет, мы обнаружили следующую интересную информацию. Сообщалось, что с 1990 по 2002 гг. в воды Гольфстрима было запущено около 400 дрейфтеров, но только один достиг области полярных круговоротов [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бондаренко А. Л.** Крупномасштабные течения и долгопериодные волны Мирового океана. Meteoweb.ru Интернет – журнал, М. 2012. 202 с. http://meteoweb.ru/articles/mono_bondarenko.pdf.

2. **M. Susan Lozier.** Deconstructing the Conveyor Belt// Scienc. 2010. V. 328. P. 1507–1511.

<http://www.oceanolog.ru/modules/news/article.php?storyid=1441>.

УДК 532.59:534.1

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В ОКЕАНЕ С ПЕРЕМЕННЫМИ И НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Булатов В.В., Владимиров Ю.В.

*Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН
пр. Вернадского, 101-1, 119526, г. Москва
8(903)722-0761, bulatov@index-xx.ru*

The paper is devoted to research of internal wave dynamics in vertically stratified horizontally non-uniform and non-stationary ocean and to development of asymptotic methods of wave field investigations.

В настоящее время наблюдается рост интереса к математическому моделированию волновых движений неоднородных природных стратифицированных сред, обусловленный проблемами геофизики, океанологии, физики атмосферы, охраны и изучения окружающей среды, эксплуатации сложных гидротехнических сооружений, в том числе морских нефтедобывающих комплексов и рядом других актуальных задач науки и техники. Доклад посвящен изложению фундаментальных проблем волновой динамики природных стратифицированных сред (океана). Исследованы основные математические модели, описывающие процессы возбуждения и распространения негармонических пакетов внутренних гравитационных волн в стратифицированных по вертикали, неоднородных по горизонтали и нестационарных средах, изложены асимптотические методы, являющихся обобщением пространственно-временного лучевого метода (метода геометрической оптики). Значительное место в докладе уделено сравнению получаемых аналитических результатов с данными натурных измерений гидрофизических полей в океане [1–3].

Внутренние гравитационные волны в океане изучаются уже достаточно давно, и по данной тематике опубликовано значительное число работ. Тем не менее, в последнее время интерес к ним в какой-то степени угасает, что можно судить по общему количеству публикаций, посвященных данной проблематике. Вместе с тем, сейчас возникают новые направления в исследовании внутренних волн, о которых ранее не говорилось. Во-первых, стало понятным, что в поле внутренних волн могут появляться аномально большие короткоживущие волны-убийцы, природа которых напоминает природу волн-убийц на поверхности моря. Во-вторых, сдвиговые течения во внутренних волнах приводят к большим изгибающим моментам на опоры нефтяных платформ, что уже приводит к деформации подводных технологических конструкций в ряде районов Мирового океана. Сейчас разрабатывается система мониторинга интенсивных внутренних волн в этом море, в какой-то мере аналогичная системе мониторинга цунами. В-третьих, внутренние волны способны вызвать транспорт донных наносов в глубоководных районах, где эффект поверхностных волн на дно минимален. Наконец, классические задачи воздействия внутренних волн на морскую поверхность по-прежнему остаются актуальными [2].

На распространение внутренних гравитационных волн в океане существенное влияние оказывают как неоднородности и нестационарности гидрофизических полей, так и изменение рельефа дна. При этом точные аналитические решения волновых задач получаются только в случае, если распределение плотности воды и форма дна описываются достаточно простыми модельными функциями. Когда характеристики среды и границы произвольны, можно построить только численные решения таких задач. Однако последнее не позволяет качественно анализировать характеристики волновых полей, особенно на больших расстояниях, что необходимо для решения, например, проблемы обнаружения внутренних волн дистанционными методами, в том числе с помощью средств аэрокосмической радиолокации. В этом случае описание и анализ волновой динамики можно осуществить на основе асимптотических моделей и аналитических методов их решения, изложенных в докладе.

Промышленная деятельность на континентальном шельфе, связанная с добычей ископаемых является важной причиной исследований внутренних волн, так как их характеристики используются для оценки волнового воздействия на окружающую среду и технологические морские конструкции. Знания о волновой динамике важны для обеспечения безопасности при строительстве и эксплуатации морских платформ на

континентальном шельфе, и для этих целей также необходимо контролировать воздействие волн. При строительстве нефтяных платформ необходимо проводить систематическое измерения внутренних волн и течений, поэтому решение фундаментальной проблемы моделирования волновой динамики позволяет избежать дорогостоящих натурных измерений. Особый интерес к моделированию динамики внутренних волн связан с интенсивным освоением Арктики и ее природных богатств. Эти волны пока недостаточно изучены в Арктике, так как двигаются подолдом и сверху практически не видны, однако доступная информация о движении подводных объектов свидетельствует об их наличии. Внутренние волны достигают льда и поднимают или опускают его с определенной периодичностью, что доступно наблюдению с помощью средств радиолокационного зондирования. Воздействие волн способно привести к расколу ледового покрытия в Арктике, они способствуют движению айсбергов и распространению различного рода загрязнений. Поэтому исследования особенностей волновой динамики в области Арктического бассейна является важной фундаментальной научной и практической задачей, в том числе для обеспечения безопасности при строительстве и эксплуатации морских платформ [2, 3].

Построенные авторами математические модели волновой динамики позволяют описывать поля внутренних волн для реальных параметров океана. Универсальный характер предложенных асимптотических методов моделирования полей внутренних волн позволяет эффективно рассчитывать волновые поля, и, кроме того, качественно анализировать полученные решения. Тем самым открываются широкие возможности анализа волновых картин в целом, что важно и для правильной постановки математических моделей волновой динамики, и для проведения оценок при натурных измерениях волновых полей в морской среде. Особая роль разработанных асимптотических методов обусловлена тем обстоятельством, что параметры природных стратифицированных сред, как правило, известны приближенно, и попытки их точного численного решения по исходным уравнениям гидродинамики с использованием таких параметров могут привести к заметной потере точности получаемых результатов. Помимо фундаментального интереса построенные математические модели представляют значительную ценность для практики, поскольку позволяют решать задачи моделирования волновых гидрофизических полей в широком классе приложений.

На рис. 1 приведены результаты расчетов вертикальной скорости внутренних волн, возникающих при движении источника возмущений вдоль берега океана переменной глубины [3].

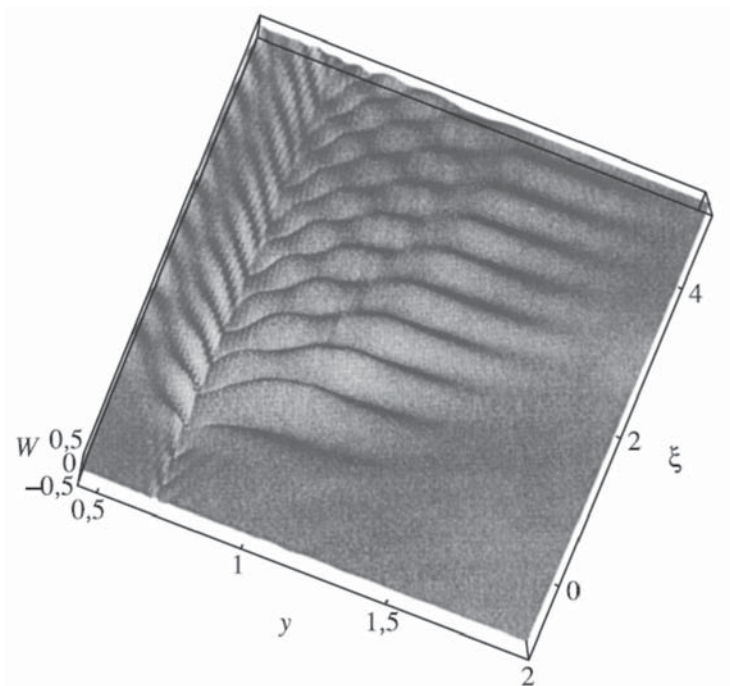


Рис. 1. Внутренние волны в океане переменной глубины

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №11-01-00335а, №13-05-00151а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Булатов, В.В., Владимиров, Ю.В. Динамика негармонических волновых пакетов в стратифицированных средах. М.: Наука, 2010. 470 с.
2. Булатов, В.В., Владимиров, Ю.В. Волновая динамика стратифицированных сред: теория и приложения. — Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. 577 с.
3. Bulatov, V.V., Vladimirov, Yu.V. Fundamental problems of internal gravity waves dynamics in ocean // J. Basic & Applied Sciences. 2013. V. 9. P. 69–81.

УСТЬЕВЫЕ ОСАДОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

Коротаев В.Н.¹, Римский-Корсаков Н.А.²

*1Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва,
e-mail: vlaskor@mail.ru*

*2Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва
e-mail: nrk@ocean.ru*

A morphodynamic estuarine sedimentary systems typification in connection with sedimentation features of the terrigenous matter of continental flows is discussed. The sedimentary models of principal morpho-genetic types of the mouth systems – bay-head deltas and protruding deltas was elaborated on analyses of geological feature of river deltas.

На побережьях Мирового океана в устьях крупных рек в позднем го-
лоцене появились огромные скопления терригенного материала, общая
площадь которых составляет около 5 млн км², или 2% поверхности Зем-
ли [1–4]. В широких пределах варьируют размеры субаэральные дель-
товых равнин, занимающие от 1/10 до 1/1000 общей площади речного
бассейна; различны форма и объемы дельтовых тел. Аллювиально-
дельтовые равнины, сформированные в период от 7–5 до 2,5–1,5 тыс.
лет назад в устьях крупных рек на океанических побережьях и на бере-
гах окраинных морей, как правило, перекрывают позднелайстотенные
дельтовые тела с абсолютным возрастом отложений более 10 тыс. лет.
Субаэральная часть таких дельт обычно представлена несколькими ре-
гиональными субдельтами, связанными с пространственными переме-
щениями зон активного дельтообразования.

Впервые идею о роли речной дельты как переходной зоны в системе
река-море высказал акад. А.П. Лисицын в работе «Лавинная седимента-
ция в океане» [1], сравнивая ее с действием маргинального фильтра, где
накапливается огромная толща отложений (до 10–15 км). А.П. Лисицын
выделил три глобальных уровня лавинной седиментации: 1) эстуарии и
дельты рек, 2) основание континентального склона и 3) активные ок-
раины и глубоководные желоба. Основной областью накопления оса-
дочного материала считается первый глобальный уровень лавинной
седиментации, представляющий гигантскую ловушку терригенного ма-

териала в виде речных дельт. Эти области в дальнейшем становятся природными хранилищами органических полезных ископаемых (нефть, газ, каменный уголь). Предметом исследований являются устьевые осадочные системы (их субаэральные и субаквальные части), представляющие первый уровень глобальной аккумуляции речных наносов в устьях рек. На основании анализа их геологического строения сделана попытка создать седиментационные модели основных морфогенетических типов устьевых систем – заполнения долинных заливов, заполнения устьевых лагун и выдвигения на открытом устьевом взморье.

Опубликованные данные по геологии и литологии крупных речных дельт мира распределены крайне неравномерно. Некоторые дельты (Миссисипи, Ганг-Брахмапутра, Меконг, Эбро, Янцзы, Чжуцзян (Перл), Хуанхэ, Волга) изучены очень детально [5–14]. Геология глубинных слоев в дельтах арктического побережья России практически неизвестна. Имеются единичные описания и абсолютные датировки разрезов аллювиально-дельтовых отложений в устьях рек арктического побережья России и США [15–18]. Находки ископаемых дельт выше и ниже современного уровня свидетельствуют о том, что колебания уровня Мирового океана привели к существенным пространственным смещениям дельтовых тел.

Современные речные системы от верховьев до устья представляют собой, образно говоря, природные транспортеры наносов, большая часть которых после многократного переотложения и дифференциации по крупности, поступает к вершинам дельт или заливов. На придельтовом участке речной долины, как правило, преобладает транзит наносов. Для дельтовых районов большинства устьевых систем наиболее характерна аккумуляция наносов и формирование дельтовой равнины в зоне сопряжения рек с приемным водоемом, т.е. там, где река утрачивает свою первоначальную функцию транзитного водотока и становится рассеивающей системой, в которой фактический расход наносов больше транспортирующей способности потока. Интенсивность накопления аллювиально-дельтовых отложений и скорость прироста морского края речных дельт связана с морфогенетическим типом устьевой геоморфологической системы (лиманно-дельтовой, лагунно-дельтовой и собственно дельтовой).

Динамика наносов и строение литофаций в перечисленных основных морфогенетических типах устьевых осадочных систем различна, поэтому основные морфогенетические типы устьевых систем должны иметь вполне определенное литологическое строение, связанное с особенностями седиментации речных и прибрежно-морских наносов в устьях

крупных рек. Например, американские исследователи [19–20] рассматривают эстуарные системы как наиболее эффективные ловушки для наносов. По динамическим и фациальным особенностям они объединяются в две большие группы: 1) эстуарии, подверженные преобладающему воздействию волнения (wave-dominated estuaries); 2) эстуарии, подверженные преобладающему воздействию приливов (tide-dominated estuaries).

К этим двум группам эстуариев, исходя из природных условий российских побережий, можно добавить третью динамико-фациальную разновидность эстуариев – эстуарии, подверженные преобладающему влиянию речного стока (river-dominated estuaries). К ним в первую очередь следует отнести длинные (сотни километров) и относительно узкие заливы на арктическом побережье Сибири – губы Обскую, Тазовскую, Енисейскую, Хатангскую, Анабарскую, где вследствие небольшой величины приливов (менее 1 м) преобладает стоковый режим течений. На юге России типичным речным эстуарием является Таганрогский залив Азовского моря, куда впадает р. Дон. На юге Дальнего Востока в нижнем течении Амура располагается обширный Амурский эстуарий. Здесь наблюдается своеобразный режим взвесей. Практически в течение всего года сохраняется речной режим не только в дельтовых рукавах, но и на акватории заливов, где скорости стоковых течений соизмеримы со скоростями течений в реке, а величина приливов составляет не более 1 м. Транзитная часть стока взвешенных наносов выносятся далеко за пределы дельты и аккумулируется на дне заливов в виде так называемых «внешних устьевых баров» на расстоянии от нескольких десятков до сотен километров от морского края дельты. В подобных устьевых областях, обладающих значительным водным стоком (от 100 до 600 км³/год) и небольшой мутностью речных вод (от 15 до 70 г/м³), преобладает транзитно-аккумулятивный процесс транспорта речных наносов, создающий условия для накопления в дельте от 30 до 50% и на устьевом взморье от 50 до 90% наносов, поступающих к верхней границе устьевой области.

В типичных эстуариях, испытывающих сильное воздействие реверсивных приливных течений (устья рек Онеги, Мезени, Кулоя, Гижиги, Пенжины, Жиронды, Луары, Саванны, Саскуэханн и др.), продольное изменение стока взвешенных и влекомых наносов существенно отличается от баланса терригенного материала в малоприливных ингрессионных заливах (губах). Схема литодинамики стратифицированных эстуариев с величиной приливов более 2 м следующая: в верхней части эстуария при достаточном притоке пресных речных вод наблюдается

движение воды и взвешенных наносов в сторону моря и удаление загрязняющих веществ из эстуариев в морской бассейн. В придонном слое существует довольно протяженная зона, где осолоненная морская вода и наносы перемещаются в сторону суши. При совпадении экстремальных значений речного стока и сизигийных приливов возникает возможность для частичной транспортировки наносов из эстуария, в том числе и в придонном слое. Зона раздела речных и морских вод функционирует как своеобразный гидродинамический и геохимический барьер, разделяющий эстуарий на области с резко отличающимися условиями осадконакопления.

Песчаные отложения образуют вытянутые узкие приливные гряды в центральных частях эстуариев. Алевриты и илы отлагаются на береговых отмелях и на приливных осушках (маршах). В целом в эстуариях формируется так называемая «система удержания» осадков внутри эстуария, границы которой определяются с речной стороны пределом проникновения галоклина, а со стороны моря – зоной резкого снижения транспортирующей способности потока вследствие уменьшения скоростей течения. Седиментационный цикл в эстуариях включает в себя начальный взмыв тонких осадков со дна до момента их флокуляции и агрегирования на контакте пресных и соленых вод. Укрупнение частиц вызывает их осаждение на дно, накопление, уплотнение и сохранение до следующего эрозионного цикла. Периодическое возникновение застойных условий в момент наиболее высокого прилива (в течение 8–10 ч) приводит к осадконакоплению с высокими скоростями (4–7 мм/год). В эстуариях отлагается до 2/3 стока речных наносов. Вследствие коагуляции в них осаждаются 60–80% растворенных гуминовых веществ, железа и поллютантов. Наиболее благоприятные условия для этого имеются в зоне выклинивания галоклина, где часто образуется зона с повышенной мутностью вод, а также участки пойм и маршей. Русловые бороздины в эстуариях при высоких нагонах и приливах интенсивно промываются, и донные осадки практически не загрязняются.

На наш взгляд, классическими «ловушками» для речных наносов являются устьевые лагуны и лиманы. Реки, формирующие малорукавные дельты в не полностью заполненных устьевых лагунах (устья рек Камчатки, Авачи, Амгуемы, Пороная, Муррея; большинство устьев малых рек на побережье Гвинейского залива – Бандама, Комоз, Тано, Пра, Вольта, Куффо, Веме, Огун, Они и др.), оставляют практически весь сток взвешенных и влекомых наносов (от 0,25 до 30 млн т в год для различных рек) в дельте и лагуне. Примерно такая же схема литодинамических процессов характерна для устьев рек, впадающих в полузакрытые

лиманы, где остается почти весь сток наносов (среднегодовой сток наносов от 0,003 до 1,2 млн т в год для устьев таких рек, как Тилигул, Ингул, Когильник, Ея, Сарата, Ялпух, Юж.Буг, Днестр, Днепр, Печора и др.)

В устьях рек, полностью заполнивших своими отложениями устьевую лагуну или лиман, режим транспорта наносов претерпевает существенные изменения. В подобных осадочных системах на месте лагуны или лимана возникли малорукавные дельтовые равнины площадью от 0,2 до 22 тыс. км², где магистральные рукава врезаны в древнедельтовые отложения, а на внешнем крае морской пересыпи начинается формирование современного устьевых конуса выноса. В устьях рек, имеющих среднегодовой сток взвешенных наносов от 3 до 20 млн тонн и испытывающих небольшое гидродинамическое воздействие морских факторов, на открытом и относительно отмелом устьевом взморье могут формироваться устьевые бары и региональные дельты выдвижения площадью от 0,4 до 1,2 тыс. км² (устья рек По, Роны, Яны, Индигирки, Колымы, Дуная, Магдалены). В таких устьевых системах преобладает транзит взвешенных наносов по длине магистральных дельтовых рукавов и мощная их аккумуляция на дне устьевых взморья.

На открытых океанических побережьях с величиной приливов до 1,2–3,7 м, постоянными течениями и сильной волновой активностью не аккумулятивная в устьевой области часть речных наносов уходит безвозвратно, поглощаясь вдольбереговыми потоками наносов (устья рек Кванзи, Сенегала, Замбези, Лимпопо, Нила, Нигера, Риони, Бзыби, Мзымты, Кодори и др.). В устьях рек, к которым близко подходят подводные каньоны, большая часть речных выносов также изымается из береговой зоны и транспортируется на большие глубины (устья рек Бзыби, Риони, Чорохи). Практически не выдвигаются дельты рек на сомалийском побережье Индийского океана (устья рек Джубба и Уэби-Шабелле).

Такие мощные реки, как Конго, Ганг и Брахмапутра, Парана и Уругвай, Амазонка, выносящие ежегодно на устьевое взморье от 70 млн т до 1 млрд т взвесей, либо имеют аномально небольшие дельты (Конго) или сравнительно медленно выдвигаются в море (Бенгальская дельта). Из речных отложений на материковом склоне формируются глубоководные конусы выноса, представляющие собой так называемый «второй глобальный уровень лавинной седиментации» [1].

В дельтах выдвижения, имеющих разветвленную и сложно переплетающуюся гидрографическую сеть рукавов и протоков (устья рек Волги, Селенги, Лены, Ориноко), аккумулируется от 70 до 85% общего стока взвешенных наносов. В таких дельтовых системах старые острова ин-

тенсивно размываются, а из продуктов разрушения формируется молодая сегментная пойма и осередки, образующие простые русловые разветвления типа «восьмерок». Все русловые формы (осередки, побочни, косы) очень динамичны, смещаются вниз по течению, вызывая периодическое перераспределение стока в русловых разветвлениях и отмирание второстепенных протоков. Для безрукавных и малорукавных дельт выдвижения (устья рек Оленека, Эбро) характерен транзитно-аккумулятивный тип литодинамических процессов, когда большая часть стока наносов поступает на устьевое взморье. Скорость выдвижения морского края дельты и формирование устьевых баров полностью определяется многолетними и сезонными колебаниями стока воды и наносов реки, а также гидродинамической активностью морских факторов. Степень выдвинутости и изрезанности морского края дельты возрастает по мере увеличения доли речных процессов по отношению к морским.

Следует отметить, что соотношения аккумулятивной и транзитной частей стока взвешенных наносов в устьевых системах одного и того же морфодинамического типа могут существенно отличаться для рек с большой среднегодовой мутностью вод (более 300 г/м³). Для устьев таких рек, как Терек, Кубань, Сулак, Кура, Колорадо, Миссисипи, Инд, Иравади, Хуанхэ и других характерна аккумуляция большей части взвешенного и влекомого материала в пределах дельтовой поймы и русла рукавов, приводящая к очень высокой динамичности русловой сети, большой изменчивости в перераспределении стока воды и наносов по рукавам дельты и к частым перемещениям ее положения вследствие прорыва береговых валов и возникновения новых узлов разделения дельтовых рукавов.

На начальной стадии формирования дельтовых систем, когда большинство рек впадало в заливы или лагуны, практически весь сток речных наносов шел на формирование устьевого конуса выноса и устьевого бара. В береговой зоне ощущался дефицит наносов, выраженный в преобладании поперечного к берегу перемещения наносов и в образовании мощной системы береговых баров. Образование динамически устойчивых систем дельтовых водотоков, которые в настоящее время аккумулируют от 10 до 85% стока взвешенных наносов, изменило баланс последних в береговой зоне Мирового океана. В настоящее время неаккумулятивная часть речных наносов распределяется волнами и течениями на шельфе и накапливается у подножья материкового склона в виде глубоководных конусов выноса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лисицын А.П.** Лавинная седиментация // Лавинная седиментация в океане. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1982. С. 3–59.
2. **Stanley D. J., Warne Andrew G.** Worldwide intitation of Holocene marine Deltas by deceleration of sea-level rise (1994): Science, Vol. 265, pp. 228–231.
3. **Milliman John D., Meade Robert H.** World-wide delivery of river sediment to the oceans (1983): J.of Geology. Vol. 91. No. 1, pp. 1–21.
4. **Коротаев В.Н.** Геоморфология речных дельт. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991а. 224 с.
5. **Coleman J.M., Gagliano S.N.** Sedimentary structure in Mississippi River deltaic plane (1965): J. Social Economists, Paleonthologists and Mineralogists. Spec. Publ. No. 12, pp. 133–148.
6. **Бернард Х., Лебланк Р.** Обзор четвертичной геологии прибрежных равнин северо-западной части Мексиканского залива // Четвертичный период в США. М.: Мир, 1968. С. 157–220.
7. **Allison M.A.** Geologic framework and environmental status of the Ganges-Brahmaputra Delta (1998): J. Coastal Research. Vol. 14. No. 3, pp. 826–836.
8. **Stanley D.J., Hait A.K.** Holocene depositional patterns, neotectonics and Sundarban mangroves in the western Ganges-Brahmaputra Delta (2000): J. of Coastal Research. Vol. 16. No. 1, pp. 26–39.
9. **Нгуен Ван Кы.** Устьевые области рек Вьетнама. Одесса: Астропринт, 2004. 339 с.
10. Дельты – модели для изучения / под ред. М. А. Бруссар. М.: Недра, 1979. 323 с.
11. **Li Congxian.** Deltaic sedimentation (1986): Modern Sedimentation in Coastal and Nearshore Zone of China, China Ocean Press Beijing, pp. 230–376.
12. Геология дельты Волги /под ред. М.В. Кленовой // Труды ГОИН. 1951. Вып.18 (30). 394 с.
13. **Лохин М.Ю., Маев Е.Г.** Позднеплейстоценовые дельты на шельфе северной части Среднего Каспия // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1991. № 3. С. 34–39.
14. **Свиточ А.А., Янина Т.А.** Строение и развитие дельты Волги // Геоморфология. 1994. № 4. С. 11–24.
15. **Walker H.J.** Arctic Deltas (1998): J. of Coastal Research. Vol. 14. No. 3, pp. 718–738.
16. **Korotaev V.N.** Geomorphology of river deltas in arctic coast of Siberia (1986): Polar Geography and Geology. No 10 (2), pp.139–147.

17. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая: гидролого-морфологические процессы, геоморфология и прогноз развития. М.: ГЕОС, 2007. 445 с.

18. **Are F., Reimnitz E.** An overview of the Lena River delta setting: Geology, tectonics, geomorphology, and hydrology (2000): J. of Coastal Research. Vol. 16, No. 4, pp. 1083–1093.

19. **Dalrymple R.W., Zaitlin B.A., Boyd R.** Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications (1992): J. of Sedimentary Petrology, Vol. 62, № 6, pp. 1130–1146.

20. **Zaitlin B.A., Dalrymple R.W., Boyd R.** The stratigraphic organization of incised-valley systems associated with relative sea-level change (1994): Incised-valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences, №. 51, pp. 45–60.

УДК 551.46.07

ГИДРОЛОКАЦИОННЫЕ И СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЖНЕГО ДОНА И ЕГО ДЕЛЬТЫ

**Иванов В.В.², Коротаев В.Н.², Пронин А.А.¹,
Римский-Корсаков Н.А.¹**

¹*Учреждение Российской академии наук Институт океанологии
им. П.П. Шириова РАН, 117997, Нахимовский 36, Москва, Россия,
+7(499)1247987, nrk@ocean.ru*

²*МГУ имени М.В.Ломоносова, Географический факультет
119991, ГСП-1, Ленинские горы, Москва, Российская Федерация,
+7(495)-939-56-97, факс: +7(495)-939-50-44, vlaskor@mail.ru*

The results of geophysical and hydrographic investigations at Lower Don River are presented. Hierarchic of ridge relief and granulometric composition of bottom sediments from Manych to mouth Old Don arm are learned.

Нижний Дон представляет собой пример типичного свободно меандрирующего русла, для которого в естественных условиях были характерны довольно интенсивные горизонтальные деформации. Основными типами русла Нижнего Дона являются меандрирующее и относительно прямолинейное неразветвленное (95% от общей длины русла). Разветв-

ленное русло встречается на участках с односторонней поймой и в приморской зоне, где формируется современная дельта. Дельта Дона – одно из крупнейших устьевых образований рек бассейна Азовского моря. В современных границах площадь дельты составляет около 540 км². Протяженность морского края – около 30 км. За вершину дельты принимают место отделения от основного русла Дона рукава Мертвый Донец, в прошлом наиболее водоносного, а ныне находящегося в стадии отмирания. В 19 км ниже вершины дельты у станицы Елизаветинской происходит вторичное деление основного рукава Дона на два крупных рукава – Старый Дон и Каланча, ветвящихся на сложную систему гирл и ериков.

Сооружение Волго-Донского судоходного канала превратило Нижний Дон в важную воднотранспортную магистраль, связывающую Азовское, Черное, Каспийское, Белое и Балтийское моря. Наиболее удобным для судоходства оказался Старый Дон, с которым связаны портовые сооружения г. Азова и к которому был проложен морской канал. В устьевой части Старого Дона в настоящее время образовалась наиболее молодая часть дельты с системой протоков и заболоченных островов. Дельтовые острова испещрены густой сетью ериков и протоков, хорошо обводненных и заросших тростником, особенно в нижней части дельты. Значительную часть дельтовых островов занимают пруды рыбободных и товарных рыбных хозяйств[1–3].

Геофизические и гидрографические исследования, выполненные сотрудниками Лаборатории гидролокации дна Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова и Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ в 2012 г. на Нижнем Доне и в его дельте, позволили значительно расширить существующие представления о строении рельефа дна и в распределении донных грунтов. Продольное эхолотирование, гидроакустическое картирование и сейсмоакустическое зондирование дна было выполнено от устья Маныча до выхода рукава Старый Дон на открытое взморье. В результате этих исследований получены непрерывные гидроакустические записи строения подводного рельефа и донных грунтов, а так же определение мощности русловых отложений на основе положения «отражающего» горизонта, роль которого на Нижнем Доне выполняла размытая кровля коренных третичных пород, вскрывающихся в правом борту долины Дона в пределах Ростовского тектонического свода.

Для изучения подводного рельефа и аллювиально-дельтовых отложений авторы использовали комплекс гидроакустической аппаратуры, разработанный в Лаборатории гидролокации дна Института океаноло-

гии РАН, и глобальную позиционную систему GPS для геодезической привязки судовых галсов. Комплекс аппаратуры состоял из гидролокатора бокового обзора (ГБО-150-1), акустического профилографа (АП-4,5), графического самописца ОКЕАН и цифровой системы сбора-обработки гидролокационной информации РАСТР. Для дешифрирования записей ГБО и АП использовались материалы инженерно-геологических изысканий институтов «Гидропроект» и «Союзморниипроект», а так же результаты эхолотирования и механического анализа донных проб грунта, отобранных авторами на продольных галсах по фарватеру судового хода при выполнении экспедиционных работ. Обработка гидролокационной информации велась в цифровом виде с использованием программы WINRASTR, разработанной в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

По данным продольного эхолотирования и гидролокационного картирования выделено 7 типов гряд и 4 структурных уровня руслового рельефа: ультрамикроформы (самые малые гряды) – рябь и рифели (длина – 2–5 м, высота – не более 0,1 м); микроформы (малые гряды) – дюны (длина от 10–50 до 200–300 м, высота – от 0,25 до 1,0 м); мезоформы (крупные гряды) – песчаные волны (излучины) (длина – от 1 до 5 км, высота – от 2 до 7 м), побочни и осередки (длина – от 1 до 2,5 км, высота – от 2 до 4 м) и макроформы (очень крупные гряды) – перекатные участки (длина – от 3 до 15 км, высота – от 5 до 15 м). В пределах перекатных участков, как правило, наблюдается не менее 3 песчаных волн. Поверхность крупных гряд моделирована дюнами и рифелями, обладающих большой подвижностью. Гранулометрический состав русловых наносов варьирует от тонких заиленных песков в устьях дельтовых рукавов до средних и крупных песков с включениями битой ракушки в русле Дона.

В нижнем течении Дона, от устья Маныча на расстоянии 3 км вниз по течению, на относительно прямолинейном и неразветвленном участке русла наблюдаются три песчаные гряды длиной от 1,4 до 2,1 км с высотами до 2,5 м. На их поверхности развиты более мелкие гряды (дюны) длиной от 0,2 до 0,3 км высотой до 1 м, осложненными мелкогрядовым рельефом (длина – до 20 м, высота – до 0,2 м).

Ниже по течению русло Дона начинает меандрировать, образуя 5 излучин и одиночные русловые разветвления (о-ва Арпачинский, Большой, Малый и Межонка). На расстоянии 34 км от о. Арпачинского до пос. Аксай морфология дна существенно изменяется. Здесь начинают формироваться очень крупные гряды (перекатные участки) длиной от 4 до 7 км с высотами от 7 до 10 м. В их пределах наблюдаются более мелкие

грядовые образования – песчаные волны длиной от 1 до 2 км, на поверхности которых формируются дюны длиной от 0,2–0,3 км до 20–50 м с высотами от 0,25 до 1,0 м (например, пережат Монастырская Россыпь).

Ниже пос. Аксай до вершины современной дельты (исток рукава Мертвый Донец) русло Дона следует вдоль коренного обрывистого правого берега и вновь становится относительно прямолинейным или слабоизвилистым с одним русловым разветвлением (о. Зеленый). Здесь на расстоянии 30 км формируются две очень крупные гряды (пережатные участки) длиной от 11 до 15 км с высотами до 15 м. В пределах каждого из этих пережатных участков располагаются по три песчаных волны длиной от 2,5 до 4 км и высотами от 2,5 до 5 м. Песчаные волны осложнены более мелкими грядами (побочными и осередками) длиной от 1 до 2,5 км с высотами от 1 до 2 м. На поверхности крупных гряд в пределах руслового разветвления о-ва Зеленый формируется подвижный мелкогрядовый рельеф (гряды длиной до 20 м и высотой до 0,5 м). На правобережье Дона в пределах г. Ростов-на-Дону отмечены участки абразионного бенча, выработанного рекой в глинистых коренных породах, где дно приобретает полосчатую структуру микрорельефа. Мелкогрядовый рельеф дна (дюны, рифели) не формируется, что может свидетельствовать о дефиците донных наносов.

На участке нижнего Дона от пос. Кумженский до пос. Донской главного русла Дона, а затем рукав Старый Дон (от истока рукава Каланча) начинают меандрировать, формируя 6 излучин. Здесь обнаружены три очень крупные гряды (пережатные участки) длиной от 2,8 до 7,3 км с высотами от 7 до 12 м. Их поверхность осложнена песчаными волнами длиной от 1 до 2,5 км высотой от 5 до 7 м. Мелкогрядовый рельеф на этом участке начинает постепенно восстанавливаться в 2-х км ниже по течению от истока рукава Койсуг. До пос. Елизаветинский наблюдается относительно ровное песчаное дно с редкими участками рифелей (ерик Казачий).

В пределах современного дельтового разветвления в устье рукава Старый Дон (от пос. Донской до взморья) дно – относительно ровное, илистое, с редкими участками рифелей (гирла Свиное и Кривое). Колебания глубин не превышают 0,5–1,0 м.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология Азовского моря. Киев: Наукова думка, 1974. 247 с.
2. **Родионов Н.А.** Гидрология устьевой области Дона. М.: Гидрометеиздат, 1958. 95 с.

3. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая: гидролого-морфологические процессы, геоморфология и прогноз развития. М.: ГЕОС, 2007. 445 с.

УДК 556.042

ПРИМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ПРОФИЛОГРАФА ТЕЧЕНИЙ ADCP В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

Амбросимов А.К.¹, Либина Н.В.¹, Корж А.О.², Баранов В.И.²

*¹ Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН
Нахимовский пр-т, 36, 117997, г. Москва
8(499)124-85-47, e-mail: lnatvit@mail.ru*

*² Атлантическое отделение Института океанологии
им. П.П. Шишова РАН
Просп. Мира, 1, 236022, Калининград обл.
8(4012)34-99-76, e-mail: korg@ioran.baltnet.ru*

In this article the description ADCP methods of application is given at oceanologic researches in the Caspian Sea.

Акустические доплеровские профилографы течений ADCP используются в экспедициях Института океанологии им. П. П. Шишова РАН при исследованиях в Каспийском море с 2006 г. При этом применялись различные варианты измерений с этими приборами:

- стационарные наблюдения на автономных буйковых станциях (ADCP Nortek);
- профилирование при движении (ADCP RDI буксировался за судном на специальной гандоле-носителе или устанавливался на штанге;
- зондирование (ADCP Nortek или RDI опускался с борта судна в дрейфе).

На рис. 1 приведены мгновенные разрезы горизонтальных компонент скорости течений, совмещенные с разрезами обратного акустического рассеяния, полученные в результате профилирования. Профилирование проведено ADCP фирмы Teledyne RDI WorkHorse Monitor 300 кГц (WH300), установленным на штанге с заглублением 2 м в мае 2012 г. Глубина профилирования WH300 в зависимости от условий обычно составляла 60–100 м.

На галсе b-c (рис. 1) помимо профилирования ADCP были выполнены STD-зондирования. По данным зондирования получена температурная стратификация разреза. На рис. 1б изотермы (темно серые линии) показывают границы слоя скачка, приведен один из профилей температуры.

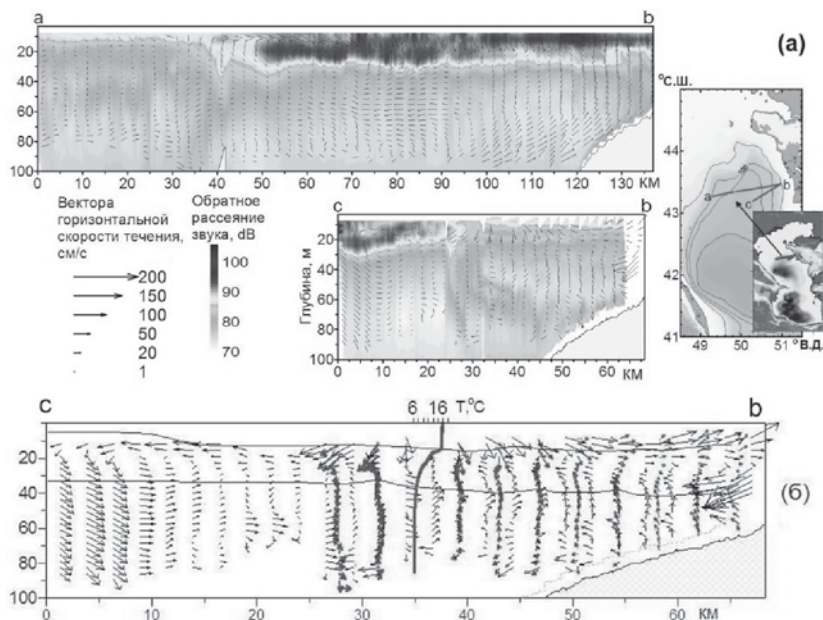


Рис. 1. Комплексные разрезы пространственной изменчивости гидрофизических параметров (май 2012 г.)

а – разрезы поля течений и обратного акустического рассеяния; б – сопоставление результатов измерения скоростей течений, полученных при профилировании (черные стрелки) и при зондировании на станциях (красные стрелки), термоклин (темно серые линиями) и один из профилей температуры (красная линия)

Полученные данные показали сильную пространственную как по глубине, так и латеральную изменчивость направлений компонент течений. На слое скачка происходит разделение полей течений на поверхностные и течения под термоклинном. Изменчивость течений, наблюдалась и на других профилях, и на данных зондирования, выполненных с применением профилографа ADCP в различных частях Каспийского моря.

На ряде станций проведены зондирования с ADCP RDI WorkHorse Quatermaster 150 кГц (WH150). Прибор подвешивался на трос и погружался на необходимый горизонт, где удерживался 10 мин для накопления информации с последующим усреднением. Снизу прибора был подвешен массивный груз (использовалась чугунная «капля» весом 30 кг) и закреплено крыло в виде обтекателя для стабилизации положения прибора в потоке.

Параллельное профилирование и зондирование ADCP позволило сопоставить результаты измерений (рис. 1б). Из рис. 1б видно, что в верхней приповерхностной части разреза при больших скоростях течений данные зондирований совпадают с результатами профилирования. При этом на больших глубинах наблюдаются фрагменты существенных расхождений по направлениям течений, в основном на участках сильной изменчивости течений. Возможно, нестабильность течений и объясняет полученные расхождения результатов измерений.

Подобная картина наблюдалась и в октябре 2012 г. при наблюдениях в том же районе моря. На рис. 2 приведены разрезы горизонтальных составляющих скорости течений и обратного рассеяния звука, профили температуры и компоненты скорости течений, полученные одновременно двумя профилографами ADCP – при зондировании и профилировании. Разрезы и профили течений получены с использованием установленного на штанге ADCP (WH 300), и зондирования с помощью ADCP (WH 150). На профиле течений между станциями 21 – 23, а также на профилях зондирований на этих станциях (рис. 2а) под термоклином наблюдалась плавная изменчивость направлений течений. Результаты измерений, проводившихся двумя приборами аналогичны. При этом, на станции 30 наблюдалась сильная изменчивость направлений течений на различных горизонтах а также разброс в результатах измерений профилографов течений.

Экспедиционные исследования показывают, что применение профилографа ADCP в режиме зондирования, что не является его штатным режимом работы, оказалось допустимым в результате уникального программного обеспечения, разработанного в АО ИОРАН. При этом наилучший результат получается в условиях устойчивых течений. Для проведения метрологических оценок результатов измерений, получаемых при зондировании профилографом ADCP, необходимо сопоставление с данными профилографов, устанавливаемых жестко на дне или платформах.

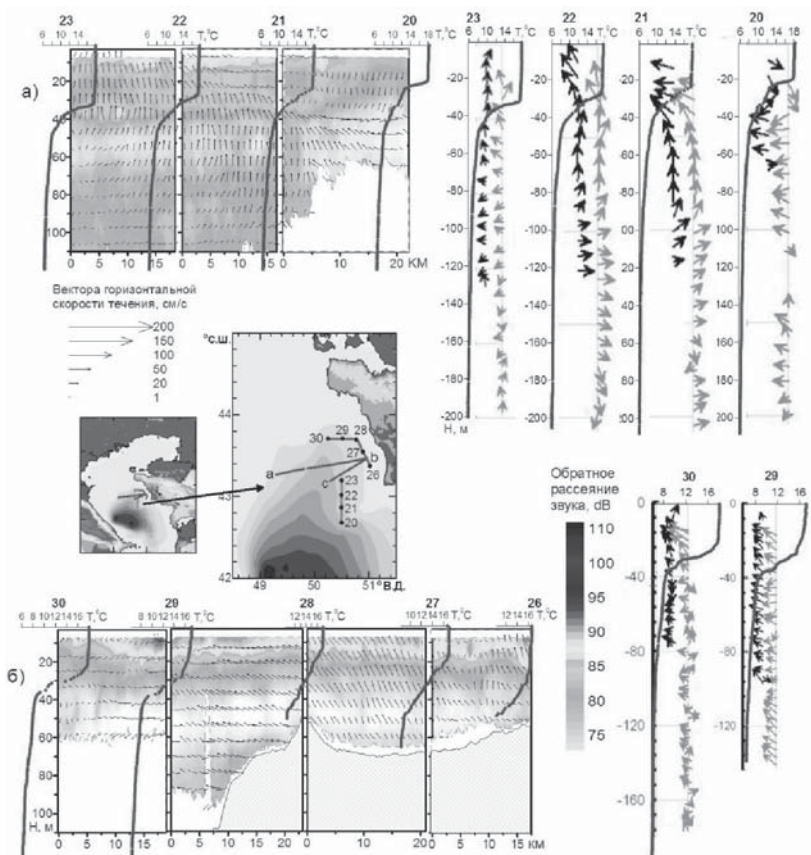


Рис. 2. Разрезы поля течений и обратного акустического рассеяния, профили изменения от поверхности до дна температуры, горизонтальных компонент скоростей течений полученных с использованием WH 300 (черные стрелки) и WH 150 (серые стрелки), октябрь 2012 г.

ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Либина Н.В., Никитин Г.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр-т, д.36, 117997, Москва
тел. 8(499)124-85-47, e-mail: lnatvit@mail.ru*

In the article were shown possibilities of optimization of hydrophysical researches.

Современное развитие океанологической измерительной и вычислительной техники обуславливает появление новых методик наблюдений и обработки данных, что расширяет диапазон решаемых океанологических задач.

В частности, используя доплеровский профилограф течений ADCP можно проводить измерения профиля течений и обратного рассеяния звука, как в точке, так и при движении судна в непрерывном режиме.

Для оценки пространственной изменчивости водной толщи в средней части Каспийского моря летом 2008 г. были выполнены разрезы с использованием ADCP и CTD-зонда. ADCP применялся в режиме буксировки за судном, CTD-зондирование выполнялось с шагом 1–2 мили [1]. Комплексируя данные ADCP по обратному рассеянию звука с результатами измерений температуры воды CTD-зондом в точках разреза удается получить картину пространственной изменчивости таких характеристик водных масс, как мощность верхнего квазиоднородного слоя, положение слоя скачка (термоклина), обратного рассеяния звука, градиентов этого параметра и температуры воды (рис. 1).

На рис. 1а разрез температурной стратификации (изотермы показаны черными линиями), полученный по профилям зондирования (выборочные профили показаны фиолетовыми линиями), совмещен с разрезом обратного рассеяния звука. Наибольшая изменчивость (области с большим градиентом) поля обратного рассеяния звука (рис. 1б) соответствует изменчивости поля температуры (рис. 1в), т.е. верхней и нижней границам слоя скачка.

В условиях Каспийского моря, как видно из рис. 2 [2], профиль скорости звука в основном определяется профилем температуры. Коэффи-

коэффициент корреляции скорости звука и температуры близок к единице. Таким образом, пространственно-временная изменчивость поля температуры воды характеризует пространственно-временную изменчивость скорости звука в воде. По этой причине, разрезы на рис. 1 можно рассматривать, как характеризующие пространственные изменения скорости звука и выделяющие области различного звукорассеяния.

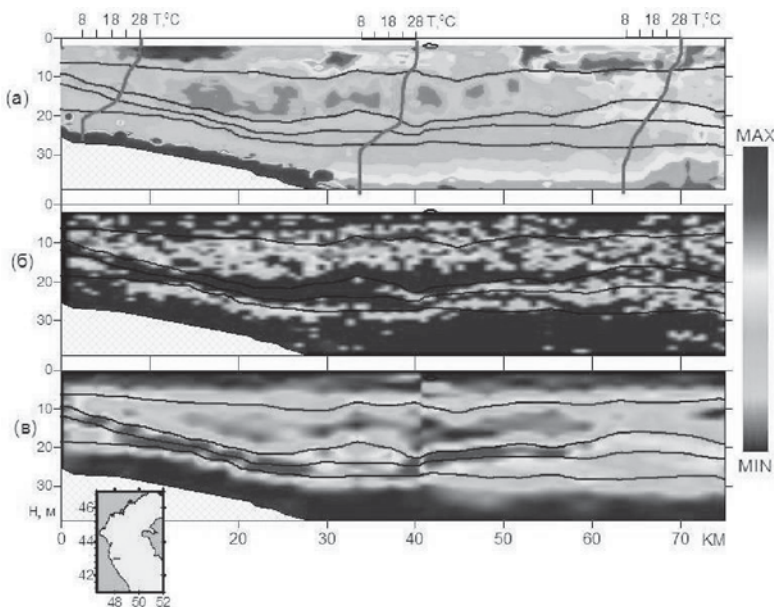


Рис. 1. Пространственная изменчивость поля обратного рассеяния звука (а), градиента поля обратного рассеяния звука (б) и градиента поля температуры (в)

Изменчивость скорости звука в воде оказывает существенное влияние на результаты эхолотирования и особенно гидролокационной съемки, что учитывается при обработке гидролокационных данных.

Гидролокаторы бокового обзора (ГБО), предназначенные для исследования поверхности дна по данным обратного рассеяния гидроакустического сигнала, а также эхолоты имеют потенциальные возможности параллельного их применения для гидрологических исследований. Звукорассеяние в воде, являющееся помехой для работы данных приборов, создает условия для наблюдения изменчивости акустических свойств

среды в реальном времени. Ряд работ [3 и др.] показывают успешное применение эхолота для акустического зондирования, позволяющего выявлять фронтальные зоны и газовыделения.

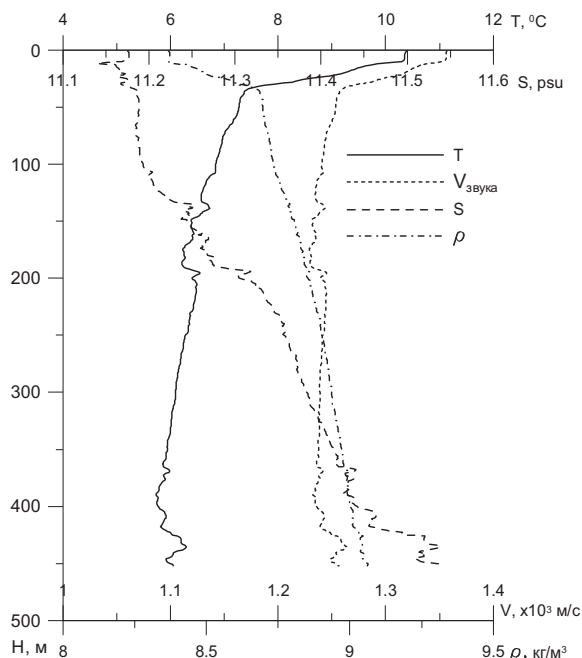


Рис. 2. Влияние гидрологических параметров на скорость звука в воде. Профили зондирования выполнены 21.04.2006 г. в центральной части Каспийского моря

Эксперименты по использованию ГБО для визуализации внутренних волн в толще воды [3] и неоднородностей водной толщи в придонном слое [4 и др.] показывают перспективность их применения не только по прямому назначению (акустическое исследование поверхности дна), но и для выявления неоднородностей водной толщи.

Таким образом, широко применяемые акустические методы геолого-геофизических исследований (эхолотирование, сейсмопрофилирование, гидролокация) позволяют их использовать не только по узкоцелевому назначению, но и для исследования водной толщи. Для решения геофизических задач эти методы, как правило, применяются в комплексе. Но

к сожалению чаще всего гидрофизические и геофизические методы исследований, даже в комплексных экспедициях, проводятся независимо друг от друга.

Объединение перечисленных средств в единую систему измерений позволит не только одновременно исследовать в непрерывном режиме водную толщу, придонный слой, поверхность дна, приповерхностные слои, но устанавливать их взаимное влияние, оптимизировать выбор мест проведения станций.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Амбросимов А.К., Либина Н.В., Корж А.О.** Инструментальные наблюдения изменчивости гидрофизического режима Среднего Каспия в июле 2008 года // Экологические системы и приборы. 2010. № 6. С. 24–35.

2. **Амбросимов А.К., Амбросимов Е.С., Либина Н.В.** Термохалинная структура вод центральной части среднего Каспия по данным полигонных измерений 2004–2005 гг. // Экологические системы и приборы. № 7. 2007. С. 51–56.

3. **Саломатин А.С., Шевцов В.П., Юсупов В.И.** Океанологические исследования с помощью эхолотов. Опыт двадцатилетнего использования // Доклады IX научной школы семинара акад. ЛМ Бреховских «Акустика океана», совмещенной с XII сессией РАО. М.: ГЕОС, 2002. С.250–253.

4. **Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А., Никитин Г.А.** Использование метода гидролокации бокового обзора для визуализации гидродинамических возмущений. X международная конференция. «Современные методы и средства океанологических исследований». 2007. Москва. Т.І. С. 8–15.

5. **Каевицер В.И., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольяников И.В., Элбакидзе А.В.** О профилировании неоднородностей водной среды гидролокатором бокового обзора. XII международная научно-техническая конференция. «Современные методы и средства океанологических исследований». 2011, Москва. Т.ІІ. С. 83–86.

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Бриллиантов А.Н.¹, Глотко А.В.²

¹ООО «Диагностика нефтегазовых трубопроводов»

Ленинский пр., д. 22, оф.43, 119071, Москва

8 9269101023, abrill@mail.ru

² ФГБОУ ВПО МГУ Природообустройства

ул. Прянишникова, 19, 127550 Москва, annaglotko@mail.ru

Recently for conducting the inspection of submarine pipelines both on the rivers and at sea successfully adapt the same instruments and equipment. Multi-beam depth finders, phase SSS with the function of bathymetry, electromagnetic instruments for measuring the distance to the pipeline, ADCP, GPS receivers, the water level meters. Analogies and differences in the procedures of the collection of information about the underwater pipelines are examined.

В докладе представлены основные методики и приборы, используемые в настоящее время при обследовании подводной части сооружений, на примере, подводных переходов магистральных газопроводов.

Авторами проводится:

- сравнение особенностей привязки для объектов расположенных на внутренних водоемах различной ширины и морских участках;
- описание новых возможностей использования современных приборов на внутренних водоемах и морских участках;
- анализируются основные особенности построения цифровой модели рельефа (ЦМР) при использовании различных средств измерения;
- прогноз развития техники с учетом потребности в настоящее время.

Разработка новых и совершенствование существующих средств измерений в последние десятилетия вывело работы по обследованию подводной части сооружений, например, подводных переходов магистральных газопроводов, на новый уровень. В настоящее время для качественного проведения таких работ требуется современный комплекс приборов, в составе которого используются приборы для пространственного позиционирования, измерения глубины, скоростей, направления потока, определения местоположения и технического состояния сооружений и т.п.

Производители морского измерительного оборудования в поисках новых рынков сбыта стали активно развивать линейку приборов для внутренних водоемов, которые в настоящее время сочетают в себе финансовую доступность и большой объем информации. Ярким примером служат многолучевые эхолоты, фазовые гидролокаторы бокового обзора (ГБО) с функцией батиметрии, доплеровские измерители скорости течения, телеуправляемые подводные аппараты которые из громоздких и дорогих превратились в компактные и относительно недорогие приборы.

В отличие от предпроектных изысканий, которые производятся один раз, обследование подводных переходов магистральных газопроводов в рамках диагностики относится к периодическим работам, и напрямую зависят от качества производства работ.

В основе всей работы лежит построение цифровой модели рельефа (ЦМР), сопоставление ее с прошлыми годами, а также совмещение ее в пространстве с результатами гидрометрических измерений. Такой подход к работе позволяет наиболее достоверно изучить природный процесс, оценить степень и опасность его воздействия, а также на основе прогноза предложить оперативно решения.

Практика показывает, что обследование морских прибрежных участков трубопроводов мало чем отличается от обследования трубопроводов проложенных через внутренние водоемы и водотоки.

Основное условие качественного анализа при периодических наблюдениях за природными процессами и явлениями является пространственная привязка, которая, если проводить аналогию с пунктами наблюдения за режимом водных объектов сети Росгидромета [1], представляется в виде реперов привязанных к опорным пунктам Государственной геодезической сети. Требования к методике и качеству работ представлена в ряде Государственных нормативных документах [2, 3].

Использование доплеровского измерителя скорости течения и расхода воды на крупных водотоках позволило резко сократить время проведения гидрометрических работ на створе, а также получить данные для построения 3-х мерных картин потоков и совмещение их с информацией о рельефе и сооружениях.

В морских регионах этот прибор в основном используют в составе долговременных стационарных донных станций, результатами исследований на которых являются данные об изменении величин скорости и направления движения массы воды в одной точке в течение нескольких суток.

Принципиальное различие в производстве работ между морским и речным ПП МГ является определение планового-высотного положения трубопровода. На участке интенсивных переформирований дна – в рус-

лах рек, морской прибрежной части – объект заглублен в грунт и фиксируется электромагнитными трассоискателями. Здесь различие в минерализации воды требует различных технических решений.

Участки морского трубопровода расположенные на большой глубине обследуются с помощью подводных телеуправляемых аппаратов и низкочастотных акустических профилографов. Аналогичную методику можно использовать для обследования на внутренних водоемах – водохранилищах, где трубопроводы часто залегают в незасыпанных траншеях, а протяженность и глубина водного объекта не позволяет использовать стандартные трассоискатели.

Использование высокочастотной измерительной гидроакустики не возможно без применения измерителей скорости звука т.к. корректировка измерений в процессе гидрографических работ необходима как на море, так и на реках. Тут технология применения измерителей скорости в комплекте с МЛЭ и фазовыми ГБО аналогичны, что на море что на реках.

Измерение уровня воды при проведении гидрографических работ на реках имеет первостепенное значение т.к. изменения уровня при производстве работ в результате подъема или спада половодья (паводка), а также в нижнем бьефе гидроузла в результате сброса воды при суточном регулировании.

На море измерение уровня воды имеет значение при значительных приливно-отливных явлениях, а также ветровых нагонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.2, ч. II. Гидрологические наблюдения на постах. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 264 с.
2. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства часть 3. Инженерно-гидрографические работы при инженерных изысканиях для строительства.
3. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS.

ПРИМЕНЕНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ В ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ ЭХОЛОТЕ-ПРОФИЛОГРАФЕ

Каевицер В.И., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В.

ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

пл. им. академика Б.А. Введенского, д. 1, г. Фрязино, Московской обл.

тел. +7(496)565-26-85, факс +7(496)565-24-07, ilia159@mail.ru

The parametric profiler at frequency 1–8 kHz with chirp modulation was developed in the Kotel'nikov institute of Radio Engineering and Electronics of RAS. Broad band of the difference frequency signal is obtained by using two chirp transmitted signals.

Одним из перспективных методов повышения качества профилирования донных отложений, является применение параметрических эхолотов-профилографов, которые по сравнению с линейными обладают лучшей направленностью [1]. Для повышения технических характеристик параметрических эхолотов-профилографов рассмотрим применение ЛЧМ зондирующих сигналов. Ожидаемые при этом преимущества это увеличение энергетического потенциала в сотни и тысячи раз за счет большой базы сигнала и компенсация потерь параметрической антенны, связанной с низким КПД. При этом для того, чтобы сохранить все преимущества параметрического формирования низкочастотных сигналов, необходимо обеспечить нелинейное взаимодействие сигналов накачки и сохранение фазовой структуры разностного ЛЧМ сигнала.

Увеличение точности классификации донных отложений требует увеличения разрешающей способности эхолота-профилографа по дальности и, следовательно, увеличения ширины полосы излучаемого сигнала. Основное ограничение на ширину полосы частот излучаемого сигнала накладывают передающие антенны. В параметрической системе эта проблема успешно решаются, поскольку направленность определяется высокочастотными антеннами накачки, и составляет 4–6 градусов при небольших габаритах. Кроме того полосы частот эффективного излучения у этих антенн достаточно велики (10% от несущей частоты в диапазоне 140 кГц).

Можно дополнительно расширить спектр зондирующего сигнала разностной частоты, применив в каждой антенне сигнал с линейной

частотно модуляцией, с разным знаком девиации частоты. В качестве примера:

1. Излучаемый сигнал антенны №1 – импульсный, с линейной частотной модуляцией, с изменением частоты от 144.5 кГц до 141 кГц.

2. Излучаемый сигнал антенны №2 – импульсный, с линейной частотной модуляцией, с изменением частоты от 145 кГц до 149.5 кГц.

В результате нелинейного эффекта получится разностный сигнал с линейной частотной модуляцией и девиацией частоты 7 кГц (от 1 кГц до 8 кГц), что позволяет получить разрешение по дальности 10.7 см. и увеличить глубину зондирования за счет излучения сигнала в низкой части частотного диапазона 1–8 кГц.

На рис. 1 изображена структурная схема макета когерентного параметрического эхолота-профилографа.

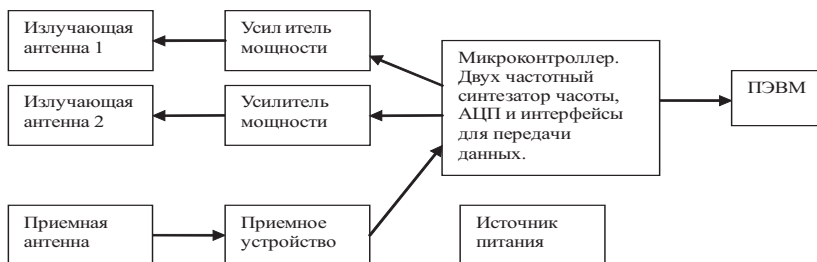


Рис. 1. Структурная схема параметрического эхолота-профилографа

Испытания с целью проверки устойчивости работы и правильности формирования низкочастотного сигнала проводились в бассейне. В бассейн, заполненный водой, был помещен акустический преобразователь параметрического излучения, как показано на рис. 2 справа и широкополосная приемная антенна – слева.

После подачи на преобразователи сигналов накачки на слух было установлено наличие низкочастотной составляющей излучения. Сигналы с широкополосной приемной антенны подавались на приемник, оцифровывались и после корреляционной обработки выводились на устройство отображения. При таком эксперименте проверялась работоспособность эхолота-профилографа в реальном режиме работы, поскольку все системы формирования сигналов, излучения сигналов накачки, приема и обработки параметрического излучения осуществлялись в штатном режиме.

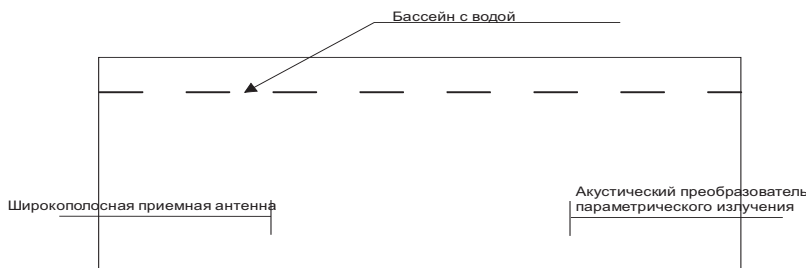


Рис. 2. Схема испытаний в бассейне

На рис. 3 показан результат корреляционной свертки эхосигналов с теоретической моделью зондирующей посылки длительностью 4 мс и девиацией частоты 1–8 кГц. Линия 1 – свертка при расстоянии между параметрическим излучателем и гидрофоном 30 см, линия 2 – соответственно, 70 см. Первые пики соответствуют мощности принятого гидрофоном прямого сигнала, излученного параметрической антенной в низкочастотном диапазоне. Далее пики соответствуют эхосигналам, отраженным от стенок бассейна и возможно интерференции между отражениями. Следует отметить, что ширина первого пика по уровню 0.7 составляет около 10 см, что соответствует ожидаемой девиации параметрического излучения около 8 кГц.

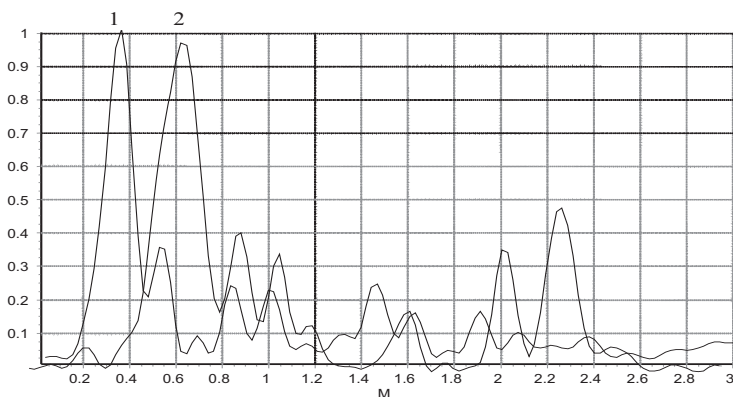


Рис. 3. Корреляционная свертка принятого сигнала с теоретической моделью

Морские испытания параметрического эхолота-профилографа проходили в Финском заливе Балтийского моря. На рис. 4 приведена эхограмма сигнала принятого на широкополосную приемную антенну на разностной частоте. На рисунке следует отметить отличие параметрического эхолота-профилографа от линейного – не видно прямого прохождения в приемник зондирующей посылки, что подтверждает отсутствие у параметрического излучателя боковых лепестков. Глубина около 3.2 м. Вертикальная качка около 20 см. Хорошо виден слой донных отражений мощностью около 80 см. По слабому коэффициенту отражения и слоистой структуре это, по-видимому, илистые отложения.

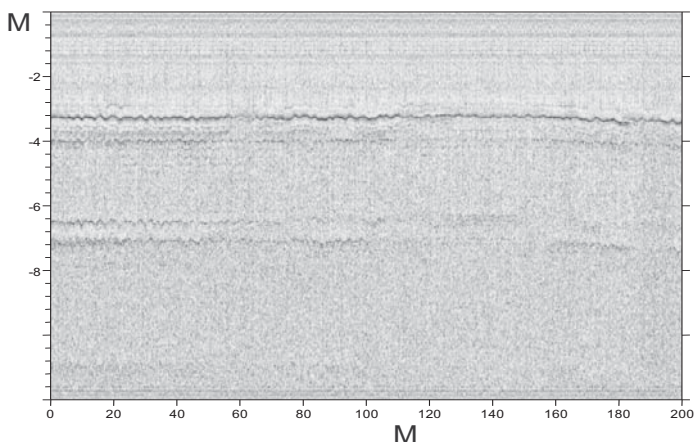


Рис. 4. Эхограмма сигнала принятого на широкополосную приемную антенну на разностной частоте

Проведенные измерения подтвердили правильную работу параметрического эхолота-профилографа в части формирования разностного ЛЧМ сигнала на низкой частоте, соответствующего по ширине полосы частот теоретической модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мерклин Л.Р., Тарасов С.П., Тимошенко В.И. Эхоспектроскопия придонных геологических слоев параметрическим гидролокатором // Океанология АН СССР. Приборы и методы исследований. 1990. Т. 30. Вып. 2. С.25–28.

ГИДРОЛОКАЦИЯ ДНА В 39 РЕЙСЕ НИС «РИФТ»

Белевитнев Я.И., Лискин В.А., Пронин А.А.

*Учреждение Российской академии наук, Институт океанологии им.
П.П. Ширшова РАН, 117997, Нахимовский 36, Москва, Россия,
+7(499)124 85 09, pronin@ocean.ru*

Experience of practical works on the sonar survey of bottom surface in the 39 cruises R/V «Rift» in the Caspian Sea. Describes the methodology of the survey and modification shipping equipment. Briefly shows the results of operations.

В мае – июне 2012 в Каспийском море с борта НИС Рифт (39 рейс) проводились комплексные океанологические исследования по программе «Система Каспийского моря». В состав работ экспедиции были включены работы по проведению гидролокационной съёмки поверхности дна.

Эти работы представляют определенный интерес по следующим причинам:

- районы проведения съёмки включали глубоководные участки, где ранее съёмка не проводилась
- методика проведения и техническое обеспечение работ отличалась от стандартного из-за особенностей судна
- получены данные о возможности применения ГБО для поиска небольших объектов.

Для проведения гидролокационной съёмки поверхности дна использовался гидролокатор бокового обзора «Мезоскан МЗ», который использовался во многих экспедициях ИО РАН [1]. Рабочая частота данного лоатора составляет 80 кГц, что позволяет совместить довольно широкую полосу охвата (до 1500 м на каждый борт) с разрешением, необходимым при проведении съёмки для целей геологии.

Существенным вопросом, при планировании работ, был выбор кабель – троса. Учитывая его высокую стоимость, приобретаемый кабель – трос должен был подходить для работ не только на Каспийском море, но и в других экспедициях Института, в частности, на Черном море. Известно, что при буксировках необходима длина троса, как минимум, вдвое превышающая максимальные глубины в районе съёмки. Таким

образом, получалась необходимая длина троса не менее четырех километров, также было известно, что при длине несколько более пяти километров невозможно использовать каротажный кабель-трос из-за затухания сигнала в кабельной линии, поэтому выбор был сделан в пользу коаксиального кабель-троса КГ1Кх1.5-55-150 длиной 4 км.

Обстоятельством, сильно усложняющим проведение работ, являлось отсутствие на НИС «Рифт» кабельной лебедки с токосъёмом. На судне имеются две лебедки – ЛЕРОК и траловая лебедка с четырьмя барабанами, которые могут использоваться поочередно. ЛЕРОК используется для работ с дночерпателем и другим нетяжелым оборудованием, поэтому для буксировки гидролокатора можно было использовать один из барабанов траловой лебедки. Конструкция траловой лебедки, из-за большого количества барабанов, не позволяет установить токосъём, аналогичный применяемым на кабельных лебедках (или требуется сверление вала на значительную длину, которое можно выполнить только в заводских условиях, после разборки значительной части лебедки). Ранее, при работе с гидролокатором с НИС «Рифт» использовался специально изготовленный токосъём в виде кольца, прикрепленного к щеке барабана лебедки и подпружиненных угольных щеток. Такая конструкция обладает рядом недостатков, главные из которых – это незащищенность узла от попадания соленой влаги, в изобилии имеющейся на палубе судна, и появлении сильной помехи в приемном тракте гидролокатора при вращении барабана. Поскольку, других альтернатив не было пришлось использовать токосъём подобной конструкции. Интересно, что при монтаже токосъёма на лебедку, под слоем краски были обнаружены еще два токосъёма, сделанных ранее в виде полосы фольгированного текстолита плотно обернутого вокруг края барабана лебедки.

Наличие сильной помехи, скрывающей полезный сигнал, при вращении барабана лебедки, обусловило методику буксировки гидролокатора, применявшуюся в рейсе. Она заключалась в следующем: судно ложится в дрейф, «рыбка» с помощью лебедки и П-рамы выводится за борт и погружается на глубину примерно 100 м; проверяется работа гидролокатора (по наличию отражения от поверхности воды), далее буксируемое тело погружается на глубину чуть меньшую, чем глубина моря в данном месте. При стопе лебедки определяется отстояние аппарата от дна и вытягивание кабельной линии за счёт дрейфа судна. После этого аппарат подводится к грунту на расстояние 10–20 м и дается ход, в направлении точки начала первого галса. Когда отстояние от поверхности дна достигает 80–100 м, травят лебедкой 70–80 м троса. При ходе судна два узла требуется вытравить примерно двойную длину троса

относительно глубины места. Когда положение аппарата относительно дна стабилизируется, добавляют ход на 0.5 узла выше расчетного и повторяют операцию спуска, добиваясь стабилизации буксируемого тела у верхней границы допустимого отстояния от дна. Это должно произойти около точки начала галса, далее судно плавно сбавляет ход до расчетного и движется по галсу. При этом эффект поднятия «рыбки» за счёт сопротивления воды компенсируется уменьшением её скорости и корректировки по глубине на галсе минимальны. После выполнения первого галса, можно было уточнить координаты начала следующих галсов, с целью гарантированного выхода в необходимый район съёмки. В конце галса начинают поворот и одновременно выбирают кабель-трос, чтобы обеспечить безопасное отстояние от дна, когда судно пойдет в обратном направлении. После поворота судна, до выхода на следующий галс, описанные выше операции повторяют. При буксировке использовался гравитационный заглубитель весом около 50 кг, который крепился к кабель-тросу на расстоянии 40 м от «рыбки».

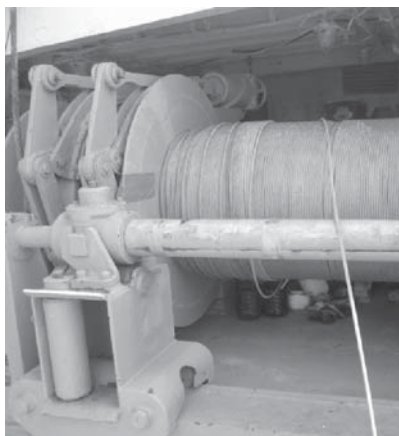


Рис. 1. Траловая лебедка НИС
Рифт с кабель – тросом



Рис. 2. Токосъём, применявшийся
при работах с ГБО «Мезоскан»

В ходе 39 рейса было выполнено 5 буксировок ГБО. Их пространственное расположение показано на рис. 3.



Рис. 3. Схема расположения станций, на которых производились буксировки БПА «Мезоскан» с гидролокатором бокового обзора

Буксировки на станциях 7.1 и 7.2 кроме выполнения основной задачи – съёмки форм рельефа дна, имели своей целью поиск донной станции, установленной в предыдущем рейсе и не снятой в срок. Характер поверхности дна (ровная поверхность со слоем жидкого наилка) благоприятствовал её выполнению. В результате работ на ст.7.1 донная станция была обнаружена, гидроакустические контакты нанесены на планшет и в определенном месте произведено траление с целью подъёма донной станции. К сожалению, подъём станции не удался, и была выполнена еще одна буксировка гидролокатора в районе, где она располагалась. В ходе этой буксировки были обнаружены следы, связанные с попытками подъёма донной станции. Работы в районах т.8 и т.11 показали, что рельеф в этих местах сглаженный, сложенный осадками, мезо и микроформы рельефа дна отсутствуют. Более интересные данные получены в районе т.18. Данный район расположен к северу от Апшеронского порога, в месте, где много буровых. Глубины в районе погружения БПА близки к 180-метровой отметке. Здесь можно выявить три участка, различающихся по своему характеру. К первому можно отнести грядовый рельеф, образованный придонными течениями. Размеры (период) гряд составляют около 10 м. Постепенно, при движении на север,

гряды исчезают и их сменяют ровные участки характерные для районов Каспийского моря, в которых мы работали ранее. Затем появляется участок, где на относительно ровном дне, неровности на котором составляют единицы сантиметров, в отдельных местах скапливается наилкок, имеющий существенно более высокие отражающие свойства. К сожалению, эту буксировку не было возможности продолжить, так как вокруг находились действующие буровые.

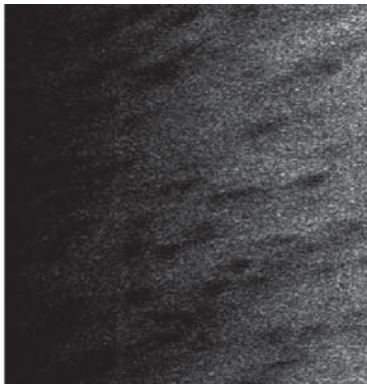


Рис. 4. Грядовый мезорельеф, глубина 181 м

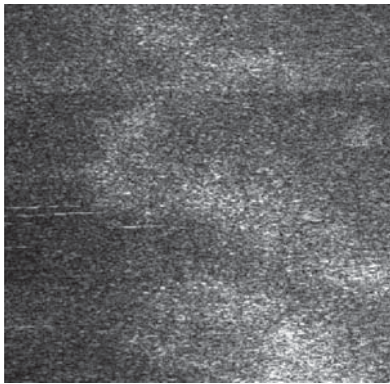


Рис. 5. Поверхность дна покрыта легким наилком

Опыт проведенных работ свидетельствует о возможности получения необходимых гидролокационных данных, несмотря на существенные недостатки судового оборудования, но более правильным путем, с нашей точки зрения, является применение оборудования специально предназначенного для данных работ, что может гарантировать их успешное завершение.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Римский-Корсаков Н.А., Сычев В.А.** Многоцелевой гидролокатор бокового обзора «Мезоскан-М». В сб. материалов конференции «Современные методы и средства океанологических исследований», М.: изд-во ИО РАН, 2007. Т.2. с. 15–20.
2. **Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А.** О методологии исследования дна акваторий и водных объектов гидролокационными методами. ВИНИТИ, 22.12.2010. №718 – В2010.

3. **Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А.** Идентификация подводных объектов обнаруженных в ходе исследования дна водоемов гидролокационными методами. В сб. материалов конференции «Современные методы и средства океанологических исследований», М.: изд-во ИО РАН, 2011. Т.2. с. 72–76.

4. **Айбулатов Н.А., Димитров П.С., Пронин А.А., Римский-Корсаков Н.А., Шахов М.Н.** Мезо и микроформы донного рельефа шельфа и верхней части склона континентального склона западного сектора Черного моря. Океанология (БАН), №19. 1988. с. 107–112.

УДК 551.46.08

ПОВЫШЕНИЕ РАСПОЗНАВАЕМОСТИ МЕЛКИХ ТЕХНОГЕННЫХ ЦЕЛЕЙ ПРИ ИХ ПОИСКЕ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОЛОКАТОРА БОКОВОГО ОБЗОРА

Белевитнев Я.И., Пронин А.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-85-09,
pronin@ocean.ru*

A method for increasing recognition of small targets in sonar survey the seabed, is to use special contrasting color palettes of data.

В практике океанологических экспедиций часто возникают ситуации, когда необходимо найти на поверхности дна утерянный прибор, не отвечающую донную станцию и т.п. объекты. В большинстве случаев, имеющиеся на борту гидроакустические средства (локаторы с рабочими частотами 80 или 240 КГц в ИО РАН или локаторы на 100 и 200 кГц иностранного производства) позволяют обнаружить подобные объекты вблизи предела пространственного разрешения. Другими словами, объект, зафиксированный на мониторе, будет размером в несколько пикселей. В ряде случаев, на помощь могут прийти, связанные с объектом троса или кабели, которые, в силу их большой линейной протяженности, значительно лучше видны на сонограммах. Иногда, объект удается обнаружить за счёт эффекта «сверх яркой цели», когда уровень интенсивности сигнала от объекта во много раз выше сигнала от окружающего фона. В этом случае объект, зафиксированный локатором, выглядит

на экране больше своего фактического размера. В отдельных, довольно редких случаях, может помочь характер грунта, например в 39 рейсе НИС «Рифт» в Каспийском море удалось обнаружить донную станцию благодаря тому, что она находилась на участке дна покрытого мелко-дисперсным илом, не мешающим видеть предметы на его поверхности.

Производители гидроакустической аппаратуры часто снабжают свои изделия программным обеспечением позволяющим менять цветовые палитры отображения данных, как непосредственно при съёмке, так и в режиме пост обработки. Это позволяет пользователю выбрать наиболее удобный конкретно для него вид представления сонограмм. Наиболее часто используются палитра из оттенков серого и золотисто-бронзовая палитра, впервые примененная фирмой «Kleyn». Существует специальная палитра очень удобная для рыбопоисковых эхолотов, а также другие виды, во многих из которых цвета выбраны произвольно.

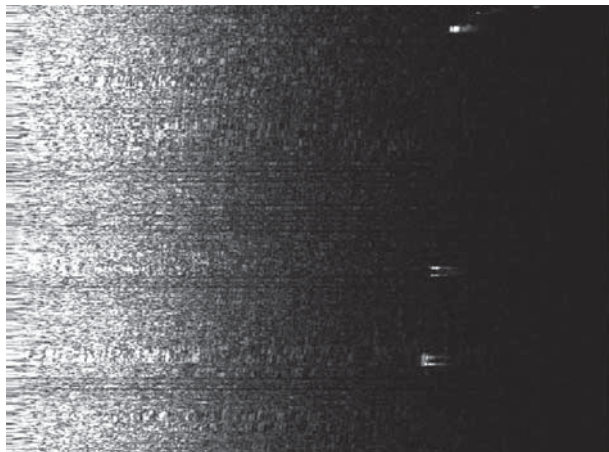


Рис. 1. Элементы донной станции на поверхности дна

Авторы считают, что для распознавания мелких целей искусственного (техногенного) происхождения целесообразно применить палитру, сочетающую ряд монохромных оттенков одного цвета и, для наиболее мощных сигналов, например, для 10 уровней от максимума, контрастного к нему цвета. В частности, для палитры из оттенков серого можно добавить пурпурный или желтый цвета. Выявление мелких участков дна с высоким коэффициентам обратного рассеяния позволит сосредоточить на них внимание и проверить другие признаки, которые могут

свидетельствовать о искусственном происхождении объекта (правильная геометрическая форма и т.д.). Можно добавить контрастный цвет и на другую сторону палитры, например, темно-синий, что позволит выделить участки акустической тени, которая часто соседствует с искусственными объектами.

Аналогичный прием, позволяющий проиллюстрировать сказанное выше, был применен одним из авторов ранее. При ремонте заградворот № 116 на канале Хорошевское Спрямление была насыпана временная дамба, которую затем удалили с помощью дночерпательного снаряда. Для контроля качества дноуглубительных работ был выполнен эхолотный промер участка русла, где располагалась дамба. Результаты промера были представлены в различном виде:

- ряда поперечных профилей, через русло;
- батиметрией участка с горизонталями и стандартной отмывкой голубого цвета различной плотности;
- батиметрией участка, где диапазон глубин от 2.5 до 4 м был выделен контрастным, в данном случае пурпурным, цветом. Наиболее наглядным оказался третий вариант, на котором хорошо видны участки, где необходимо было продолжить дноуглубление.

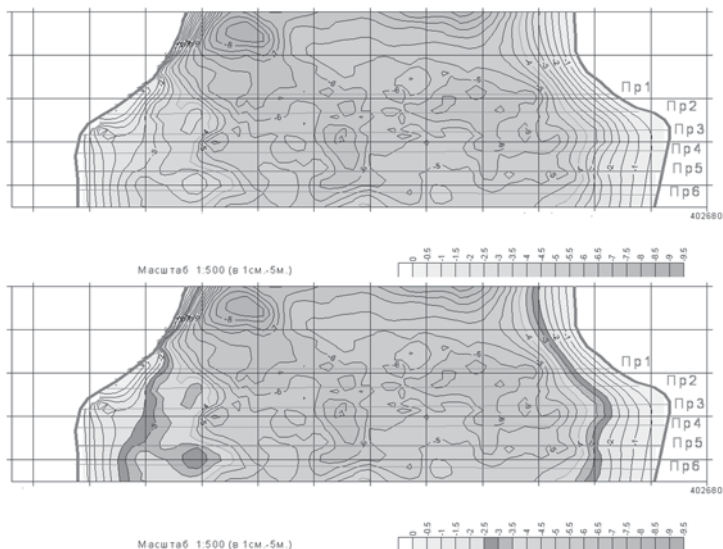


Рис. 2. Применение контрастных цветов для выделения опасных глубин

Предлагаемый способ имеет естественные ограничения, в частности, очевидно, что он не будет эффективным на дне, сложенном россыпью камней сходных с искомым объектов размером и формой. С другой стороны, он не требует никакого вмешательства в аппаратную часть, более того, возможно его применение в пост обработке материалов съёмки, что позволит, при соответствующем программном обеспечении, оператору менять пороговые значения ввода контрастных цветов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А.** О методологии исследования дна акваторий и водных объектов гидролокационными методами. ВИНИТИ, 22.12.2010. №718 – В2010.

2. **Римский-Корсаков Н.А., Русак Ю.С., Теляковский А.С., Бушуев К.Л.** Разработка систем сбора и обработки гидролокационной информации. В сб. материалов конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». М.: изд-во ИО РАН, 2003. Т. 2. с. 258–259.

3. **Фирсов Ю.Г.** Основы гидроакустики и использование гидрографических сонаров. СПб.: Нестор-История, 2010. 348 с.

УДК 551.35:519. 71

НОВЫЙ АЛГОРИТМ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

Черников Г.А.¹, Либина Н.В.²

¹ООО «Газпром ВНИИ ГАЗ», Пос. Развилка, Московская обл., 142717

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Нахимовский пр-т 36, г. Москва, 117997, 8(499)124-85-47

e-mail: A_Chernikov@vniigaz.gazprom.ru, lnatvit@mail.ru

In the article were shown the questions of 3D modeling of the structure of under-surface geological sediments marine areas. A new algorithm of the n-dimensional interpolation, using the properties of Markov chains and allows, based on a nonuniform observation network, adequately simulate the objects of complicated multivariance of the contacts uneven deposits and availability of different types of geo-

logical violations. The developed algorithms of the software are implemented and tested.

Традиционно, алгоритмическое обеспечение программных средств для пространственного моделирования геологических объектов, использует различные способы корреляции свойств на двумерных решетках, с последующей их структуризацией в 3D-геологические модели. Возникающие при этом сложности в виде выклинивания отдельных, или групп слоев, а также наличие тектонических нарушений вынуждают дополнять обработку достаточно трудоемкими процессами

Марковские процессы, специальный вид случайных процессов, имеющих большое значение в приложениях теории вероятностей к различным разделам естествознания и техники. Теория Марковских процессов возникшая в 1907 г. на основе исследований математика А. А. Маркова, стала в настоящее время одним из ведущих математических инструментов при моделировании сложных динамических систем. Одна из форм марковского процесса, представляющая последовательность дискретных состояний, называется цепью Маркова.

В основу разработанного алгоритма Марковского N-мерного моделирования положен подход, предполагающий удержание в модели не значения координат точек n-мерного пространства с значениями соответствующих им геолого-геофизических показателей, а вероятностный образ свойств моделируемых объектов. Создание вероятностного образа осуществляется на совокупности данных, в которой координаты точек рассматриваются как координаты фазового пространства, кодировка числовых значений которых представлена в виде Марковской последовательности со строго определенными количеством и последовательностью шагов. Система использует нечеткие каналы наблюдения с ветвящимися графами марковских состояний: переход из нечеткого состояния (t^i -1) в нечеткое состояние (t), представляется в виде ветвящегося графа (рис. 1).

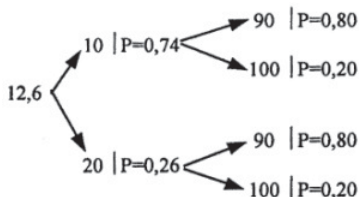


Рис. 1. Пример ветвящегося графа нечетких марковских состояний

Как видно из приведенного примера, суммарная вероятность возможных переходов равна 1. Принципиальное различие между четкими и нечеткими каналами заключается в том, что вероятность появления перехода относится к модальному значению класса в первом случае и к границам классов – во втором. Преобразованные описанным образом переменные и параметры создают математический образ системы, дальнейшее исследование которой выполняется с Марковской последовательностью целочисленных значений для переменных с четкими каналами и с ветвящимися значениями для каналов нечетких.

Распознавание ведется по точкам фазового пространства. Генерация координат точек осуществляется по выбранным исследователем плоскостям сечения. Задаются граничные точки координат и шаг дискретизации. На выходе модели получается вероятностная оценка распределения геолого-геофизических характеристик модели на плоскости сечения массива (3D модель) или последовательность сечений в выбранном временном интервале (4D модель). Визуализация модели осуществляется в виде набора разрезов моделируемого геологического объекта.

Таким образом, 3D марковское моделирование включает в себя два этапа:

- 1) моделирование, заключающееся в создании вероятностного образа свойств объекта, выраженного в условных единицах нечеткой привязки к границам классов, определенных на координатных шкалах;
- 2) распознавание, заключающееся в том, что по структурированной совокупности пространственных координат дается вероятностная оценка значений параметра в любой заданной точке модели. Блок-схема программной реализации описанного выше алгоритма приведена на рис. 2.

Разработанная программа 3D моделирования является конечным элементом в пакете программ, обеспечивающих реализацию способа марковской гипсотомографии [1, 2, 3].

На рис. 3 приводится пример визуализации разрезов (томограмм) рассчитанных по 3D модели одного из районов Северного Ледовитого Океана.

На приведенных разрезах (длина 1500 км и глубина 17.5 км), наблюдаются как выклинивания отдельных, групп слоев так и наличие тектонических нарушений различного типа. Визуально, аномалии структуры разрезов коррессируют с характерными элементами рельефа морского дна. Их проявление на разрезах не связано с какими либо дополнительными перестроениями в процессе моделирования. Их проявление целиком обязано определяющим свойствам аппарата марковской статистики – наличию вероятностной связи в цепи марков-

ских событий и нелинейности их трансформаций. Аналогичные разрезы могут быть рассчитаны с любым интервалом и в любом направлении в границах модели.

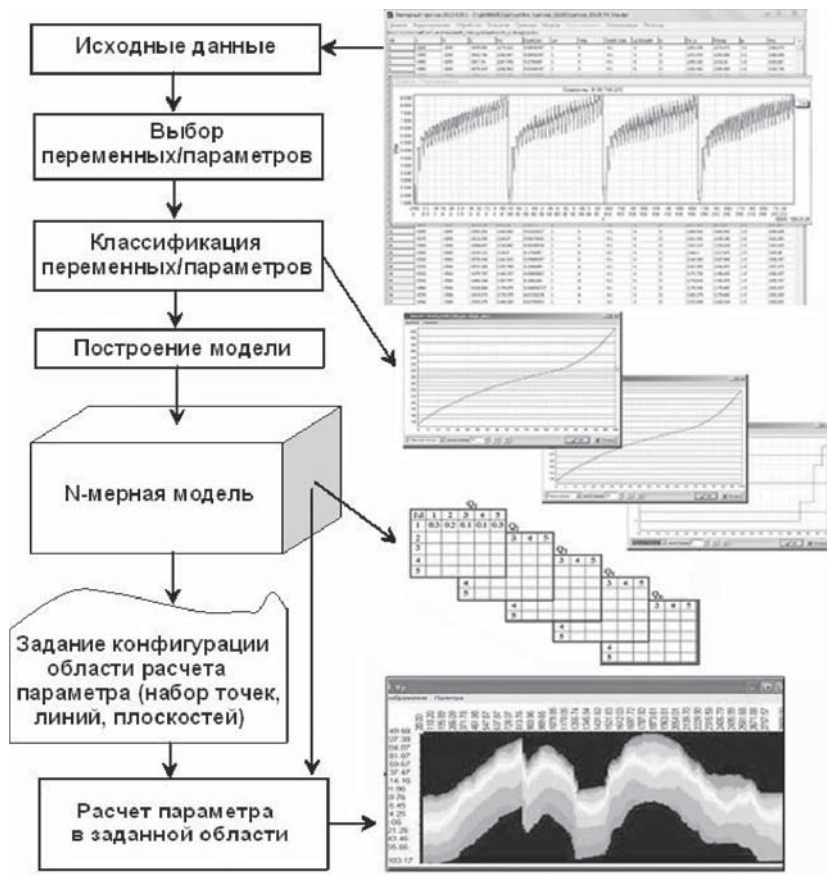


Рис. 2. Блок-схема системы 3D Марковского моделирования с нечеткими каналами

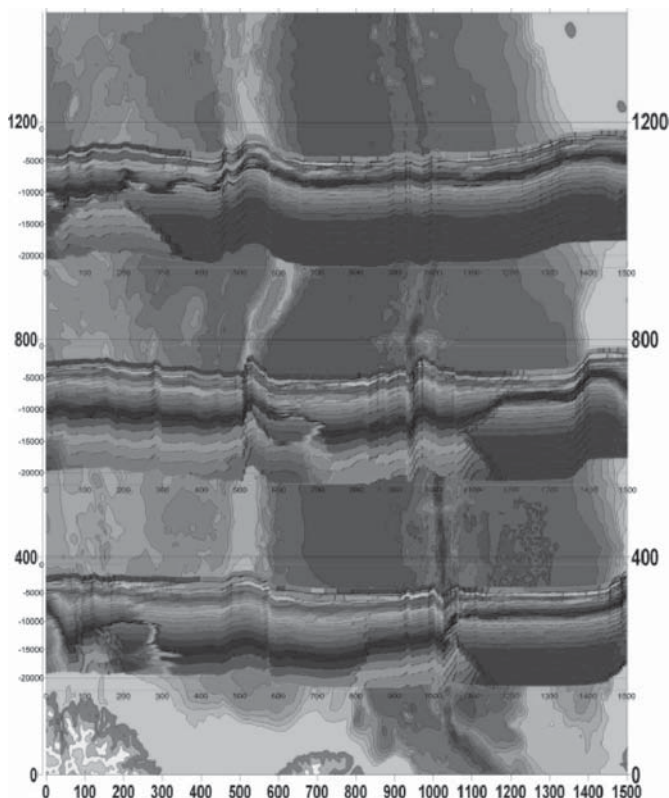


Рис. 3. Пример визуализации разрезов рассчитанных по 3D модели

ЛИТЕРАТУРА

1. Черников А.Г., Либина Н.В., Матушкин М.Б. Патент на изобретение «Способ выявления внутренних неоднородностей Земли», №2293361, 2004. (Приоритет от 30.12.2004. Выдан 14.07.2006).
2. Черников А.Г., Матушкин М.Б., Либина Н.В. Изучение внутреннего строения Земли на основе марковского анализа гипсометрии ее поверхности // Разведка и охрана недр. 2001. № 2. С. 57–59.
3. Черников А.Г., Либина Н.В. Использование марковской гипсометрии при геологических исследованиях в океанологии // Океанология, 2011. Т. 51. № 3. с. 561–565.

ИМПУЛЬСНЫЙ НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОТЕРМОАКУСТИЧЕСКИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ С БОЛЬШОЙ АПЕРТУРОЙ ДЛЯ МОРСКОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Дегтярев В.П.¹, Тарасов С.П.¹

¹ *Закрытое акционерное общество «Научно-производственное
предприятие «Нелакс»*

347900, г. Таганрог, пер. Некрасовский, дом 44

347928, г. Таганрог, 8(8634)310635,

tsp-47@mail.ru, dvp777@mail.ru

The paper deals with negative impacts of acoustic high-power pulses produced by air guns on aquatic organisms (hydrobionts). Characteristics of acoustic pulses created by air guns are here considered. The alternative method of generation of acoustic pulses in sea water due to thermoacoustic effect is offered. The conceptual view of the electrothermoacoustic large aperture generator for application in marine seismic survey is described.

В докладе рассматривается негативное воздействие мощных акустических импульсов пневмопушек на гидробионтов. Приводятся характеристики акустических импульсов, создаваемых пневмопушками. Рассмотрен альтернативный способ возбуждения акустических импульсов в морской воде – за счет термоакустического эффекта. Описан концептуальный облик электротермоакустического излучателя звука с большой апертурой для применения в морской сейсморазведке.

Акустическая информация в жизни морских млекопитающих и рыб играет очень важную роль. Любые импульсные помехи, затрудняющие восприятие акустических сигналов, например, китами и дельфинами, могут привести животных к стрессу, потере ориентации, ухудшению здоровья, а иногда и к гибели. Таким образом, морским млекопитающим, находящимся в районе сейсмоакустических работ, неизбежно наносится вред, поскольку они реагируют на низкочастотные импульсы пневмоисточников звука (пневмопушек) гораздо сильнее, чем рыба.

Установлено, что рыбы также негативно реагируют на звуки пневмопушек, причем различные виды в разной степени, что напрямую влияет на качественный состав уловов на большой акватории длительный период времени после окончания сейсмоакустических работ [1].

Энергия акустического импульса одиночной пневмопушки находится в частотной полосе до 3 кГц с максимумом в полосе 5-200 Гц, при этом среднеквадратичные уровни звукового давления составляют около 150-200 дБ /мкПа·м. Линейный размер буксируемой цепочки (батареи) пневмопушек составляет около 10 м, поэтому направленность излучения на частотах ниже 500 Гц практически отсутствует. Вследствие этого, для зондирования структуры дна максимально увеличивают акустическое давление в импульсе, которое может достигать пиковых значений в 250 – 265 дБ/мкПа·м или 240-255 дБ/мкПа·м для среднеквадратических значений амплитуды [2]. Сигналы такого уровня вызывают патологические процессы у рыб в радиусе 1 км от батареи и распространяются на десятки километров вокруг.

Экологическое законодательство во многих странах, обладающих морским шельфом (США, Канада, Норвегия, Дания, Австралия, Англия и др.), достаточно строгое в части ограничения техногенного воздействия на крупных морских гидробионтов, поэтому применение новых приборов для сейсморазведки, позволяющих уменьшить ущерб окружающей среде, в настоящее время востребовано компаниями, выполняющими работы на морском шельфе.

Основным требованием к новому сейсмоакустическому источнику – излучателю импульсных сигналов должна быть выраженная направленность, т.е. концентрация акустической энергии в луче. Для формирования луча шириной в 30° на частоте 50 Гц необходим размер излучающей поверхности 60 м, на частоте 20 Гц – соответственно 150 м. Как показывает опыт акустических исследований морского дна, буксируемому излучателю достаточно иметь ширину диаграммы направленности около 30° в одной плоскости – в плоскости движения буксирующего излучатель судна.

В настоящее время известны примеры создания в море излучающих зон больших размеров на основе лазерного излучения с борта самолета или космического аппарата [3,4]. Для генерации акустических импульсов в морской воде используется термоакустический эффект, возникающий при поглощении морской водой энергии мощных лазерных импульсов. В работе [5] описан проект комплекса, формирующего на поверхности моря световую зону диаметром в 100 м, в которой синфазно возбуждаются акустические импульсы.

Более энергоэффективным способом использования термоакустического эффекта является применение прямого импульсного нагрева тонкого слоя воды планарным электрическим нагревателем большой площади (размеры апертуры – несколько десятков метров) и достаточной

мощности. В этом случае отсутствуют потери энергии, связанные с преобразованием световой энергии в тепловую (коэффициент преобразования не более 10% за счет малого значения коэффициента поглощения света и больших потерь на отражение и переотражения света). Коэффициент преобразования электрической энергии в тепловую у планарного электронагревателя составляет 90% и выше, в зависимости от теплофизических параметров материалов, применяемых в излучателе.

Концептуальный облик такого электротермоакустического излучателя представляет собой разборную (для транспортировки на судне) буксируемую конструкцию шириной около 30 м, длиной в направлении буксировки 150 м, толщиной не более 0,2 м (для обеспечения жесткости конструкции). В излучателе может применяться самый эффективный режим термоакустического преобразования – с импульсным нагревом прилегающего к поверхности излучателя тонкого слоя воды до состояния кавитации и, при большей энергии импульса, до парообразования [6]. При этом для достижения заданной глубинности зондирования дна акустическим лучом шириной от 30° до 6° с узкой полосой излучаемых частот (в отличие от пневмопушки) в диапазоне 20-100 Гц (для акустического зондирования дна наиболее эффективны частоты до 100 Гц) достаточно создать уровни давления в 145 – 150 дБ/мкПа·м.

При длительности электрического импульса 10 мс порог кавитации в воде составляет около 2 Вт/см² [7], поэтому расчетная импульсная электрическая мощность излучателя с апертурой размерами 30 м на 150 м составит около 45 МВт. Учитывая, что зондирование дна при 2D-сейсморазведке осуществляется через каждые 20-30 м пути судна, т.е. примерно через 10 сек при скорости судна 4-5 узлов, то для электропитания излучателя необходима постоянная электрическая мощность 45 кВт. Размещение генераторной установки такой мощности на судне не представляет в настоящее время технической проблемы.

Примерное значение пикового уровня акустического давления, создаваемого электротермоакустическим излучателем, можно рассчитать по формуле, ранее приведенной в работах по оптоакустике [8]:

$$P_{\text{пик}} = E \cdot \beta \cdot c / \pi \cdot C_p \cdot R_0 \cdot r \cdot \tau,$$

где E – энергия электрического импульса, Дж; β – коэффициент объемного теплового расширения воды, град⁻¹; c – скорость звука в воде, м/с; C_p – удельная теплоемкость воды, Дж/кг·град; R_0 – размеры апертуры излучателя, м; r – расстояние от поверхности излучателя до расчетной точки по акустической оси, м; τ – длительность импульса, с.

При $E = 4,5 \cdot 10^5$ Дж; $\beta = (4,5 - 6,0) \cdot 10^{-4}$ град⁻¹ (для диапазона температур воды 40°...80°C); $c = 1,5 \cdot 10^3$ м/с; $C_p = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/кг·град; $R_0 = 38$ м

(размер радиуса круга, эквивалентного по площади апертуре излучателя); $r = 1$ м, $\tau = 10^{-2}$ с, пиковое значение давления $P_{\text{пик}}$ составит около 80 Па, или 155 дБ/мкПа · м на частоте 100 Гц.

Полученное значение акустического давления показывает, что создание и исследования экспериментальных образцов и прототипов электроакустических излучателей больших размеров является перспективной научно-технической задачей, решение которой позволит снизить негативное воздействие морских сейсмоакустических работ на окружающую среду. Эта задача полностью соответствует приоритетному направлению развития науки в Российской Федерации «Рациональное природопользование».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Cohen D. M.** Сейсмические исследования и морская фауна / D. M. Cohen // Нефтегазовые технологии. – 2008. № 4. С. 19-21.
2. **Веденев А.И.** Анализ влияния морской и прибрежной сейсморазведки и бурения скважин на миграцию лосося на о. Сахалин. Издание Всемирного Фонда дикой природы (WWF)/ А.И.Веденев. – Москва, 2009. URL: www.wwf.ru/data/pub/energy (дата обращения 20.01.2013 г.)
3. **Бункин Ф.В.** Оптическое возбуждение звуковых волн / Ф.В.Бункин, В.М.Комиссаров // Акустический журнал. – 1973. Т.19. Вып. 3. С. 305-320.
4. **Лямшев Л.М.** Лазерное термооптическое возбуждение звука / Л.М.Лямшев.- М.: Наука, 1989. 240 с.
5. **Домошенкин С.В.** Теоретические предпосылки создания навигационного гидроакустического поля сигналами, генерируемыми лазером в инфракрасном диапазоне с борта космического аппарата / С.В.Домошенкин, В.И.Лушанкин, В.В.Терентьев // Материалы Шестой Всероссийской научной конференции «Экология 2011 – море и человек». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – С.40-45.
6. **Божков А.И.** Лазерное возбуждение мощного звука в жидкости. Исследования по гидрофизике / А.И.Божков, Ф.В.Бункин, А.А.Коломенский, А.И.Маляровский, В.Г. Михалевич // Труды ФИАН им. П.Н. Лебедева. – М.: Наука, 1984. Т. 156. – С. 123–176.
7. **Сиротюк М.Г.** Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации // Мощные ультразвуковые поля / Под ред. Л.Д. Розенберга / М.Г.Сиротюк.- М.: Наука, 1968. – Ч.5. С.168–220.
8. **Наугольных К.А.** Импульсные акустооптические явления / К.А.Наугольных // Акустический журнал. – 1977. Т.23. Вып.1. – С. 170–173.

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В ПРИДОННОМ СЛОЕ: ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Пальшин Н.А., Егоров И.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-79-56,
palshin@ocean.ru, yegorov@ocean.ru*

The technology of EM field acquisition at the bottom of shallow water basin is described and possible origin of quasi-periodic natural signals is discussed. Special attention is given to electrokinetic mechanism of electric field generation.

В перспективных на нефть и газ мелководных районах (дельта реки Волги, Обская Губа, Ботнический и Финский заливы Балтийского моря, северная часть Каспийского моря) широко проводятся различные исследования, требующие измерения электрических полей. В первую очередь это геофизические работы направленные на поиски и разведку месторождений нефти и газа, а также газогидратов.

В лаборатории геофизических полей ведется разработка методики измерений электромагнитных (ЭМ) полей и современной специализированной современной аппаратуры для проведения электроразведочных работ методом магнитотеллурического зондирования на мелководье [1] выполняется в Лаборатории геофизических полей ИОРАН совместно с ООО «Северо-запад» и ООО «ВЕГА».

Основой всех ЭМ измерительных комплексов являются датчики электрического (неполяризующиеся электроды) и магнитного полей (магнитометры различных конструкций), с помощью которых измеряют компоненты ЭМ поля. При проведении измерений на суше электроды закапываются в увлажненный грунт, чем обеспечивается как электрический контакт со средой, так и некоторая теплоизоляция и неподвижность. Магнитометры также размещают в грунте, предварительно обеспечив их ориентацию по странам света и вертикали. Датчики соединяются с блоком электроники (регистратором) с помощью специальных кабелей, укладываемых на грунт или закапываемых в него.

Диапазон периодов измеряемых вариаций составляет от $0.3 \cdot 10^{-3}$ с до $5 \cdot 10^3$ с, а максимальная длительность непрерывной автономной работы

ДЭМС – 3 суток, что полностью соответствует требованиям промышленного стандарта магнитотеллурических зондирований, а также позволяет выполнять измерения ЭМ полей в режиме активного источника с использованием буксируемого горизонтального электрического диполя (донное частотное зондирование).

Опыт работ в таких акваториях, показал, что измеряемые электрические поля содержат квазипериодические сигналы природного происхождения, существенно затрудняющие выделение полезного сигнала, что делает актуальной задачу выяснения природы и особенностей этих полей.

Так при опытных электроразведочных работах на озере Селигер, в дельте Волги и на севере Каспия [1] было обнаружено, что записи горизонтальных компонент электрического поля содержат интенсивный квазигармонический сигнал в диапазоне частот 0.05 – 1 Гц (рис. 1), а записи, полученные в дельте Волги – шумоподобный сигнал на более высоких частотах в диапазоне от 1 до 10 Гц.

Спектральный анализ подтвердил, что на рассматриваемых записях, полученных в мелководной части (1.5–2 м) северного Каспия доминирует сигнал, имеющий типичные волновые характеристики (рис. 2). Очевидно, что наблюдаемые сигналы связаны с поверхностными волнами и придонными течениями [1, 2].

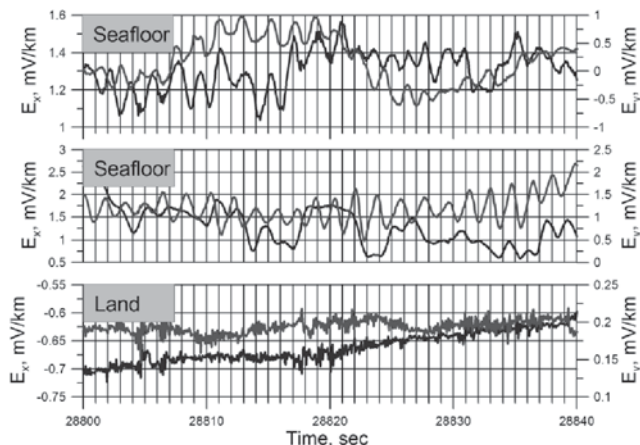


Рис. 1. Северная компонента электрического поля, измеренная на дне в северной части Каспия в практически пресной воде (верхняя и средняя панели). Для сравнения приведены записи, полученные на берегу (нижняя панель)

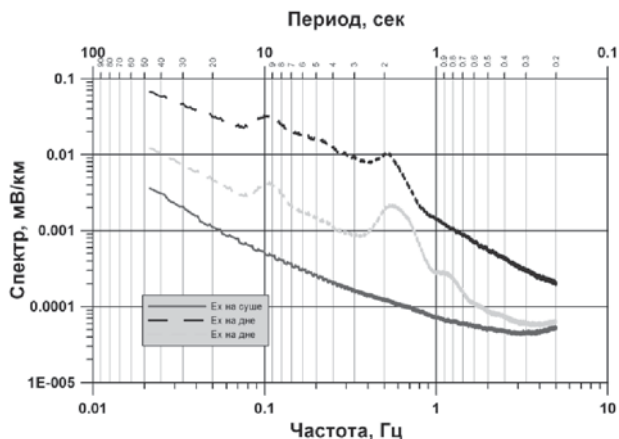


Рис. 2. Спектры вариаций электрического поля измеренных в северной части Каспийского моря. Для сравнения приведен спектр (нижние графики) опорного берегового сигнала

Известны три возможные причины возникновения этих полей – за счет силы Лоренца при движении проводящей жидкости (морская вода) в магнитном поле [2], электрокинетических эффектов [1], а также механического воздействия придонных течений на датчики.

Рассматривается ситуация для мелководных (до 50 м) бассейнов с относительно плоским дном, возмущенным поверхностными двумерными ветровыми волнами с фазовой скоростью от 1 до 10 м/с. При этом длина волны может составлять от 5 до десятков метров, а высота волны может достигать нескольких метров.

Оседание заряженных частиц придонной взвеси ведет к возникновению электрического поля седиментации, которое рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{k_1 \epsilon \epsilon_0 \zeta n V}{\sigma \eta + 4 \pi k_2 (\epsilon \epsilon_0 \zeta)^2 r n} \Delta \rho g ,$$

где E – напряженность электрического поля, n – концентрация частиц дисперсной фазы, ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды, ϵ_0 – электрическая постоянная, ζ – ζ -потенциал, r – радиус частицы, η – вязкость (динамическая) дисперсионной среды, σ – удельная электрическая проводимость дисперсионной среды, $\Delta \rho$ – разность плотностей дисперсной фазы и дисперсионной среды, V – объем частиц, g –

ускорение свободного падения, коэффициенты k_1 и k_2 зависят от формы частиц и соотношения их размеров с толщиной ионной атмосферы ДЭС.

Возникающая разность потенциалов между двумя рассматриваемыми точками на дне (потенциал течения), приводящая к возникновению горизонтальной компоненты электрического поля, на рассматриваемом участке дна описывается формулой:

$$\Delta\psi_p = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \zeta}{\eta \sigma} \Delta p,$$

где $\Delta\psi_p$ – разность потенциалов, Δp – перепад давления.

Для случая коротких волн (длина волны меньше половины глубины) электрокинетическое поле практически не возникает. Для длинных волн (длина волны больше удвоенной глубины) и при волнении в 2–3 и более баллов (высота волны больше 1–2 м) на дне пресноводных бассейнов в придонном слое электрокинетическое поле может превышать уровень естественного поля, что сильно затрудняет проведение электроразведочных работ магнитотеллурическим методом, а также прецизионные измерения прикладной направленности.

Таким образом, рассмотренный электрокинетический механизм возбуждения электрических полей на дне мелководных акваторий не может объяснить всех наблюдаемых явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пальшин Н.А., Яковлев Д.В., Яковлев А.Г., Егоров И.В., Гераскин А.И. Природа низкочастотного электрического поля в транзитной зоне. XVIII Международная научная конференция (школа) по морской геологии, ИО РАН, 2009. Том. V. С. 105–110.
2. Podney W. Electromagnetic fields generated by ocean waves // J. Geoph. Res. 1975. V. 80. P. 2977–2990.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ И РАЗЛОЖЕНИИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ГЛУБОКОВОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Егоров А.В.¹, Рожков А.Н.^{1,2}, Черняев Е.С.¹

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва
8 (499) 124-59-83, avegorov@ocean.ru*

² *Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
пр. Вернадского, 101 (к.1), 119526, г. Москва
8 (495) 434-33-52, rozhkov@ipmnet.ru*

Paper presents the methods of study of thermal processes in the course of transport of methane hydrate samples from the bottom of the deep water to the surface in the unpressurized containers by means of submersibles «Mir».

Работа предпринята с целью изучения тепловых процессов при транспорте аппаратами «Мир» образцов метановых гидратов со дна глубоководных водоёмов на поверхность в негерметичном контейнере [1].

В ходе экспедиции РАН «Миры на Байкале. 2008-2010» проведены глубоководные эксперименты по транспорту со дна озера на поверхность крупных фрагментов гидратов метана, отобранных механически из донных залежей, и гидратной пены, сформированной всплывающими со дна метановыми пузырями. Гидратные образцы обоих типов поднимались в контейнерах (с условными названиями "Телевизор" и "Термо"), в которых верхняя крышка и стенки непроницаемы, а дно отсутствовало – рис. 1 и 2. Температура в контейнерах и в гидросфере измерялась при помощи термодатчика ТНК компании nke INSTRUMENTATION и штатных термодатчиков аппарата «Мир». Измерения температуры осуществлялись в течение всего погружения с интервалом 1 минута.

При движении от дна озера к поверхности контейнера «Термо» с гидратной пеной происходило вытеснение воды из контейнера газом, который присутствовал в пене и который расширялся по мере снижения гидростатического давления [2]. Температура газа в контейнере с пеной непрерывно уменьшалась до глубины 800 м, затем наблюдался её небольшой рост – рис. 3.

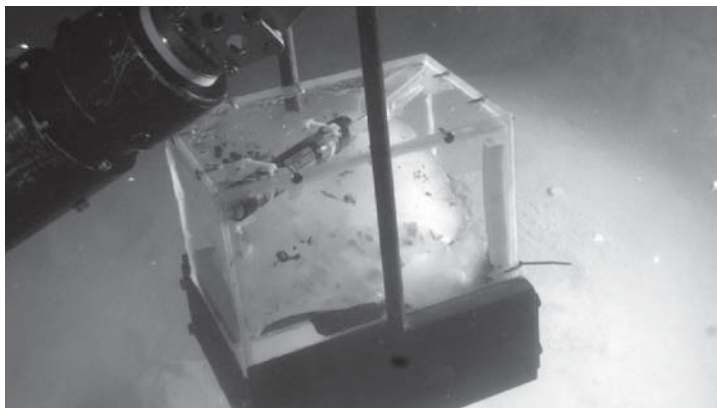


Рис. 1. Контейнер «Телевизор» (297×210×210 мм) с фрагментом метанового гидрата. Под крышкой закреплён термодатчик ТНР



Рис. 2. Контейнер «Термо» с гидратной пеной. Диаметр цилиндрической части 70 мм. Внутри закреплён термодатчик ТНР

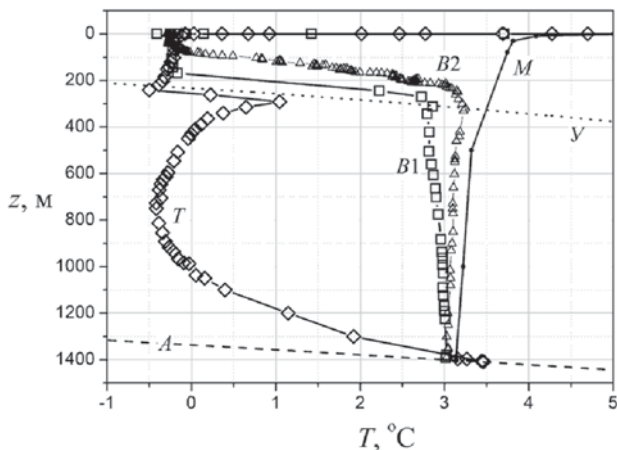


Рис. 3. Изменение температуры с глубиной при всплытии аппарата «Мир». Представлены данные внешнего термодатчика аппарата «Мир» (М), термодатчиков в контейнерах «Термо» (Т) и «Телевизор» (В1 и В2 – данные верхнего и нижнего термодатчиков). Показаны предсказания на основе адиабаты Пуассона (А) и граница зоны устойчивости гидратов, как функция температуры (У)

В контейнере с крупными фрагментами существенного изменения температуры не наблюдалось. Однако, как только контейнеры поднялись выше границы зоны термодинамической устойчивости гидратов, температура в обоих контейнерах резко упала. Достигнув отрицательных значений, температура также резко стабилизировалась и не изменялась далее до момента достижения поверхности. Снижение температуры в пене в течение подъёма объясняется охлаждением газа за счёт совершения работы против сил гидростатического давления, а падение температуры на границе зоны термодинамической устойчивости гидратов связано с поглощением тепла при разложении гидрата [3].

Анализ данных и теоретическое моделирование [3] показывают, что путём предварительного наполнения контейнера газом, минимизации поверхности контейнера, снижения теплопроводности стенок контейнера, а, главное, увеличения скорости подъёма контейнера можно существенно приблизить к поверхности момент начала разложения отобранных гидратов. В момент начала разложения гидрата в контейнере, наполненном газом, наблюдается сброс температуры, вызванный интен-

сивным поглощением тепла при разложении. Температура снижается до отрицательных значений, после чего возникает эффект самоконсервации – покрытие льдом поверхности гидрата. В результате первоначально высокая скорость разложения гидрата значительно снижается и температура стабилизируется. В таком состоянии гидрат может быть поднят на поверхность. Предполагается, что благодаря предложенным мерам удастся заметно снизить потери гидрата метана при транспортировке в простейшем негерметичном контейнере.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 23, Подпрограммы «Природа Мирового океана» ФЦП «Мировой океан» (проект 0013) и Фонда содействия сохранению озера Байкал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров А.В., Римский-Корсаков Н.А., Рожков А.Н., Черняев Е.С. Первый опыт транспорта глубоководных гидратов метана в негерметичном контейнере. Океанология. 2011. Т. 51. № 2. С. 376–382.
2. Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н. Переход глубоководных метановых пузырей в твёрдые гидратные формы // Препринт ИПМех РАН № 1038. 2013. 34 с.
3. Егоров А.В., Нигматулин Р.И., Рожков А.Н., Черняев Е.С. Тепловые эффекты при транспорте глубоководных гидратов метана в негерметичном контейнере. Препринт ИПМех РАН № 1009. 2012. 25 с.

УДК 551.465

ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОГО ОБМЕНА МЕЖДУ ДОННЫМИ ОСАДКАМИ И МОРСКОЙ ВОДОЙ (МЕТОД ИЛОВЫХ ВОД, БОКСОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ЛЕНДЕРЫ)

Розанов А.Г., Егоров А.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр. 36, 117997, г. Москва
8(499)129-20-27, e-mail: rozanov@ocean.ru*

Pore water chemical analysis, benthic chamber (box) experiments and landers were used to estimate chemical fluxes through the water-sediment interface. Results on O₂, nutrients and metals are considered.

Процессы химического обмена на границе вода-дно играют заметную роль не только в глобальных процессах формирования состава морской воды и донных отложений, но и имеют экологическое значение, особенно в прибрежных зонах. Эти процессы, регулируемые состоянием и составом поверхностных донных осадков и придонной воды, оцениваются методами мониторинга, которые включают как отбор и анализ проб, так и дистанционные определения. Движущей силой химического обмена является разница в концентрациях растворенных компонентов между придонной водой и осадками, изменяющими состав в ходе старения, упорядочения структуры и биогеохимических реакций, которые происходят при участии органического вещества и донных организмов. Последние, наряду с турбулентными процессами, в придонном слое воды ответственны за биотурбацию и биоирригацию верхнего слоя отложений.

В первом приближении для оценки химического обмена обычно используют диффузионный закон Фика (метод иловых вод), согласно которому потоки растворенных компонентов оцениваются по формуле $J = -Ddc/dx$, где D – коэффициент диффузии соответствующего компонента с необходимыми поправками, а dc/dx – концентрационный градиент, рассчитанный по данным химического анализа. На рис.1 приведены результаты химического анализа иловой воды, в которой происходят изменения концентраций сульфатов, аммиака и щелочности для прибрежных восстановленных осадков. Экстраполяция этих данных на нулевой горизонт (граница вода-дно) позволяет рассчитать потоки. Условность этих расчетов связана с трудностями учета влияния бентоса, а также пограничного слоя осадков, ограничивающего масштабы диффузионного обмена.

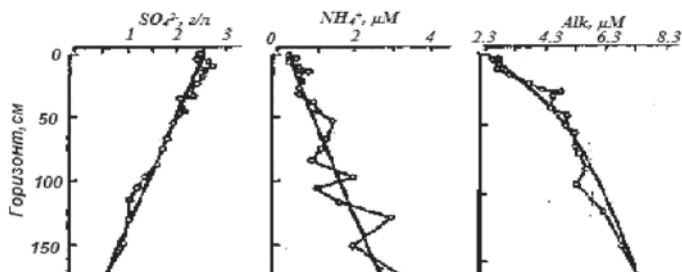


Рис.1. Распределение химических элементов в иловой воде осадков Атлантического океана района р. Конго (экспериментальные точки и кривые распределения, полученные регрессионным анализом)

В отличие от расчета прямые измерения химического обмена проводятся либо методом инкубации колонки морского грунта вместе с придонной водой в лаборатории (jar experiments), либо *in situ* методом боксовых экспериментов путем постановки боксов (benthic chambers), изолирующих небольшой участок дна и придонной воды. Наряду с основным (рабочим) боксом мы применяли бланковый бокс, содержащий только придонную воду без контакта с дном (рис 2). Контролируемое изменение концентраций *in situ* в боксах, снабженных системой перемешивания, является мерой химического обмена через границу водадно. Для оценки гидродинамики мы применяли препараты гидрохинона (третий бокс и кассета снаружи – не показаны на рис. 2), растворимость которого зависит от скорости течений.

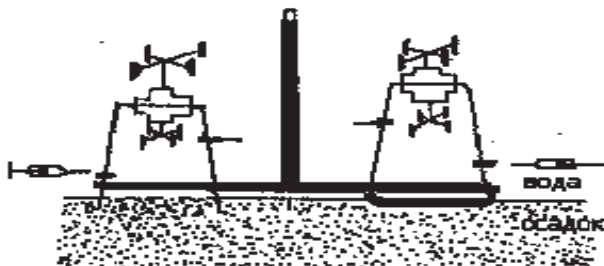


Рис. 2. Схема постановки боксовых экспериментов

Боксовые эксперименты, обслуживаемые водолазами-ныряльщиками, были заменены на автономные автоматизированные донные станции – лендеры, рассчитанные на большие глубины, снабженные электроникой, концентрационными датчиками и шприцами для отбора проб (рис. 3).

Лендеры начали применяться в 70-х годах прошлого века, в 90-х их количество насчитывалось единицами. Боксовые эксперименты мы начали в конце 80-х [1, 2], первый лендер ИО РАН появился в 2003 г. [3]. Он применялся в режиме инкубации на дне, за рубежом в это время появились самовсплывающие лендеры, выполняющие профилирование верхнего слоя донных осадков и отбор проб придонной воды. В систему лендеров включались седиментационные ловушки, измерители течений и фотоустановки. Расширилось число концентрационных датчиков, из которых наибольшее распространение получили оптоды, фиксирующие потребление кислорода.



Рис. 3. Общий вид лендера ИО РАН с 3-мя боксами (1), блоком управления (контроллер) и даталогером (2), оптодом (3), шприцами (4) и гидрохиноновой кассетой (5)

Наибольший интерес вызывают результаты потребления кислорода [4], который расходуется на дыхание бентоса и окисление органического вещества донных осадков. Обычно существенно меньшее потребление кислорода придонной водой может заметно увеличиться под влиянием антропогенных загрязнителей, особенно вблизи бытовых и промышленных стоков. Образующаяся в результате окисления углекислота находит отражение в росте щелочности и увеличении pH в рабочем боксе, сопутствующие изменениям в карбонатной системе. В глобальном плане изменение в системе CO_2 сказывается на климатических процессах. Изменение концентраций в боксах позволяет оценить скорости и тонкие механизмы биохимических превращений диагенеза на уровне фоновых концентраций при экспозициях на морском дне, не превышающих одни сутки. Более продолжительные экспозиции приводят к изменениям в воде боксов, которые искажают условия первоначального естественного биогеохимического обмена через границу вода–дно. С другой стороны уменьшение кислорода в боксах позволяет оценить условия гипоксии и даже аноксии, связанной с появлением сероводорода в придонной воде.

Разложение органического вещества в осадках не всегда приводит к росту его компонентов (P, Si, N) в придонной воде. Например, наличие окисленного слоя на поверхности дна, наоборот, вызывает переход фосфатов из придонной воды в осадок. Появление горизонтальных площадок на кинетических кривых химического обмена может свидетельствовать об изменении условий диффузии и т. д.

Любопытные данные получены по потокам железа и марганца, которые также выделяются в растворенной форме из осадков, но, в отличие от марганца, железо может задерживаться поверхностной пленкой осад-

ка в окислительных условиях, а может свободно переходить в придонную воду в субокислительных условиях.

Процессы рециклинга органического вещества, биогенных элементов и металлов, также процессы метанообразования являются, наиболее востребованными в исследованиях химического обмена на границе вода–дно.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Розанов А.Г., Стоянов А.С., Вершинин А.В.** О методике прямого измерения химического обмена на границе придонная вода-морское дно // Океанология. 1988. Т.28.№ 4. С. 680-685.

2. **Вершинин А.В., Розанов А.Г.** Химический обмен на границе вода-дно в океанах и морях. М.: ГЕОС. 2002. 164 с.

3. **Розанов А.Г., Егоров А.В., Вершинин А.В.** Лендер ИО РАН – донная станция для изучения химического обмена на дне моря // Океанология. 2006. Т. 46. № 4. С. 612-620.

4. **Розанов А.Г., Вершинин А.В., Егоров А.В.** Исследование химического обмена на границе вода-дно в Голубой бухте Черного моря // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 3. С. 341-350.

УДК 550.83 (86)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕГО СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО И ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОБЛЕМ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ СО ДНА МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ

**Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Мелузов А.А.,
Мутовкин А.Д., Росляков А.Г.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва
8(499)124-85-40, nnd2008@rambler.ru*

The report describes the experience of sharing high resolution acoustic, in conjunction with geological and geophysical equipment in carrying out investigations aimed at the comprehensive study of the problem of methane emission from the seabed of East Arctic.

В докладе описан опыт совместного использования высокоразрешающего сейсмоакустического комплекса в совокупности с геологической и геофизической аппаратурой в рамках выполнения исследований, направленных на комплексное изучение проблемы метановыделения со дна морей Восточной Арктики.

Работы проводились в рамках совместных российско-американских экспедиций на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2011 году и на гидрографическом судне «Виктор Буйницкий» в 2012 году. Финансирование работ осуществляется Российским фондом фундаментальных исследований, Национальным научным фондом США и Национальным фондом США по океану и атмосфере. В работах кроме ИО РАН принимали участие сотрудники Тихоокеанского океанологического института РАН, а также научно-исследовательского центра Аляска-Фэрбанк и университета Джорджии из США.

Основной целью проводившихся исследований являлось обнаружение и картирование зон аномального газовыделения в море Лаптевых, а также отработка методов качественной и количественной оценки выделяющихся объемов УВГ.

Задача обнаружения, картирования и предварительной оценки объемов газовыделения возлагалась на высокоразрешающий сейсмоакустический комплекс [1], состоящий из параметрического эхолота-профилографа SES-2000 standart [2], гидролокатора бокового обзора «Гидра 250/500», многолучевого эхолота – сонара Imagenex Model 837B «Delta T». На рис.1 приведена схема расположения приемопередаточных антенн указанных приборов на судне.

Все три антенны были установлены на одну поворачивающуюся в вертикальной плоскости штангу, которая позволяла легко переходить из походного положения (рис. 1) в рабочее. В рабочем положении штанга опускалась вертикально вниз, при этом антенны погружались на глубину осадки судна, что обеспечивало работу ГБО и многолучевого эхолота в оба борта. Одновременная работа трех антенн, расположенных практически в одном и том же месте, позволила взаимно дополнить информативность каждого из используемых методов, а также расширить возможности интерпретации получаемых данных.

Данные ГБО позволяли идентифицировать форму донных объектов (борозда, воронка, протяженная структура), а данные SES, в случае нахождения предметов точно по курсу, – уточнять их реальные геометрические размеры. Многолучевой эхолот-сонар использовался в основном для регистрации выходов газа в полосе ± 60 град относительно курса судна.



Рис. 1. Штанга с антеннами ГБО (сверху), эхолота-профилографа (в середине) и многолучевого эхолота (внизу) в походном положении

Наиболее информативным с точки зрения прямой регистрации выходящих в воду газовых потоков являлся высокочастотный канал эхолота-профилографа SES-2000. Высокая помехоустойчивость системы, стабилизация при волнении и узкая диаграмма направленности излучаемого сигнала позволяли идентифицировать практически все формы газовыделения со дна: от мелких одиночных источников до сплошных газовых факелов, протяженностью до 1 км.

На следующем рисунке приведены примеры регистрации газовыделений различного вида.

Забор проб газа для анализов осуществлялся с помощью набора батометров, опускаемых на дно на специальной раме, и установленного на этой же раме подводного телеуправляемого аппарата «Гном». Точность предварительного позиционирования зоны газовыделения, а также визуальный контроль с помощью аппарата «Гном» реального места выхода газа со дна (струя пузырьков), позволили осуществлять прецизионный забор образцов газа в выбранный батометр с расстояния не более 0.5 м от дна.

Также сейсмаакустический комплекс использовался для определения наиболее перспективных мест пробоотбора, то есть тех зон, где газонасыщенные слои подступают снизу наиболее близко к дну и где, соответственно, можно ожидать наиболее высокой концентрации газа в получаемых кернах. При этом для идентификации расположенного под дном газового фронта использовались в основном данные низкочастотного канала эхолота-профилографа. Пробоотбор осуществлялся с по-

мощью опускаемой с борта судна вибрационной трубки, позволяющей осуществлять забор ненарушенных кернов длиной до 5 м определения. Повышенное содержание газа в осадках, помимо геохимических исследований, нередко подтверждалось наличием растрескивания колонок осадков (рис. 3).

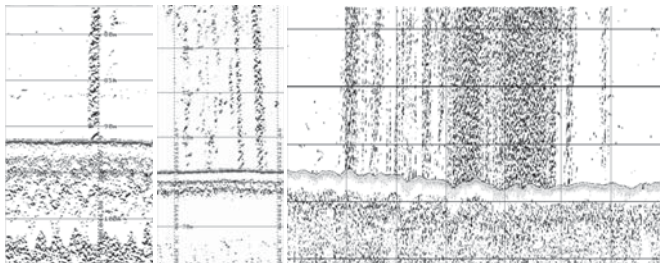


Рис. 2. Регистрация газовых выходов различного вида: слева – одиночный газовый источник, в центре – последовательность газовых источников, справа - сплошной газовый факел



Рис. 3. Газопроявления в полученном керне

В целом, проведенные исследования подтвердили высокую эффективность использования высокоразрешающих акустических методов для исследования газонасыщенности придонных слоев и донного газовыделения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Либина Н.В., Росляков А.Г.** Сейсмоакустический комплекс для исследования верхней осадочной толщи и рельефа морского дна. //Океанология, 2012. Т. 53. № 2.
2. **Wunderlich J., Muller S.** High-resolution sub-bottom profiling using parametric acoustics// International Ocean Systems. July/August 2003.

III. ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТЫ, ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

УДК 551.46.077:629.584

ПРИОРИТЕТЫ ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ PRIORITIES OF THE UNDERWATER ROBOTICS

Наумов Л.А., Матвиенко Ю.В., Киселев Л.В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем морских технологий ДВО РАН
690091. Владивосток, ул. Суханова, 5а
Тел/факс (423)2432416, E-mail:imtp@marine.febras.ru*

The paper deals with the actual problems of the development of the underwater robotics complex which includes the autonomous, remote controlled and towed vehicles. The experience IMTP FEB RAS is assumed in the field of creation and practical use of the AUV for oceanological investigating.

Рассматриваются проблемы развития подводного робототехнического комплекса, включающего автономные, телеуправляемые и буксируемые аппараты. Созданные в ИПМТ ДВО РАН средства многократно использовались при выполнении поисково-обследовательских работ, геологической разведки морских минеральных ресурсов, научных исследований по гидроакустике, экологии, морской биологии. Значительная часть этих работ выполнена при сотрудничестве с ведущими организациями в области морских технологий и по решениям правительства.

В настоящее время Институт выполняет научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, результативность которых связана с развитием ряда приоритетных научно-технических направлений. В их числе:

- исследовательское проектирование комплекса аппаратов различных функционально-структурных конфигураций;
- организация бортовых интегрированных систем управления и навигации при работе в сложных и экстремальных условиях подводной среды;
- создание гидроакустических средств навигации, управления, контроля и связи;

- создание комплекса систем технического зрения, включающего гидролокационные, фототелевизионные и геофизические средства исследования дна и донных объектов;
- методическое обеспечение и создание эффективных технологий для проведения испытаний и выполнения реальных работ с использованием подводных аппаратов;
- создание электронной базы данных для проектирования в области подводной робототехники.

Решение многих приоритетных проблем связано с широкой кооперацией при создании современных многофункциональных комплексов. По ряду инновационных, опытно-конструкторских и научно-исследовательских проектов ИПМТ ДВО РАН, выступает в качестве головной организации.

Создание перспективных многофункциональных комплексов предполагает дальнейшее развитие работ в таких направлениях как:

- повышение автономности и дальности действия подводных роботов на основе новых энерготехнологий и высокоточных средств навигации;
- разработка «интеллектуальных» автономных систем управления и ориентирования в подводном пространстве;
- организация робототехнических комплексов и системных архитектур с использованием новейших компьютерных и электронных технологий;
- выработка общей идеологии по созданию универсальных комплексов с относительно простыми, надежными и эффективными аппаратами.

В докладе рассматриваются также организационные проблемы, от решения которых зависят перспективы развития подводных робототехнических средств.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВОДОЛАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С НЕОГРАНИЧЕННОЙ ГЛУБИНОЙ ПОГРУЖЕНИЯ И ОСВОЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ МИРОВОГО ОКЕАНА

Стрельцов А.Я.

*Частное лицо, e-mail: deepdivertech@yandex.ru ,
сайт: <http://deepdivertech.narod.ru>*

Paper presents of the method (the mathematical theory) for create of The perspective diving technologies with unlimited depth of immersing and extraction of mineral resources of the World Ocean.

В докладе представлен способ (математическая теория), необходимый для создания Водолазной технологии с неограниченной глубиной погружения, что важно для освоения минеральных ресурсов мирового океана.

Автор доклада представляет свои разработки (рис. 1), проводит сравнительный анализ с работами конкурентов, рассматривает текущие задачи проектирования.



Рис. 1 Патент на изобретение № 2134193 Ru

На рис. 2 приведен механизм подвеса человека-оператора, позволяющий в копирующем режиме дистанционно управлять герметичным антропоморфным роботом-водолазом (роботом-аватаром).

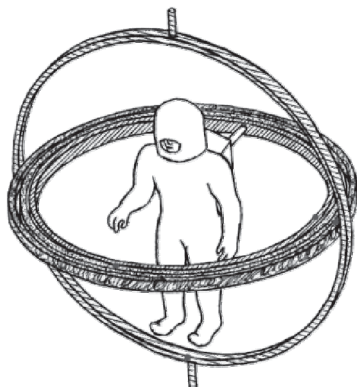


Рис. 1. Механизм человека-оператора

ЛИТЕРАТУРА

1. **Стрельцов А.Я.** Патент на изобретение «Способ дистанционного управления антропоморфным шагающим копирующим роботом» // М., 1999 г., Научно-исследовательское отделение ФИПС по подготовке официальных изданий (*Описание можно найти в Интернете: <http://deepdivertech.narod.ru/rd.htm>*)
2. «Делай, как Я!» – статья в журнале Юный техник № 9 за 2006 г., стр. 14 – 15 (<http://aleksstreltsov12.narod.ru/MePublish.htm>)
3. **Птичкин С.** Под водой станут работать андроиды / Птичкин С. // Российская газета от 13.12.2012 г. (<http://www.rg.ru/2012/12/13/androidy-site.html>)

О СОДЕРЖАНИИ КУРСА «ПОДВОДНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Алексеев Ю.К.

*Дальневосточный федеральный университет (ДФУ)
Инженерная школа.*

*ул. Пушкинская 10, 690090, Владивосток
Тел.: (423) 2450864, e-mail: jkalekseev@mail.ru*

We would like to discuss the Underwater Robotics discipline content. That discipline is studied by the different specialization students of FEFU Engineering School.

Для создания и грамотной эксплуатации современных сложных подводных робототехнических систем (ПРС) необходимы инженеры различных специальностей. Однако гидромеханики и гидроакустики, приборостроители и электронщики, конструкторы, схемотехники, специалисты в области систем управления и информационных технологий должны иметь хотя бы общее представление о выполняемых задачах; агрессивной среде, в которой функционируют ПРС; особенностях конструкций, работающих под высоким давлением; о принципах построения, взаимодействии и совместимости разнообразных узлов и подсистем, входящих в состав ПРС и т. п. Дать такие знания студентам мы пытаемся в предлагаемом к обсуждению курсе. Ниже приводится его примерное содержание.

Модуль I. Значение Океана в жизни человечества

Раздел 1. Элементы океанологии. Т. 1. Распространение вод на планете. Круговорот воды в природе, Течения. Приливы и отливы. Волны и шкала Бофорта. Глубины океана. Континентальный шельф. Материковый склон. Ложе океана. Глубоководные желоба и впадины. Классификация прибрежных зон и типов дна океана. **Т. 2. Свойства воды.** Пресная вода. Солёная вода и солёность. Сжимаемость воды. Плотность. Вязкость. Температура воды. Удельная электропроводность. Растворённые газы. Скорость звука и звуковые каналы. Свет и другие электромагнитные явления в воде (поглощение, преломление, рассеивание). Солнечная радиация. Мутность. Хлорофилл. Ионная концентрация. Качество воды. Агрессивность морской среды. **Т. 3. Основные направления деятельности человека в океане.** Океанологические и гидрографические исследования. Оценка экологического состояния водной среды и мониторинг океанов. Гидробиологические исследования. Морская геология. Историко-археологические исследования. Судоходство. Рыбохозяйственная деятельность и морекультура. Обслуживание подводных нефтепромыслов, разведка и разработка подводных месторождений. Прокладка и обследование подводных трубопроводов и линий связи. Строительно-монтажные работы. Аварийно-спасательные работы и ликвидация последствий природных и техногенных катастроф. Военная деятельность.

Модуль II. Технические средства обеспечения подводных работ и исследований

Раздел 1. Классификация технических средств освоения океана. Т. 1. Обитаемые подводно-технические средства (ОПТС). Гиперба-

рические ОПТС – лёгководолазное снаряжение, достигнутые глубины; водолазные колоколы, открытые буксировщики водолазов, транспортно-рабочие камеры с водолазным отсеком («мокрые» и «сухие») подводные сварочные камеры, блочные ремонтные комплексы и т.п.), обитаемые подводные аппараты с выходом водолазов в воду, подводные лаборатории. **Нормобарические** ОПТС: подводные лодки, обитаемые подводные аппараты, антропоморфные скафандры. **Т. 2. Необитаемые подводно-технические средства** (НПТС). Альтернативные классификационные признаки. Классификация НПТС по автономности, способу передвижения, наличию плавучести, рабочей глубине, весу, габаритам, схеме функционирования, назначению, функциональным и конструктивным особенностям, стоимости. Комбинированные (двухзвенные) привязные подводно-технические системы. Классификация по виду канала связи и степени совершенства систем управления.

Раздел 2. Исторические вехи и тенденции развития подводной робототехники. Т. 1. Развитие подводной робототехники за рубежом. Создание эхолота. Первые применения подводной фото- и киноаппаратуры, подводных телевизионных систем и гидроакустических локаторов. Подводные бульдозеры. Донный манипулятор «*RUM-I*». Комплексная поисковая буксируемая система «*NRL*». Привязной телеуправляемый подводный аппарат (ПТПА) «*CURV-I*». АНПА «*SPURV*». Осуществление проекта «*Дженифер*». Создание глубоководной двухзвенной системы ОПА-ПТПА «*Alvin-Jason-Junior*». Двухзвенный донно-плавающий комплекс «*FlexJet*». Двухзвенный буксируемо-привязной комплекс «*Kaiko*». Групповая работа телеуправляемых подводных роботов при ликвидации последствий нефтяной катастрофы в Мексиканском заливе. Полуавтономный исследовательский глубоководный аппарат «*Nereus*». **Т. 2. Развитие отечественной подводной робототехники.** Создание самоходных моделей ПЛ в ЦНИИ Крылова. Телеуправляемые подводные аппараты отдела технических средств глубоководных исследований ИО АН СССР. ПТПА: «*Краб*», «*Манта-500*», «*Манта-1500*»... Заключение ГУНиО МО СССР договоров «*Портодромия*» и «*Локсодромия*» с ЛКИ, ДВПИ, ИАПУ ДВНЦ и с ИО АН СССР на разработку систем с глубинами до 6 000 м. Перспективные разработки ПТПА МВТУ им. Н.Э. Баумана и НКИ. НТПС «Южморгео». АНПА «*Янтарь*» СПМБМ «Малахит». Разработки ЗАО «Интершельф-СТМ», ЦНИИ «Гидроприбор», Инженерного центра «Глубина». Семейство осмотровых ПТПА «*Гном*» ООО «Индэл-Партнёр». Двухзвенные системы «Мир – Deep Rover». **Т. 3. Развития подводной робототехники в Дальневосточном регионе.** Инициативные НИР кафедры гиросприборов ДВПИ.

Исследование проблем управления буксировкой подводных объектов. Создание глубоководной двухзвенной буксируемо-привязной системы «Лортодромия». Создание глубоководного комплекса НПТС «Лино-тип»: «Лт-1», «Лт-2», «Лт-3»; буксируемых аппаратов «Бобёр», «Геолог». Разработка в КБ «Дальнее» ПТПА «Малыш». Развитие подводной робототехники в ИПМТ ДВО РАН. Создание шельфовых АНПА в лаборатории СНИУ ИАПУ ДВНЦ АН СССР. Развитие концепции построения обзорно-поисковых робототехнических систем. «МТ-88» и его модификации – серия многопроцессорных АНПА широкого применения. Создание АНПА повышенной автономности. Заключение зарубежных контрактов и создание АНПА на международной элементной базе. *САНПА-1* – первый аппарат на солнечной энергии.

Модуль. III. Элементы гидромеханики и конструкций подводно-технических средств

Раздел 1. Основы гидромеханики. Т. 1. Гидростатика подводных аппаратов. Водоизмещение. Закон Архимеда. Остаточная плавучесть. Обеспечение и регулирование Влияние гидрологических характеристик. Остойчивость подводных аппаратов. Метацентр. Метацентрическая высота. Балансирование и балластирование (вывеска) П.А. **Т. 2. Элементы гидродинамики подводных аппаратов.** Гидродинамические силы и моменты, действующие на подводный аппарат. Присоединенные массы и моменты инерции. Гидродинамическое сопротивление. Уравнения динамики. Математические модели подводных аппаратов как объектов управления. Идентификация параметров.

Раздел 2. Конструктивные элементы и узлы подводно-технических средств. Т. 1. Модульный принцип конструирования подводно-технических средств. Функциональные, системные и конструктивные модули. Иерархия и преемственность модульных конфигураций. Унификация и агрегатирование. Унифицированные конструктивные элементы подводных роботов. **Т. 2. Модульные элементы конструкций НПА.** Прочные корпуса. Выбор формы и материала. Практические схемы расчёта. Узлы герметизации (уплотнения). Несущая конструкция. Средства обеспечения плавучести. Обтекатели. Герметичные вводы и соединители, герморазъемы. Погружные элементы. Элементы шланговой арматуры. Компенсаторы. Балластная и уравнивательные системы. Компоновка АНПА. **Т. 3. Особенности конструкций привязных телеуправляемых подводные аппараты (ПТПА).** «Кроватно-рамная» конструкция ПТПА. Проблемы троса и кабеля. Оптоволоконный кабель. Двухзвенные ПТПА. Системы глубоководного погружения (TMS). Энергоякорь. Гараж.

Модуль IV. Системные модули и комплексы подводных роботов

Раздел 1. Базовый состав систем и комплексов НПА. Т. 1. Движительно-рулевые комплексы. Средства активного управления ПА. Винты с насадками и на поворотных колонках. Водометные, крыльчатые, плавниковые движители. Типовые схемы движительно-рулевых комплексов (ДРК) ПА. Приводные электродвигатели. Погружные электродвигатели постоянного и переменного тока. Движители с магнитными муфтами. Преобразователи напряжения и частоты ДРК. Усилители мощности. Гидромоторы. Понятие о характеристиках гребных винтов. Средства управления движением буксируемых систем. **Т. 2. Системы энергоснабжения.** Проблемы автономного энергоснабжения. Аккумуляторы. Погружные аккумуляторы. Способы подводной зарядки. Электрохимические генераторы. Малогабаритные реакторы. Солнечные батареи. Системы энергоснабжения ПТПА. **Т. 3. Навигационный комплекс.** Системы координат. Инерциальная, географическая, судовая, донная, связанная, поточная. Морская обсервация и счисление пути. Принципы инерциальной навигации. Гироскопические приборы и навигационные акселерометры. Гироскопические компасы и полукомпасы. Гировертикали. Гироскопические датчики угловых скоростей. Маятниковые приборы. Средства магнитной навигации. Магнитный компас. Магнитометры. Магнитные локаторы. Магнитные зонды и градиентометры. Датчики глубины (давления). Абсолютные и относительные лаги. Гидроакустические навигационные системы. Общие принципы построения радионавигационных систем и систем космической (спутниковой) навигации. Принципы комплексирования навигационных систем. Навигация подводных роботов на основе систем технического зрения. **Т. 4. Системы телеметрической связи.** Методы и средства передачи информации. Аналоговые и цифровые системы передачи информации. Информационная пропускная способность гидроакустического, кабельного (электромагнитного) и волоконнооптического каналов связи. Кодирование информации. Помехоустойчивость. Основные элементы и узлы систем телеметрии. **Т. 5. Системы управления НПА.** Общая структура систем управления ПА. Разомкнутые и замкнутые системы автоматического управления (САУ) движителями ПА. Системы автоматической стабилизации линейных и угловых координат ПА. Датчики САУ. Устройства обработки информации. Исполнительные устройства САУ. Алгоритмы управления движением. Системы отображения информации. Оператор в системе телеуправления ПА. Иерархическая и гетерархическая структуры систем управления. Супервизорное управление. Информационно-измерительная система. Манипуляторы и рабочие органы.

Модуль V. Методы и средства испытаний подводных роботов

Раздел 1. Классификация испытаний. Т. 1. Принципы классификации испытаний. Классификация испытаний проводимых на стадиях исследований, проектирования и изготовления: по значению (цели), по условиям (месту) проведения, по продолжительности и величинам воздействующих нагрузок, по принципам осуществления, по степени (результатам) воздействия, по виду воздействия, по определяемым характеристикам объекта, по стадиям жизненного цикла изделия. Способы проведения испытаний: последовательные, параллельные, последовательно-параллельные, комбинированные. **Т. 2. Классификация испытаний по виду внешних воздействий.**

Раздел 2. Виды испытаний. Т.1. Испытания на механические воздействия. Определение резонансных частот и проверка их отсутствия. Испытания на виброустойчивость и вибропрочность. Схема установок для испытания на воздействие вибраций. Характеристики испытательного оборудования. Классификация вибрационных установок. Электромеханические и электродинамические вибростенды. Виброметры. Особенности испытаний на ударную прочность и удароустойчивость. Ударные стенды. Гидростатические испытания. Камеры высокого давления. **Т. 2. Климатические испытания.** Климатические камеры и их основные параметры. Проведение испытаний на воздействие повышенной и пониженной температуры, циклического её изменения и термоудара. Особенности комбинированных камер. Термодатчики. Цель и условия проведения испытаний на воздействие повышенной влажности. Способы получения и измерения повышенной влажности. Сорбционные и термодинамические средства измерения. Автоматическое регулирование влажности. Методы испытаний; длительные, ускоренные и кратковременные испытания. Цель и условия проведения испытаний на воздействие соляного (морского) тумана. Камеры и их основные параметры. Способы получения морского тумана. Средства измерений.

Модуль VI. Области эффективного применения робототехнических систем

Поисковые и аварийно-спасательные работы. Использование в морском флоте. Океанологические исследования и гидрография. Гидробиологические исследования и рыбохозяйственная деятельность. Морская культура. Разведка полезных ископаемых. Обслуживание подводных нефтепромыслов. Подводные строительно-монтажные работы. Экологические исследования и мониторинг океана. Подводные роботы в историко-археологических исследованиях. Военные применения подводных роботов.

В заключение заметим, что на наш взгляд подобный курс был бы полезен в образовательных программах, готовящих специалистов в различных областях подводных работ и исследований. Он мог бы помочь будущему морскому практику (океанологу, гидрографу, экологу, археологу, рыбаку, гидротехнику, военному моряку и спасателю) оценить перспективы использования подводных роботов в сфере их профессиональных интересов. Мы убеждены, что уже сегодня все подводные технологии должны проектироваться с учётом участия в них робототехнических систем.

УДК 681.52: 629

ВОЗМОЖНОСТИ ОН-ЛАЙН ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПОДВОДНОГО АППАРАТА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ИНВЕРСНОЙ МОДЕЛИ

Блинцов С.В., Надточий В.А.

*Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова,
54025, Украина, г. Николаев, пр. Героев Сталинграда, 9,
+38(050)3942455, blintsov@mail.ru*

The possibilities of parameters identifying of the inverse model of underwater vehicle directly in the work process (in online mode) are shown. The simple methods for obtaining the necessary experimental data are given.

Наиболее перспективными системами автоматического управления движением подводных аппаратов (ПА) и эффективными с точки зрения точности и быстродействия являются системы на базе инверсных моделей объекта [1]. Однако, их основным недостатком является сложность получения инверсной модели. Для получения математической инверсной модели необходимо максимально точно определить все коэффициенты и нелинейные зависимости, которые характеризуют движение твердого тела в жидкости. Для нейросетевой инверсной модели нужно провести достаточно объемную серию экспериментов, от точности и соблюдения условий проведения которых будет зависеть точность полученной модели. В качестве развития данного направления предлагается следующий подход, устраняющий указанные недостатки.

Рассмотрим объект управления, динамику которого можно представить дифференциальным уравнением первого порядка:

$$k_1 x' = u - k_2 x + D, \quad (1)$$

где x, x' – управляемая величина и ее производная по времени, соответственно; u – управляющее воздействие; D – внешнее возмущение; $k_{1,2} = f(u, x, x', t)$ – нелинейные (нестационарные) коэффициенты объекта управления.

В соответствии с принципом прямого инверсного управления можно рассчитать управляющее воздействие по закону

$$u = k_1 x_d' + k_2 x - D,$$

где $x_d' = (x_d - x)/\Delta t$ – желаемое значение прироста управляемой величины, x_d – желаемое значение управляемой величины, Δt – интервал дискретизации системы управления.

В соответствии с разработанным подходом предлагается отыскивать значения коэффициентов k_1 и k_2 непосредственно в процессе работы аппарата, основываясь на замерах ряда последних точек (управляющих воздействий и реакций объекта на них) либо с помощью выделения небольшого промежутка времени для проведения предварительной идентификации этих параметров (в автоматическом режиме) перед началом работы при помощи подачи управляющих воздействий специального вида. При этом объект приблизительно считается линейным (в окрестностях текущей точки), а все нелинейности и нестационарности учитываются в коэффициентах k_1 и k_2 , которые могут определяться заново (уточняться) в каждой новой точке на каждом шаге дискретизации системы управления.

Моделирование работы системы управления по указанному принципу показало, что идентификацию коэффициента k_2 можно не проводить, а объединить второе слагаемое $k_2 x$ с внешним возмущением D и компенсировать их влияние как одно целое. Таким образом, необходимо идентифицировать лишь параметр k_1 .

Рассмотрим корпус подводного аппарата в качестве объекта управления, его динамика описывается дифференциальным уравнением первого порядка, [2]:

$$mV' = F - 0,5\rho cSV^2 + F_d, \quad (2)$$

где V, V' – скорость движения ПА (управляемая величина) и ее производная по времени; F – упор движителей ПА (управляющее воздействие); F_d – внешние возмущения; m – масса ПА с присоединенными массами воды; ρ – плотность воды; S – характерная площадь корпуса ПА; c – нелинейный гидродинамический коэффициент. Неопределенными являются коэффициенты объекта управления m и $K = 0,5\rho cS|V|$. При этом очевидно соответствие уравнения (1) и (2).

В работах [3, 4] рассмотрена методика, с помощью которой идентификацию параметров модели (коэффициента k_1) можно проводить непосредственно в процессе работы ПА, т.е. в онлайн-режиме. Как показано в [3], коэффициент можно вычислить по формуле

$$k_1 = (u_2 - u_1) / (x_2' - x_1'), \quad (3)$$

где u_1, u_2, x_1', x_2' – значения управляющего сигнала и производной управляемой величины в двух точках пространства состояний при $x = \text{const}$.

Так как на практике невозможно получить две соседние точки с разными управляющими сигналами и разными ускорениями при сохранении $V = \text{const}$, то в [4] предложена методика экстраполяции данных для получения необходимых данных. Коротко опишем ее.

На рис. 1 показаны переходный процесс (а) и зависимость $V^* = f(V)$ (б), полученные при подаче управляющего воздействия $F_1 = 100$ Н и его увеличении до $F_2 = 120$ Н в момент времени $t = 1$ с.

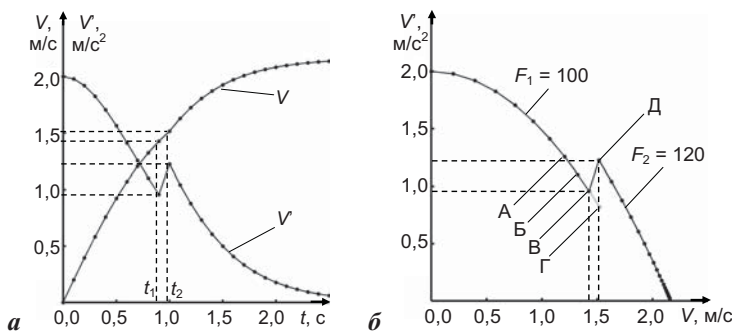


Рис. 1. Результат моделирования при ступенчатом изменении сигнала управления

Для экстраполяции применяется метод наименьших квадратов с использованием полинома второй степени. По трем последним замерам (точки А, Б и В) определяются коэффициенты полинома и находится экстраполированное значение ускорения в точке Г, каким оно было бы, если бы управляющее воздействие не изменилось. Кроме того, мы имеем действительную точку Д. На основании точек Г и Д по формуле (3) теперь легко рассчитать коэффициент k_1 .

Далее рассмотрим ПА как объект управления в целом, включающий электропривод (ЭП), редуктор-валопровод (РВ) и гребной винт (ГВ). Его в первом приближении можно считать объектом как минимум второго

порядка, что усложняет задачу идентификации параметров. В этом случае объект представляется в виде системы уравнений первого порядка (в форме Коши), т.е. разбивается на две задачи первого порядка. Соответственно, каждым уровнем будет управлять соответствующий регулятор, как показано на рис. 2.

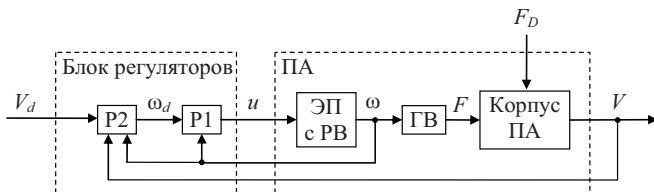


Рис. 2. Система автоматичного керування маршовим рухом ПА

Сложность заключается в том, что на втором уровне невозможно идентифицировать параметр k_1 так же, как на первом. Поскольку входная величина второго уравнения представляет собой выходную величину первого уравнения, то мгновенно изменять ее значение по требуемому алгоритму (ступенчато) для снятия необходимых точек нет физической возможности. Для этого случая разработана специальная методика, позволяющая также на основе несложного эксперимента и метода наименьших квадратов рассчитать параметр k_1 .

Таким образом, путем замера нескольких точек при движении ПА возможно получить его линеаризованную инверсную математическую модель. Дальнейшее моделирование в системе MATLAB подтвердило правильность описанных методик и их эффективность для построения систем управления ПА.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Блінцов, С.В.** Автоматичне керування автономними підводними апаратами в умовах невизначеності: Монографія. – Миколаїв: ТОВ "Фірма "Іліон", 2008. – 204 с.
2. **Лукомский, Ю.А.** Навигация и управление движением судов [Текст] / Лукомский Ю.А., Пешехонов В.Г., Скороходов Д.А. – СПб.: Эмор, 2002. – 360 с.
3. **Блінцов, С. В.** Ідентифікація параметрів підводного апарата для задач курування на базі інверсної моделі системи [Текст] / С.В. Блінцов // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : матеріали 3-ї міжнар. наук.-техн. конф. – Миколаїв : НУК, 2012. – С. 535–537.

4. **Блінцов, С.В.** Особливості онлайн-ідентифікації параметрів підводного апарата [Текст] / С.В. Блінцов // Автоматика та електротехніка: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених та студентів з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2012. – С. 152–154.

УДК 681.5

МОДЕЛИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ПРИВЯЗНОЙ ПОДВОДНОЙ СИСТЕМЫ С САМОХОДНЫМ АППАРАТОМ И МАНИПУЛЯТОРОМ

Блинцов А.В., Надточий В.А.

*Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова
пр. Героев Сталинграда, 9, г. Николаев, 54025, Украина
+38(099)0761036, energybox@mail.ru*

The specialized simulation complex of an underwater tethered system “vessel-carrier – remotely operated vehicle – underwater manipulator” for testing automatic control systems of its motion is developed.

Привязные подводные системы (ППС) с самоходными подводными аппаратами (ПА) принадлежат к наиболее эффективным средствам морской техники, поскольку реализуют безлюдные подводные технологии и дают возможность в реальном времени выполнять гидроакустический и визуальный поиск и обследование подводных объектов [1]. К существенным преимуществам такой техники перед другими подводными средствами относится возможность дистанционного управления подводными манипуляторами (ПМ), которые устанавливаются на ПА в качестве внешнего навесного оборудования. Это предоставляет подводному аппарату принципиально новые эксплуатационные возможности для выполнения подводных манипуляционных работ – сложных измерений, резания и сваривания, подводного строительства и т.п.

Практика авторов свидетельствует, что выполнение подводных манипуляционных работ на базе ППС с ПА и ПМ является нетривиальной технической задачей с позиций теории управления, поскольку подводная система характеризуется нестационарностью ее собственных пара-

метров, а также неопределенностью внешних возмущений, которые влияют не только на подводную часть ППС, а и на судно-носитель (СН).

Современные технологии применения ППС предусматривают автоматизацию управления их пространственным движением, поскольку выполняются в сложных морских условиях. Неотъемлемой частью синтеза систем автоматического управления (САУ) является исследование свойств ППС на основе бассейновых, морских натурных испытаний и/или путем компьютерного моделирования. Последний метод исследований экономически наиболее эффективен, а также обеспечивает широкие возможности исследователя для изменения эксплуатационных параметров и изучения объекта управления с относительно небольшими затратами времени.

Поэтому актуальной задачей является разработка адекватной математической модели (ММ) привязной подводной системы «СН – ПА – ПМ» и специализированного моделирующего комплекса на ее основе для компьютерного исследования динамики морской системы такого типа и определения эффективности синтезированных систем автоматического управления ею.

В состав ППС «СН – ПА – ПМ» входит самоходный подводный аппарат (ПА) с установленным на нем подводным манипулятором (ПМ), кабель-трос (КТ), судно-носитель (СН), кабельная лебедка (КЛ) и пост энергетике и управления (ПЭУ) (рис. 1).

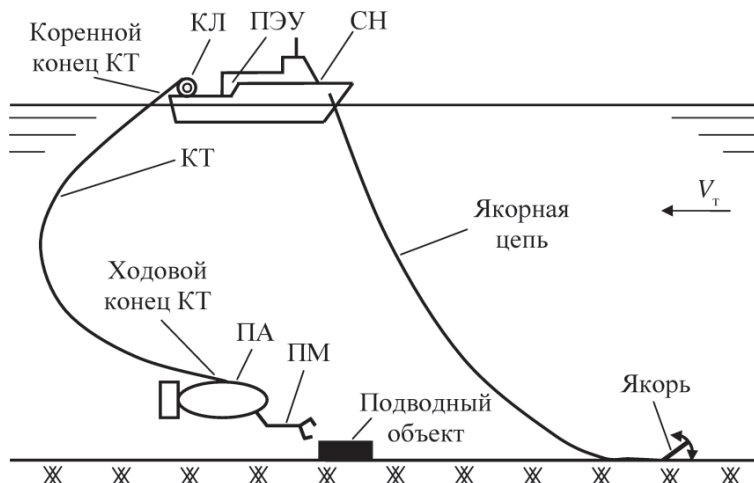


Рис. 1. Состав привязной системы «СН – ПА – ПМ»

Как правило, манипуляционные подводные работы выполняются на якорной стоянке СН, при этом в большинстве случаев все элементы ППС находятся в диаметральной плоскости СН, поэтому в данной работе разработку моделирующего комплекса выполним для плоской постановки задачи.

Математические модели большинства элементов ППС вполне достаточно представлены в литературе. Для того, чтобы объединить их в единый взаимодействующий комплекс, необходимо выделить входы и выходы отдельных моделей, сформировать математическое обеспечение для их реализации и объединить их соответствующим образом (рис. 2).

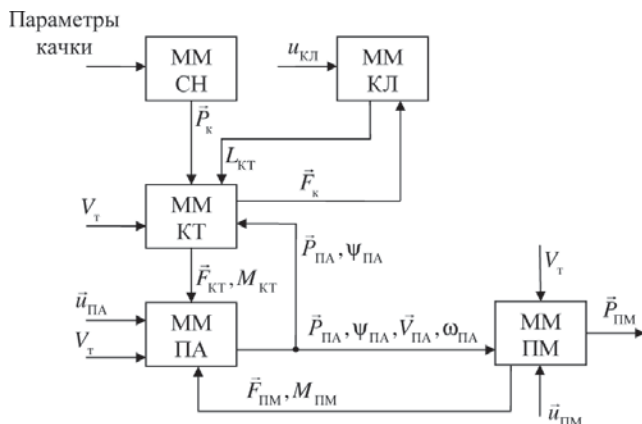


Рис. 2. Структура моделирующего комплекса

Коренной конец КТ располагается в корме СН, поэтому MM СН генерирует радиус-вектор точки расположения коренного конца КТ $\vec{P}_к$ по отношению к началу базовой системы координат (БСК).

Динамику движения КТ в [2] предлагается моделировать как взаимосвязанное движение определенного количества его элементов, каждый из которых взаимодействует с набегающим потоком воды согласно законам гидромеханики и с соседними элементами через силы упругой деформации. На вход MM КТ подаются длина КТ $L_{КТ}$, координаты его коренного $\vec{P}_к$ и хвостового $\vec{P}_{ПА}$ концов и скорость течения $V_т$, на выходе получаем силы натяжения на коренном $\vec{F}_к$ и хвостовом $\vec{F}_{КТ}$ концах КТ, а также момент $M_{КТ}$, который действует на корпус ПА.

Кабельная лебедка представляет собой барабан определённого радиуса, который приводится к движению через редуктор электродвигателем (ЭД) постоянного тока. Выходом ММ КЛ является длина выпущенной части КТ $L_{\text{КТ}}$, на вход подается сила натяжения коренного конца КТ $\vec{F}_k$ и сигнал управления электродвигателем КЛ $u_{\text{КЛ}}$.

Математическая модель ПА как тела, движущегося в пространстве, представляет собой сложную систему взаимодействия ММ его элементов: корпуса ПА (КПА), движительного комплекса (ДК), блока плавучести (БП) и гидродинамических воздействий (ГДВ). Математические модели КПА, БПА и ГДВ описаны в [3]. Математическая модель ДК ПА реализована на основе известной модели «ЭД – редуктор – гребной винт» [4].

Математическая модель ПМ на основе кинематических параметров ПА и скорости течения в зависимости от сигнала управления звеньями манипулятора $\vec{y}_{\text{ПМ}}$ генерирует вектор силы $\vec{F}_{\text{ПМ}}$ и момент $M_{\text{КТ}}$, которые действуют на КПА, а также положение схвата манипулятора $\vec{P}_{\text{ПМ}}$, которое является основной управляемой величиной моделирующего комплекса.

Моделирующий комплекс реализован в среде Simulink пакета MatLab и дает возможность моделировать движение схвата манипулятора в диаметральной плоскости СН с помощью управляющих воздействий $\vec{y}_{\text{ПА}}$, $\vec{y}_{\text{ПМ}}$ и $u_{\text{КЛ}}$ под действием неопределенных внешних возмущений и в условиях нестационарности собственных параметров ППС.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Блинцов В.С.** Проектирование самоходных привязных подводных систем [Текст] / Магула В.Э. – К.: Наукова думка, 1997. – 140 с.
2. **Блинцов А.В.** Математическое моделирование динамики движения кабель-троса привязной подводной системы [Текст] // Инновации в судостроении и океанотехнике: Материалы международной научно-технической конференции. Николаев: НУК, 2012. С. 529–532.
3. **Лукомский Ю.А.** Навигация и управление движением судов [Текст] / Пешехонов В.Г., Скороходов Д.А. // Учебник. – СПб.: Элмор, 2002. 360 с.
4. **Ставинский А.А.** Усовершенствование математической модели самоходного подводного аппарата для исследования пространственного движения [Текст] / Блинцов С.В. // Сборник научных трудов Национального университета кораблестроения. Николаев: НУК, 2004. № 3 (396). С. 161–166.

МОБИЛЬНЫЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Вельтишев В.В.¹, Сарвира Д.В.¹, Малов М.А.², Антоненко С.Л.²,
Космачев П.В.³

¹ НИИ специального машиностроения Московского государственного
технического университета имени Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская д. 5
стр.1, 105005, г. Москва 8 (499) 263-61-15, sm42@sm.bmstu.ru

² ОАО «Тетис Про», Бутовская промзона, дер. Столбово Ленинского
района Московской обл. 142770, 8(495)786-98-55, tetis@tetis.ru

³ ФГКУ « В/ч 44239 », г. Москва

The report presents information on mobile robotic complex for the
underwater work.

В последнее время в РФ для проведения подводных работ все чаще используются серийные необитаемые подводные аппараты универсального назначения. С другой стороны, необходимость выполнения подводных работ в сложных, заранее неопределенных условиях определяет потребность в специализированной подводной технике, технические и эксплуатационные характеристики которой превышают параметры серийных аналогов.

Отечественным примером такого изделия может служить создаваемый в МГТУ им. Н.Э. Баумана в кооперации с ОАО «Тетис Про» мобильный робототехнический комплекс (МРК), предназначенный для оперативного проведения широкого спектра подводных работ.

Главными концептуальными свойствами МРК является:

- способность самостоятельной транспортировки в зону проведения работ;
- полная автономность использования;
- возможность проведения подводных работ в различных условиях (с борта специализированного или привлекаемого судна, с причалов, мостов, платин и других береговых сооружений);
- многофункциональность;
- высокая оснащенность современными серийными устройствами и системами импортного производства.

В состав МРК входит рабочий телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА), малый обзорный ТНПА, пультовые компоненты комплекса, спускоподъемное устройство, гидроакустическая на-

вигационная система, аппаратура электропитания, вспомогательные устройства, комплект ЗИП.

Все компоненты МРК размещены на базе автомобиля контейнеровоза на базе шасси КАМАЗ-43118, что обеспечивает удобство хранения, транспортировки и оперативность развертывания комплекса с необорудованной береговой площадки (рис. 1).

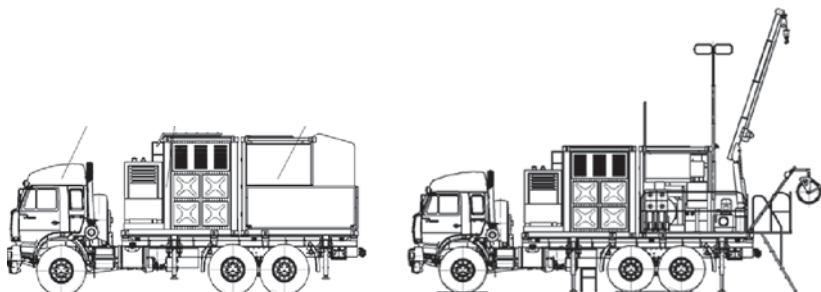


Рис. 1. МРК в транспортном и рабочем состояниях

Конструктивно компоненты МРК выполнены в виде двух специализированных контейнеров: контейнера управления (рис. 2) и контейнера обеспечения (рис. 3). Любой из контейнеров может быть быстро демонтирован с грузовой площадки автомобиля и установлен на борт судна или береговое сооружение.

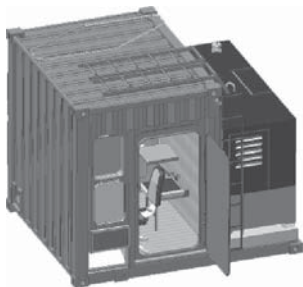


Рис. 2. Контейнер управления

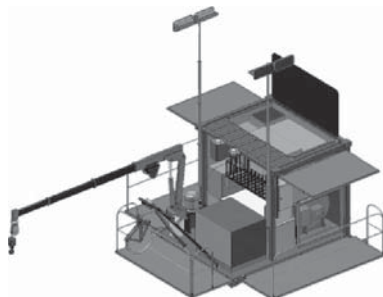


Рис. 3. Контейнер обеспечения

Рабочий ТНПА является основным инструментом для выполнения подводных работ (рис. 4). Аппарат имеет развитый движительный комплекс, оснащен двумя многостепенными манипуляторами с комплектом

сменного инструмента. В качестве основного поискового средства используется двухчастотный гидролокатор кругового обзора Tritech Super Seaking. Видеосистема аппарата содержит пять видеокамер: цветную обзорную камеру с функцией «день-ночь» в наклонно-поворотном устройстве; две черно-белых камеры для измерения параметров движения ТНПА; черно-белую видеокамеру, закрепленную на манипуляторе, и камеру заднего обзора.

Комплекс малогабаритного осмотрового ТНПА выполнен в виде самостоятельного изделия, с возможностью автономного использования. В его состав входят: сам ТНПА, переносной пульт управления; лебедка с кабелем, дизельный генератор. Общая масса осмотрового комплекса – 120 кг, масса ТНПА – 30 кг. В процессе транспортировки к месту работ все компоненты осмотрового комплекса штатно закреплены в контейнере обеспечения. Для проведения поисковых операций осмотровый ТНПА оснащен высокочастотным многолучевым гидролокатором Tritech Gemini 720i. При необходимости на место гидролокатора может быть установлен малогабаритный манипулятор, который входит в комплект поставки изделия (рис. 5). Более подробно особенности конструкции подводных аппаратов рассматриваются в отдельных докладах.

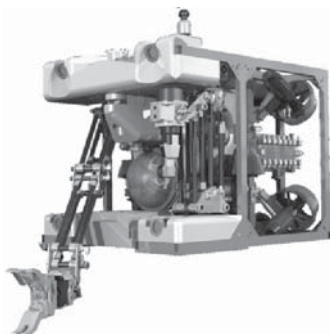


Рис. 4. Рабочий ТНПА

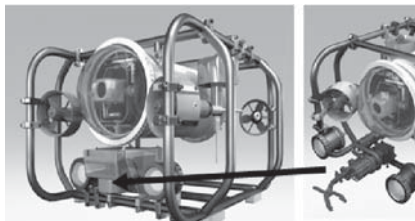


Рис. 5. Осмотровый ТНПА

Завершение работ по созданию МРК запланировано на лето 2013 года. По мнению разработчиков в конструкции комплекса удалось органично объединить как серийные компоненты западного производства, так и специализированные отечественные изделия. Это дает основание предположить, что технический и эксплуатационный уровень МРК будет соответствовать всем современным требованиям.

КРИТЕРИИ СРАВНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИМИ ПОДВОДНЫХ РАБОТ

Краморенко А.В., Скакун А.Н.

НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», ул. Морская, 4, 198412, г. Санкт-Петербург-Ломоносов, тел.: 8(812)422-42-64 факс: 8(812)422-76-75, vunc-vmf-5fil@mil.ru

In the report by 26 criteria submersibles of different type are compared: manned, uninhabited, long-distance, autonomous and normobarichesky space suits, the perspective of a choice of optimum structure of technical means of performance of underwater works is lifted.

В докладе выполнено сравнение крупногабаритного обитаемого подводного аппарата (ОПА) пр. 16810, небольшого автономного обитаемого подводного аппарата (АОПА) «Deep Worker», нормобарического скафандра (НБС) «Hardsuit», автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) «Гавия», рабочего телеуправляемого подводного аппарата (РТПА) «Квантум» и малогабаритного телеуправляемого подводного аппарата (МТПА) «Обзор-150» с применением следующих 26 критериев [1]:

- рабочая глубина;
- угроза травм и гибели личного состава при аварии под водой;
- средства доставки к месту работ;
- возможность авиатранспортировки;
- требования к носителю (водоизмещение, наличие системы динамического позиционирования, спускоподъемных устройств, обеспечивающей инфраструктуры и требований к энергетике);
- возможность работы на волнении;
- возможности при поиске объектов;
- возможности при допоиске объектов;
- скорость подводного хода;
- возможность трансляции изображения затонувшего объекта в режиме on-line;
- возможность фотографирования объекта и видеосъемки;
- возможность доставки к месту работ полезного груза;

- вес груза, перемещаемого манипуляторами;
- удобство подхода к объекту для работы манипуляторами;
- ограничения по запасам электроэнергии;
- ограничения по запасам средств обеспечения жизнедеятельности;
- сложность технического обслуживания при подготовке к спуску;
- стоимость постройки (закупки);
- стоимость сервисного обслуживания;
- прогнозируемая частота использования;
- необходимость наличия дополнительных технических средств обеспечения с равной глубиной использования;
- возможность временного размещения на судах без длительной предварительной подготовки;
- наличие опыта применения на практике для выполнения фактических работ (в России);
- наличие подготовленных специалистов;
- возможность массовой подготовки специалистов.

Критерии носили разноплановый характер, оценивались как качественно, так и количественно, что значительно затрудняло сравнительную оценку аппаратов, которая давалась на основании опыта их применения, имеющегося у специалистов НИИ спасания и подводных технологий.

В настоящий момент задача сравнения решена концептуально, только на качественном уровне. Сравнительный анализ показал, что при большей стоимости закупки и эксплуатации АОПА и НБС практически по всем параметрам уступают схожему с ними по размерам РТПА. Несомненным преимуществом АОПА является отсутствие требования к судну-носителю по системе позиционирования в месте проведения работ. Однако преимущество возможности работы с судна, не оснащенного системой динамического позиционирования, нивелируется, с одной стороны, появлением в России у ВМФ и Госморспасслужбы современных судов, имеющих такую систему, а также преобладающей потребностью выполнения подводных работ на малых глубинах, на которых суда могут работать, стоя на якорях. Отмечается, что система динамического позиционирования дает преимущество и в случае спуска автономных технических средств (ОПА, АНПА и АОПА), так как появляется возможность «умерить» качку выбором благоприятного курса к волне и «прикрыть» спускаемый объект бортом. При этом хрупкие малогабаритные объекты с относительно большой «парусностью», какими являются НБС и АОПА, необходимо спускать в стороне от спутных поверхностных потоков, вызванных работой подруливающих устройств и винторулевых колонок или принимать меры по их конструктивной защите.

Возможность работы в открытом море, где большие глубины, с судна меньшего водоизмещения также не является явным преимуществом АОПА, так как от водоизмещения прямо пропорционально зависит мореходность судна и его возможность противостоять морскому волнению.

Особое внимание предлагается обратить на безопасность персонала, эксплуатирующего подводный аппарат. С этой точки зрения применение робототехники, не требующей спуска человека под воду, является главным аргументом в пользу её выбора. Работа под водой АОПА или НБС требует мер по обеспечению безопасности оператора, для этого на судне-носителе должен находиться аналогичный АОПА или РТПА, что ужесточает требования к судну-носителю, а так же увеличивает стоимость применяемого оборудования.

Наглядной представляется аналогия с авиацией, где четко просматривается тенденция создания беспилотных летательных аппаратов (БЛА), в том числе не только «осмотровых» (разведывательных), но и боевых, выполняющих определенные задачи («миссии») по ведению боя. В морском деле подобием БЛА являются АНПА, которые уже способны не только сканировать дно многолучевым эхолотом, но и нести профилограф, брать пробы, фотографировать обнаруженные объекты, обследовать трубопроводы, прокладывать оптоволоконный кабель.

Опыт ВМФ [2] показывает, что наиболее результативным в настоящее время является комплексное применение технических средств: АНПА + РТПА, АНПА + МТПА. При этом спуск РТПА производится с борта судна, оснащенного системой динамического позиционирования, а спуск МТПА возможен даже с надувной шлюпки, в которой расположен пульт управления и автономный источник питания (портативный электрогенератор с двигателем внутреннего сгорания). Большие возможности появляются при оснащении РТПА и МТПА навигационной системой «Линквест», позволяющей отслеживать по гидроакустическому сигналу их положение под водой в любой момент времени и прорисовывать траекторию движения.

Из выше изложенного следуют следующие выводы:

- в связи с развитием подводной робототехники растет актуальность её использования;
- в настоящее время не существует универсального подводно-технического средства, каждое имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому целесообразно применять комплексы подводно-технических средств;
- для того чтобы подбирать наиболее результативный состав комплекса подводно-технических средств необходимо разработать методи-

ку по определению его эффективности. Данная методика позволит оптимизировать затраты на проведение подводно-технических работ при высоком результате исполнения данных работ и будет построена в виде решения многокритериальной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Краморенко А.В., Скакун А.Н.** Сравнительные характеристики подводных аппаратов с точки зрения возможности выполнения подводно-технических работ. СПб – Ломоносов: НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». Научно-технический сборник, выпуск №29, 2012 г. – с. 109-113.

2. Отчёт о научно исследовательской работе «Исследования по совершенствованию способов применения обитаемых и необитаемых подводных аппаратов». СПб – Ломоносов: НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2012 г. – 97 с.

УДК 623.958.24

ПОСТРОЕНИЕ СХЕМЫ ПРОТИВОМИННЫХ ДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ГРУППЫ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Крючков Р.С., Егоров С.А.

Россия, Москва, НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Госпитальный пер. д 10, 105005 г. Москва,

тел./факс (499) 263-61-15, sm42@sm.bmstu.ru

The report describes an approach to perform mine countermeasures by using cooperative multiple autonomous underwater vehicles. Features of vehicle movement, communication and navigation are considered.

Традиционно противоминные действия (ПМД) проводятся минными тральщиками, осуществляющими уничтожение мин при помощи тралов различных типов или противоминными телеуправляемыми подводными аппаратами. Основными недостатками данных подходов являются нахождение личного состава в потенциально опасной зоне, а также невозможность обеспечения скрытности операций [1].

Использование автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) для решения противоминных задач лишено указанных недостатков, а также снижает нагрузку на оператора, который, благодаря определенной степени автономности аппарата, частично или полностью исключен из процесса обнаружения и нейтрализации мин [2]. Однако применение на отдельных этапах противоминных действий гидролокаторов с различной дальностью действия и разрешающей способностью, установленных на одном АНПА, требует дополнительных перемещений аппарата, что снижает скорость выполнения операций [3]. Возможным вариантом увеличения скорости проведения ПМД является одновременное использование нескольких АНПА с назначением каждому из них обследования определенной части общей акватории [4]. Однако существенным недостатком подходов с одним или несколькими обособленными АНПА является потеря информации или неполное обследование акватории при неисправности аппарата.

Для повышения надежности и эффективности выполнения ПМД целесообразно объединение АНПА в согласованно взаимодействующую группу с соответствующими коммуникациями и логикой управления.

Предлагаемый ниже подход к проведению ПМД с использованием группы АНПА объединяет в себе следующие взаимосвязанные компоненты:

- общую схему обнаружения мин;
- применяемые гидролокационные средства поиска, классификации и идентификации;
- алгоритмы управления групповым и индивидуальным движением аппаратов;
- коммуникационную схему;
- решение навигационной задачи.

В основу общей схемы обнаружения мин положена стандартная схема проведения ПМД [3] с осуществлением этапов классификации и идентификации МПО за один проход группы АНПА по обследуемой акватории. Этап нейтрализации мин выполняется за отдельный проход и в данной работе не рассматривается. Предполагается, что перед этапом нейтрализации оператор выполняет просмотр гидроакустических изображений и принимает окончательное решение по нейтрализации.

Схема обнаружения мин предусматривает деление группы АНПА на две подгруппы, функционально соответствующие выполняемым этапам ПМД:

- аппараты классификации, проводящие гидроакустический осмотр акватории и поиск МПО (этап классификации);
- аппараты идентификации, осуществляющие выход в заданную окрестность с дальнейшим детальным обследованием МПО.

Аппараты каждой подгруппы оборудованы гидролокаторами с различной разрешающей способностью.

Предлагаемая схема обнаружения мин включает в себя выполнение аппаратами следующих элементарных действий (задач):

- осмотр акватории группой АНПА, движущейся строем по поисковым траекториям, классификация объектов как МПО (этап классификации);
- выход аппарата идентификации из группы в заданную окрестность точки предполагаемого нахождения МПО;
- обследование данным аппаратом области предполагаемого нахождения МПО с использованием гидролокаторов (секторного и/или бокового обзора) высокого разрешения (этап идентификации);
- возвращение данного аппарата в строй и продолжение совместного движения с группой.

Прототипом данной схемы является подход, изложенный в концепции Center for Intelligent Systems Research университета Idaho [5].

Для реализации указанных действий требуются соответствующие алгоритмы управления движением, обмен информацией между аппаратами, а также навигационное обеспечение АНПА.

Основу алгоритмов управления движением целесообразно построить на базе некоторого кинематического алгоритма, формирующего задающие сигналы на локальные контуры АНПА. Выбор кинематического алгоритма проводился исходя из особенностей применяемых гидролокационных средств классификации и идентификации, которые, в свою очередь, зависят от типа обнаруживаемых мин. В качестве объектов поиска выступали донные и якорные мины. Наиболее широко используемым средством поиска донных мин является гидролокатор бокового обзора (ГБО). Поскольку для получения и обработки изображения с ГБО требуется прямолинейное перемещение его носителя, рассматривались кинематические алгоритмы, реализующие движение по прямой линии от точки к точке с управлением боковым отклонением от траектории.

Для передачи сообщений в ходе выполнения действий в соответствии с описанной схемой был выбран синхронный коммуникационный цикл. Данный выбор обусловлен полудуплексным характером обмена информацией по гидроакустическому каналу, а также наличием задержек во времени распространения гидроакустического сигнала.

В процессе реализации общей схемы обнаружения мин группой АНПА ключевым параметром, влияющим на качество покрытия акватории, процент локализованных мин и погрешность вычисления их координат, является точность определения аппаратами своего местоположения. Навигация каждого аппарата производится по системе счисления

пути, корректируемой гидроакустической навигационной системой с длинной базой на основе плавающих гидроакустических буев.

В настоящее время ведется последовательное наращивание функциональности и отладка программного комплекса, моделирующего предложенную схему ПМД, с реализацией синхронного цикла обмена информацией и решением навигационной задачи. В дальнейшем планируются работы по моделированию ПМД с использованием имитатора работы реальных гидроакустических модемов в водной среде.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Kwang sub Song, Peter C. Chu** “Conceptual Design of Future Undersea Unmanned Vehicle (UUV) System for Mine Disposal”, IEEE System Journal, 2012. Vol. PP. issue 99.

2. **Willcox S., Goldberg D., Vaganay J., Curcio J.** “Multi-Vehicle Cooperative Navigation and Autonomy with the Bluefin CADRE System”, in Proceedings of IFAC (International Federation of Automatic Control) Conference, Lisbon, Portugal, 20-22 Sept, 2006.

3. The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan, 2004.

4. **J. Enrique Reyes Diaz** “Assigning Unmanned Underwater Vehicles (UUVs) to Mine Detection Operations”, Naval Postgraduate School, Dudley Knox Library, Dec, 1999. 59 p.

5. **T. Bean et al.** “Language and Logic to Enable Collaborative Behavior among Multiple Autonomous Underwater Vehicles”, International Journal of Intelligent Control and Systems, vol. 13, no. 1, 2008. pp. 67–80,

УДК 629.127

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ХОДА АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Костенко В.В.

*Институт проблем морских технологий ДВО РАН
Суханова ул., 5а, 690950, г. Владивосток, 8(423)243-24-16
kostenko@marine.febras.ru*

The paper is devoted to the problems of the calculation of the ROV's range ability dependence on the energy-power plant characteristics, vehicle-borne equipment consumption and vehicle's hydrodynamic characteristics.

Выбор параметров источника энергии СЭО зависит от заданной «автономности» АНПА, которая определяется продолжительностью T_a и дальностью D_a хода для заранее обусловленных значений скорости движения V_x и потребляемой системами аппарата мощностью НРЭА. Очевидна справедливость соотношения [1]

$$D_a = V_x \cdot T_a. \quad (1)$$

Время хода аппарата, определяемое запасом энергии $E_{aб}$ аккумуляторной батареи (АБ), будет:

$$T_a = \frac{E_{aб}}{N_a} = \frac{E_{aб}}{N_{РЭА} + N_{ДРК}}, \quad (2)$$

где $N_{РЭА}$ – средняя мощность, потребляемая бортовой аппаратурой без учета движителей; $N_{ДРК}$ – электрическая мощность, затрачиваемая на движение, которая связана с буксировочной мощностью N_B соотношением

$$N_{ДРК} = \frac{N_B}{\eta_{зв} \cdot \eta_{эн}}, \quad (3)$$

где $\eta_{зв}$ – КПД гребного винта, $\eta_{эн}$ – КПД гребного электропривода. Для определения буксировочной мощности воспользуемся соотношением [2]

$$N_B = C_x \cdot \frac{\rho \cdot V_x^3}{2} \cdot U^{2/3}, \quad (4)$$

где C_x – коэффициентом сопротивления корпуса, ρ – плотность воды, U – водоизмещение аппарата. Используя выражения (1)–(4), получим формулу для вычисления требуемой для достижения заданной дальности хода энергоемкости АБ в Вт·ч

$$E_{aб} = \left(\frac{C_x \cdot \rho \cdot V_x^2 \cdot U^{2/3}}{2 \cdot \eta_{зв} \cdot \eta_{эн}} + \frac{N_{РЭА}}{V_x} \right) \cdot \frac{D_a}{3600}. \quad (5)$$

где 3600 – масштабный множитель для получения результата в Вт·ч.

Расчет проводился для диапазона скоростей хода $V_x=0.1 \div 5$ м/с и дальностей хода $D_a=84, 250$ км. В качестве определяющих параметров аппарата и его систем примем значения $\eta_{зв}$, $\eta_{эн}$, и $N_{РЭА}$, полученные в результате опытной эксплуатации АНПА разработки ИПМТ. Для расчета были приняты следующие исходные данные: $C_x=0.06$, $\rho=1025$ кг/м³, $U=7.9$ м³, $\eta_{зв}=0.70$, $\eta_{эн}=0.75$, $N_{РЭА}=100$ Вт.

Анализ графиков рисунка 1 показывает наличие выраженного экстремума функции $E_{aб}=f(V_x)$. Из условия наличия экстремума этой функции было найдено значение скорости экономного хода

$$V_{xэ} = \sqrt[3]{\frac{N_{PЭА} \cdot \eta_{эн} \cdot \eta_{зв}}{C_x \cdot \rho \cdot U^{2/3}}}. \quad (6)$$

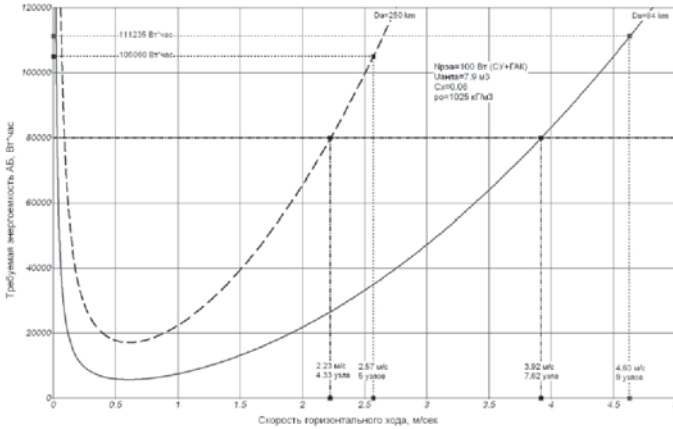


Рис. 1. Зависимость требуемой энергоёмкости АБ от скорости и дальности хода АНПА

Безусловный интерес представляет максимально достижимая дальность хода аппарата при заданном значении энергоёмкости АБ. Расчетное выражение получаем из (5), выразив его относительно D_a

$$D_a = \frac{E_{аб} \cdot 3.6}{\left(\frac{C_x \cdot \rho \cdot V_x^2 \cdot U^{2/3}}{2 \cdot \eta_{зв} \cdot \eta_{эн}} + \frac{N_{PЭА}}{V_x} \right)}, \quad (7)$$

где 3.6 – масштабный множитель для получения результата в км. Результаты этого расчета иллюстрируют графики рис. 2, полученные для $E_{аб}=80000, 100000, 120000$ Вт·ч.

Для определения времени максимальной автономности аппарата в часах T_a при заданной скорости хода V_x и энергоёмкости $E_{аб}$ используем очевидную формулу

$$T_a = \frac{D_a \cdot 1000}{V_x \cdot 3600} = \frac{E_{аб}}{\left(\frac{C_x \cdot \rho \cdot V_x^3 \cdot U^{2/3}}{2 \cdot \eta_{зв} \cdot \eta_{эн}} + N_{PЭА} \right)}. \quad (8)$$

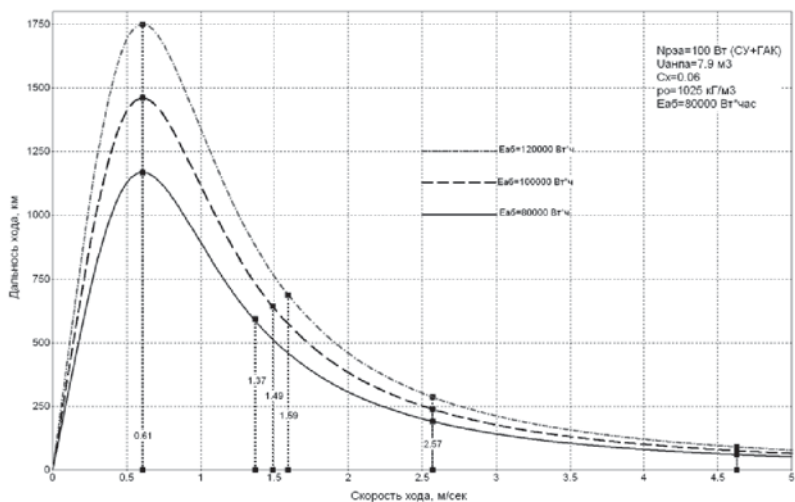


Рис. 2. Зависимость дальности хода от скорости движения АНПА и энергоемкости АБ

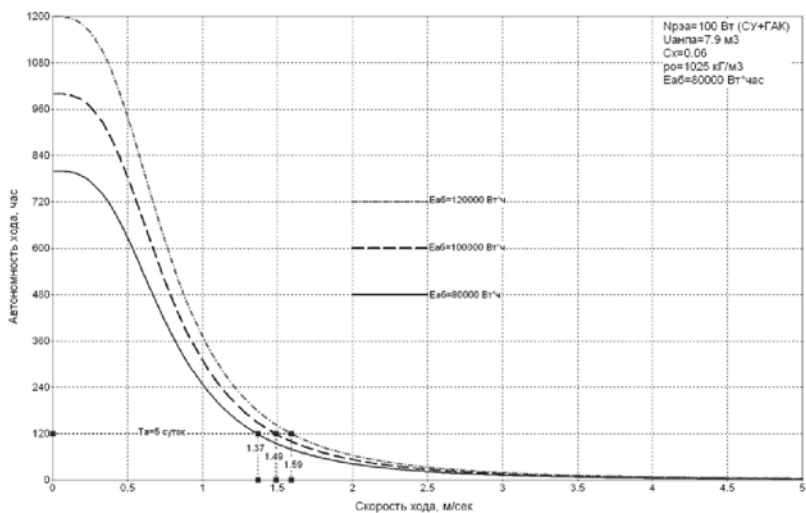


Рис. 3. Зависимость времени автономности АНПА от скорости движения и энергоемкости АБ

Выводы:

Предложенная методика расчета позволяет определить зависимость параметров автономности АНПА от энергоемкости его АБ, скорости хода, а также характеристик аппарата, движительно-рулевого комплекса и бортового оборудования.

Наличие экстремумов зависимостей $E_{аб}=f(V_x)$ и $D_a=f(V_x)$ позволяет ввести понятие «скорости экономного хода», на которой аппарат имеет максимальную дальность действия. Определена аналитическая зависимость этой скорости от определяющих ее параметров.

Использование предложенного подхода к расчету автономности позволяет сформулировать требования к системе энергообеспечения аппарата на ранних стадиях проектирования АНПА.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Автономные необитаемые подводные аппараты / Под общ. ред. Акад. М.Д.Агеева. Владивосток: Дальнаука, 2000. – 272 с.
2. **Пантов Е.Н.** Основы теории движения подводных аппаратов / Пантов Е.Н., Махин Н.Н., Шереметов Б.Б. – Л.: Судостроение, 1973. – 209 с.

УДК 621.396

О ПРЕИМУЩЕСТВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ГИДРОЛОКАЦИИ В КАЧЕСТВЕ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

**Демидов А.И.¹, Залогин Н.Н.², Комочков Р.Ш.¹, Скняря А.В.²
Тошов С.А.¹**

¹ *Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборостроения имени В.В. Тихомирова» (ОАО «НИИП»)
ул. Гагарина, д.3, г. Жуковский, Московская обл., 140180
8 (495) 556-99-68, sknarya.a@otd301.niip.ru*

² *ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН ул. Моховая, д.11, к.7, 141190,
г. Москва 8(495)629-33-68, zal.dunin@mail.ru*

This paper presents some results of field experiments with the model of the active sonar using ultra wide band probe signals, which showed advantage using this signal for comparison with narrow probe signal.

В докладе представлены некоторые результаты натурных экспериментов с макетом гидролокатора со сверхширокополосным зондирующим сигналом (СШПС), которые показали преимущества использования данного сигнала по сравнению с узкополосным зондирующим сигналом.

Последние десятилетия прошлого века за рубежом ознаменовались интенсивными исследованиями в области применения СШПС в самых разных радиоэлектронных системах, таких, например, как телекоммуникационные системы и радиолокация. Подобные же исследования были также начаты и в гидролокации [1]. Необходимость и актуальность данных исследований определялась тем, что современные технологии, основанные на использовании узкополосных зондирующих сигналов, уже не позволяют существенно улучшить технические характеристики гидролокаторов.

В первую очередь это относится к решению дилеммы «высокое разрешение – большая дальность действия», к решению задачи распознавания целей и к повышению помехоустойчивости.

И действительно, в случае использования узкополосных зондирующих сигналов улучшить разрешения по дальности, определяемое полосой зондирующего сигнала [2], возможно только за счет использования более высокой рабочей частоты в гидролокаторе, а это, в свою очередь из-за увеличения затухания, неизбежно приведет к уменьшению его дальности действия [3].

Использование для решения этой проблемы сложных узкополосных зондирующих сигналов, решает эту проблему, но не в полной мере [4].

Более кардинальное решение данной дилеммы может быть найдено за счет применения в качестве зондирующего сигнала СШПС, что было, в частности, показано в [5], где предлагается в качестве зондирующего сигнала использовать СШПС, который формируется в низкочастотной области рабочих частот. Тогда широкая полоса сигнала обеспечивает высокое разрешения по дальности, а за счет использования низких рабочих частот увеличивается дальность действия гидролокатора.

В ОАО «НИИП» совместно с ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, начиная с 2009 года, проводится разработка и апробация широкополосных технологий для их применения в отечественной гидролокации. При этом основными направлениями работ являются такие как разработка алгоритмов формирования и обработки СШПС, разработка аппаратной части, включающей в себя, в том числе тракты приема и излучения, поиск перспективных зондирующих сигналов для решения различных задач.

В рамках полученных результатов в ОАО «НИИП» при непосредственном участии сотрудников ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН был раз-

работан и создан макет гидролокатора, в котором в качестве зондирующего сигнала могут быть использованы разные типы СШПС в полосе частот от 78 кГц и до 155 кГц. В данном гидролокаторе в качестве приемо-передающей антенны используется антенна, имеющая раскрыв диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях, соответственно, 1,5 градуса и 40 градусов, и полосу пропускания по уровню 3 дБ 78 кГц.

Натурные эксперименты с макетом гидролокатора проводились на полигоне ОАО «НИИП» на Москве – реке.. Учитывая ограниченность объема доклада, далее приводятся лишь только та часть результатов натурных экспериментов, которые относятся к применению СШПС в ГБО.

В процессе проведения натурных экспериментов были получены для последующего сравнения акустические изображения поверхности дна с помощью макета ГБО с СШП ЛЧМ зондирующим сигналом и гидролокатора серии «Неман» – ГБО-500, в котором использовался узкополосный ЛЧМ сигнал с центральной частотой 520 кГц и девиацией частоты 64 кГц.

На рис. 1 приведены полученные с помощью указанных выше ГБО акустические изображения прибрежного участка дна реки Москва. Лодка при этом двигалась снизу вверх (справа от акустических изображений), а сетка в горизонтальной плоскости показывает наклонную дальность в метрах.

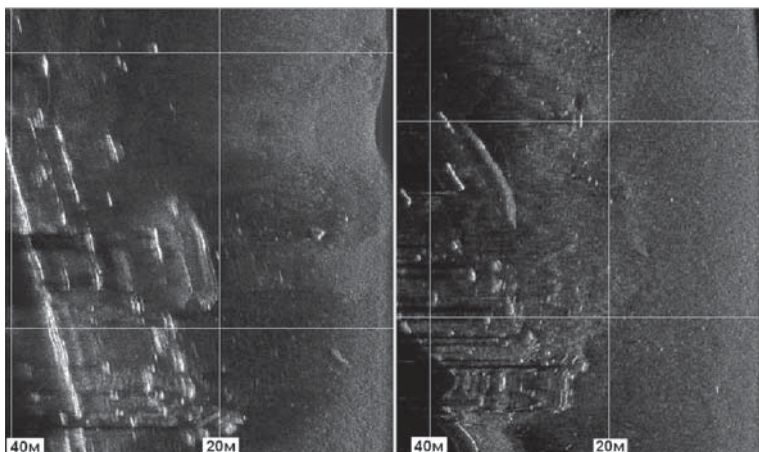


Рис. 1. Сравнительные акустические изображения прибрежного участка дна, полученные с помощью ГБО с СШП ЛЧМ сигналом (слева) и ГБО с узкополосным ЛЧМ сигналом (справа)

Как следует из рис. 1 акустическое изображение поверхности дна слева не уступает по качеству и детальности акустическому изображению поверхности дна справа.

Результаты еще одного эксперимента приведены на рис.2 (по оси абсцисс отложена дальность в метрах, а по оси ординат – амплитуда), где приведена взаимокорреляционная функция одной из строк акустического изображения поверхности дна, полученного с помощью макета гидролокатора с СШП ЛЧМ сигналом. Как следует из рис.2 на расстоянии примерно 180 метров отчетливо виден «хороший» корреляционный пик эхосигнала, отраженного от берега реки. При этом, судя по амплитуде корреляционного пика, можно говорить о достаточно высоком энергетическом потенциале СШПС.

В этой связи следует сказать, что максимальная наклонная дальность ГБО «Неман ГБО-500», полученная в результате многочисленных его испытаний, не превышает 180 м.

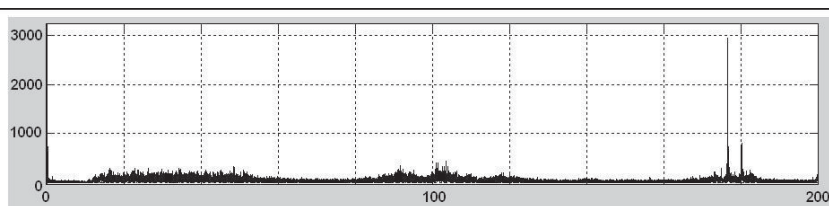


Рис. 2. Взаимокорреляционная функция одной из строк СШП эхосигнала

Таким образом, можно констатировать, что действительно применение в качестве зондирующего сигнала СШПС имеет преимущества перед узкополосным сигналом по такому параметру как «разрешение по дальности – максимальная дальность действия».

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Low Н.** Broadband Active Sonar: Implications and Constraints, DSTO-TR-0435, 1996.
2. **Кук Ч., Бернфельд М.** Радиолокационные сигналы. – М.: Советское радио. 1971.
3. **Евтютов А.П. и др.** Справочник по гидроакустике. – Л.: Судостроение. 1988.
4. **Демидов А. И. и др.** Отечественные гидролокаторы со сложными сигналами производства НИИ Приборостроения им. В.В.Тихомирова. –

Труды X Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики», Санкт-Петербург, 2010. С.152–154.

5. **Залогин Н.Н., Скняря А.В.** Выбор зондирующего сигнала для гидролокатора. XI11 Международная конференция «Радиолокация, навигация, связь». Воронеж, 2002–2007. С.2722–2730.

ЭТАПЫ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ТПА

Артамонова А.В.

ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Нахимовский пр-т, 36, 117997, Москва

тел. 499 129-20-45; факс: 499 129-20-45; e-mail: brozman@ocean.ru

Этапы проектирования на примере малогабаритного микроТПА ГНОМ BABY.

В целях реализации идеи создания малогабаритного недорогого ТПА (micro ROV) был проведен анализ рынка и определение технико-экономических характеристик, что стало первым этапом проектирования. Анализ рынка малогабаритных ТПА (производители: ГНОМ, VideoRay, Seabotix, Subseatech) показал отсутствие на нем аппарата весом до 2 кг и объемом до 1 дм³, с глубиной погружения 30–50 м и длиной кабеля до 50–70 м, с ценой менее 100 000 рублей (3,500 \$). Аппарат с данными характеристиками ориентирован на рынок массового спроса, на такие категории покупателей, как рыбаки, владельцы катеров, яхт и других маломерных судов, а также на рынок дистанционно-управляемых хобби-моделей. Немало применения нашлось и в профессиональных сферах (осмотр трубопроводов, резервуаров с водой, систем водоснабжения и других гидротехнических объектов).

Проектирование аппарата ГНОМ BABY, который стал самым малогабаритным ТПА в мире, было основано на уже существующих моделях ГНОМ Стандарт и ГНОМ Супер. На базе четырехмоторной версии была создана трехмоторная модель, с уменьшенными массогабаритными характеристиками и упрощенной конструкцией. Например, провода моторов соединяются с блоком управления в основном корпусе без внешних кабелей и разъемов, проходя через отверстия внутри корпусов, которые герметизированы с помощью уплотнительных резиновых колец. Напряжение питания было снижено со 180 В (в моделях Стандарт и Су-

пер) до 48 V в целях электробезопасности. При этом стало возможно применение недорогих серийных преобразователей питания AC/DC фирмы MeanWell 220 V – 48 V (на блоке управления). Для управления аппаратом использован беспроводной игровой джойстик Sony PlayStation. В модели BABY длина кабеля, имеющего диаметр 3 мм, ограничена 50-70 м из-за возросших потерь в кабеле вследствие снижения напряжения питания. Также были несколько снижены мощности двигателей. В итоге, себестоимость деталей и комплектующих этого аппарата была снижена более чем в 2 раза (до 50000 рублей), по сравнению с моделями Стандарт и Супер, что позволило продавать аппарат по цене менее 100 000 рублей.

Второй этап проектирования – создание трехмерной модели аппарата.

Исходным материалом является эскиз ТПА, рожденный в голове конструктора. Эскиз превращается в 3D модель. Из нескольких 3D моделей деталей создается сборка узла или устройство, проверяется на совместимость, рассчитывается, исследуется на прочностные и гидродинамические нагрузки.

Третий этап – разработка чертежей деталей для производства с помощью САПР.

Для каждой детали создается чертеж, а также файл с машинными кодами для станков с числовым программным управлением.

Четвертый этап – изготовление деталей на станках. Материалами служат сплавы Д16, АМГ6, капролон, фторопласт, ПВХ, полипропилен и т.д.

На рис. 1 изображена трехмерная модель детали корпус гермоввода кабеля, чертеж которого показан на рис. 2.

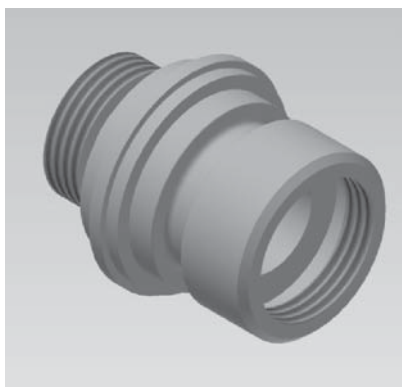


Рис. 1. 3D модель корпуса гермоввода кабеля

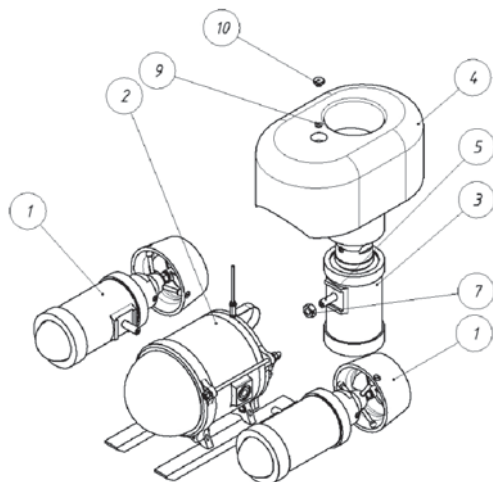


Рис. 4. Схема сборки ТПА «ГНОМ BABУ»

1 – двигатель горизонтальный, 2 – корпус, 3 – двигатель вертикальный, 4 – плавучесть, 5 – болт, 6 – гайка М6-6Н ГОСТ 5927-70, 7 – шайба А 2 ГОСТ, 8 – CSN 021461 – М2.

УДК 634.67

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

Северов С.П., Ковалевич Д.А.

Учебно-научный молодежный центр (УНМЦ) «Гидронавтика»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

107005, Москва, 2-я Бауманская ул., дом 5

8 (499)-263-62-63, dekanat@sm.bmstu.ru

Our goal is to instill students of professional interest to the study of innovative engineering objects oceanography, robotics and marine industry. On the recommendation of the head of the project authors performed research for the study, surface reconstruction and adaptation of the prototype laser rangefinders to function under water.

Целью настоящей работы является привитие обучающимся профессионального интереса к исследованию принципиально новых объектов инженерной океанологии, робототехники и морской индустрии. По рекомендации руководителя проекта студентами выполнена исследовательская работа по изучению, реконструкции и адаптации надводных лазерных дальнометров-прототипов для функционирования под водой.



Рис. 1. Сборка и подключения на воздухе лазерного дальнометра, конвертера *usb-uart* и программатора

В докладе представлена часть деятельности Учебно-научного молодежного центра (УНМЦ) «Гидронавтика» МГТУ им. Н.Э. Баумана, связанная с разработкой и эксплуатацией сложных технических устройств и методов их использования в процессах исследований, применительно к подводным технологиям [1] и средствам освоения мирового Океана, типа дистанционно управляемых подводных роботов ROV [2].

Авторы доклада представляют направление в области подводной робототехники, смежное по отношению к разработке конкурсных ROV для участия в соревнованиях MATEC – Marine Advanced Technology Education Competition ROV 2013 – перспективных образовательных технологий в области морской индустрии.

Для проведения испытаний дальнометр (1) помещается в герметичный бокс(2), бокс оборудован съемной крышкой(3), стеклом(5) и гермовводом (4) для управляющего провода (6). Бокс помещается между верхней(7) и нижней(8) пластинами и фиксируется болтами(9). Внешний каркас позволяет обеспечить необходимую фиксацию бокса при

проведении испытаний под водой, дополнительный прижим герметичной крышки (3), а также обеспечивает всю конструкцию необходимым весом для погружения в воду. К верхней пластине (7) при необходимости могут закрепляться удлиненные ручки (10) для управления конструкцией во время испытаний под водой.

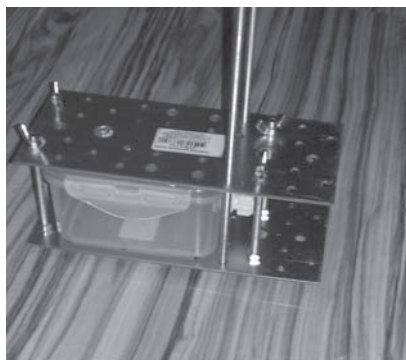


Рис. 2. Лазерный дальномер в герметичном боксе со штангами регулирования глубины

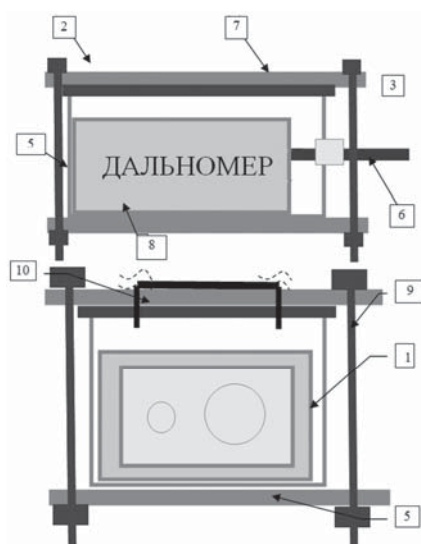


Рис. 3. Схема гермобокса

Лазерные дальномеры — наиболее простой тип лидара, позволяющий измерять расстояние до объекта с использованием лазерного луча. Импульсные дальномеры основаны на измерении времени, за которое волна проходит расстояние от дальномера до объекта и обратно. Это

расстояние находится по формуле: $D = \frac{ct}{2n}$, где D — расстояние до объ-

екта, c — скорость света в вакууме, t — время, за которое луч прошел расстояние до цели и обратно, а n — показатель преломления среды. Фазовые дальномеры основаны на измерении величины сдвига фазы, что позволяет судить о расстоянии до цели. Величину сдвига фазы можно измерить с ошибкой не более 1 градуса без особых затруднений. Но для этого необходимо знать количество целых периодов. Если это число известно, расстояние до цели может быть найдено по формуле

$D = \frac{1}{2}L \left(N + \frac{f}{2\pi} \right)$ где D — расстояние до объекта, L — длина волны, N

— количество полных периодов, f — фаза отраженного сигнала. Для определения числа периодов необходимо либо приблизительно знать дистанцию, либо выполнить несколько измерений с различными длинами волн. При использовании варианта повторных измерений можно применить либо метод перебора, либо аналитический метод. Метод перебора основан на переборе значений N для каждой длины волны L , пока подобранные расстояния не будут равны между собой. Аналитических методов существует несколько. Наиболее простой — это метод, основанный на биении двух соседних по частоте колебаний. В точных приборах используют комбинации различных методов, например, сначала находят количество целых периодов с помощью измерения двух частот, а затем находят конкретные расстояния. Подобный метод, используется в прототипных лазерных дальномерах фирмы Bosch, таких как dle 40, 50, 70 и других. Три представленных дальномера имеют сходные аппаратные составляющие, но различаются в программном обеспечении и дополнительных опциях. Для дальномера dle 50 была разработана альтернативная прошивка, позволяющая управлять дальномером с помощью внешних устройств, в том числе с борта подводного робота ROV. Эту прошивку также возможно использовать и для дальномеров dle 40 и dle 70, так как они имеют сходную аппаратную часть. Все эти дальномеры используют микропроцессоры Amtel avr, что делает процесс написания альтернативных прошивок не очень сложным, так как данная платформа достаточно популярна у разработчиков радиоэлектроники и для неё возможно найти большое количество ин-

формации [3]. Это делает достаточно перспективным использование данных дальномеров в различных автоматизированных системах, таких как различные роботы, в том числе, подводные.

Следует отметить, что в морской среде работа лидаров сильно затруднена. Это связано с интенсивным рассеиванием света в воде. Лазерный луч может распространяться на значительные расстояния. Эффективнее всех в воде распространяется зеленое излучение неодимового лазера с длиной волны 532 нм. Однако отраженный сигнал практически неразличим на фоне паразитной засветки. Существуют методы решения и преодоления данной проблемы, в частности системы, разработанные американской компанией «Kaman», но они отличаются сложностью и высокой стоимостью.

В развитие работ с прототипом Bosch dle 50 рассмотрен лазерный дальномер Bosch dle 40. Данная модель достаточно известна среди пользователей [4]. Имеет диапазон измерения от 5 см до 40 м, погрешность измерения $\pm 1,5$ мм, отображает расстояние с точностью до 1 мм, оснащен лазером с длиной волны 635 нм, мощностью менее 1 мВт, питается от 4 батареек типа AAA. Все вышесказанное делает данный прибор достаточно удобным в качестве прототипа при исследовании и использовании. По отзывам на форумах данный прибор достаточно хорошо справляется с измерением расстояния. Он имеет дополнительные функции, такие как нахождение площади и объема, минимального и максимального значения, а также функцию косвенного измерения длин, позволяющую измерить длину, если, например, между двумя точками стоит колонна. На сегодняшний день серию dle постепенно заменяет серия glm с приборами glm 50, glm 80, glm 150 и glm 250. Однако ничему не противоречит использование дальномеров предыдущей серии в качестве прототипов при разработке подводных лазерных приборных устройств. Экспериментами подтверждено, что в результате конструктивного реинжиниринга и перепрограммирования микроконтроллера удастся достичь точности измерений дистанций в воде не хуже чем в воздухе. Снижение дальности может быть скомпенсировано увеличением мощности сигнала на выходе. Авторы выражают искреннюю признательность команде УНМЦ «Гидронавтика», выполнившей часть представленной в докладе работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана.-М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. – 780 с.

2. Remotely Operated Vehicle of the World.-London England/ Houston USA: Clarkson research services limited, 2010/2011/ 9th edition. 429 p. ROV.

3. Видеообзор dle 50: <http://www.vseinstrumenti.tv/prezentacii-instrumentov/izmeritelnyj-instrument/lazernyj-dalnomer-bosch-dle-50/>.

4. roboforum.ru – Открытый технический форум по робототехнике: <http://roboforum.ru/forum4/topic10124.html>.

УДК 634.67

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО РОБОТА

Козинев А.В., Северов С.П.

*Учебно-научный молодежный центр (УНМЦ) «Гидронавтика»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., дом 5
8 (499)-263-62-63, dekanat@sm.bmstu.ru*

Scientific training youth center (UNMTS) "Gidronavtika" of Educational Scientific training complex "Special engineering" BMSTU promotes student innovation and implementation in educational processes competitive design approach to higher professional education in the field of underwater robotics and marine industry. This report presents the results of a study by center a low-budget simulators.

Учебно-научный молодежный центр (УНМЦ) «Гидронавтика» Научно-учебного комплекса «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана содействует развитию студенческой инноватики и внедрению в образовательные процессы конкурентно-проектного подхода к высшему профессиональному образованию в области подводной робототехники и морской индустрии. В докладе представлены результаты исследования Центром возможности создания малобюджетных тренажеров.

Решение проблем внедрения конкурентно-проектного подхода к высшему профессиональному образованию инженеров подводной робототехники [1,2] предполагает участие в международной программе МАТЕС – Marine Advanced Technology Educational Center – Центра морских перспективных технологий образования и, соответственно, участие в международных соревнованиях подводных роботов. Эксплуатация и

конкурсные испытания дистанционно управляемых подводных роботов ROV, как правило, осуществляется при маневрировании в стесненных фарватерах и полостях оперативных акваторий. Выполнение осмотровых, поисковых и технологических операций под водой требует высокой квалификации пилотов – операторов подводных роботов. Можно обучать пилотов на «живом» роботе, но не принижая значения этого подхода можно согласиться с тем, что актуален и метод тренировок сначала на имитаторах и тренажерах, пока нет робота, а затем на натурном аппарате.

Вообще говоря, вид обстановки на мониторах тренажера должен, со степенью достоверности достаточной для визуальной оперативной навигации, соответствовать реальной. Интерактивные 3D-сцены высокобюджетных профессиональных тренажеров достаточно точно повторяют рельеф морского дна в оперативной акватории [1]. В компьютерную структуру указанной 3D-сцены могут быть импортированы различные модели объектов: подводные лодки; останки кораблекрушений; донные морские трубопроводы и т.п.

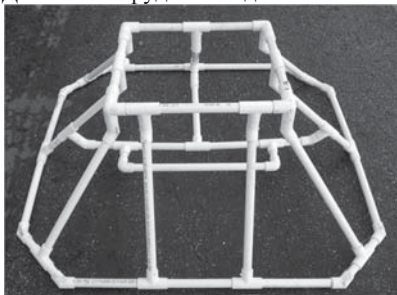
Основной частью вычислительного блока имитации является система геометрического и кинематического моделирования, которая через последовательный порт обеспечивает обмен информацией с операторским пультом управления подводного робота.

Проблема заключается в том, что время численного переконfigurирования для многообъектных 3D- сцен быстро увеличивается и выходит за пределы допускаемые для вычислительного модуля. Сложность полного комплекса донного оборудования конкурсных испытаний МАТЕС ROV высока см. Таблица форм моделей.. Комплекс, как правило, включает до 20-30 базовых конструкций в виде пространственных и плоских конфигураций, собранных из контрастных, крупных, порядка 1дюйма, элементов цилиндрической трубчатой формы и пластинчатых диафрагм, Вычислительные проблемы имитационного моделирования в рассматриваемом случае облегчаются предельной простотой формы плоской горизонтальной поверхности дна и вертикальных стенок.

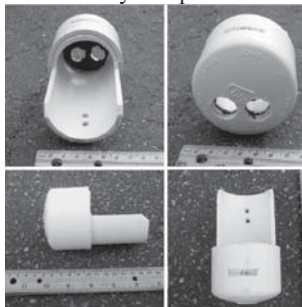
В качестве методического примера далее рассмотрен аппарат «Акватор-3D», рис.1 и процессы имитационного моделирования.

Малогобаритный подводный аппарат «Акватор-3D» сконструирован для выполнения подводно-технических работ в рамках международного конкурса МАТЕС. По условиям соревнований:

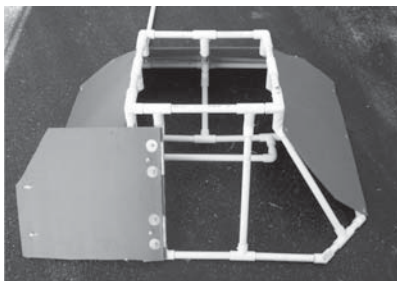
– Робот должен быть мобильным, его масса не должна превышать 50 кг (спуск на воду осуществляется не более чем 2-мя участниками без использования спускоподъемных устройств);



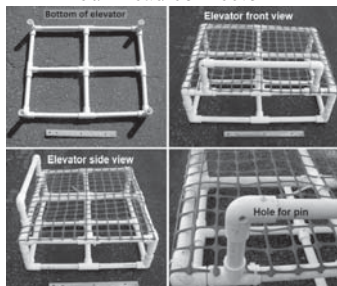
1. Front view of BIA framework



2. Front, rear, side, top view of CTA bulkhead connector



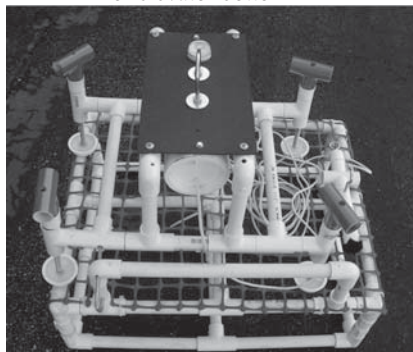
3. Front view of BIA.
Door open



4. Partial construction
of elevator bottom



5. Secondary interface assemble



6. Front view of elevator with secondary
node and cable.

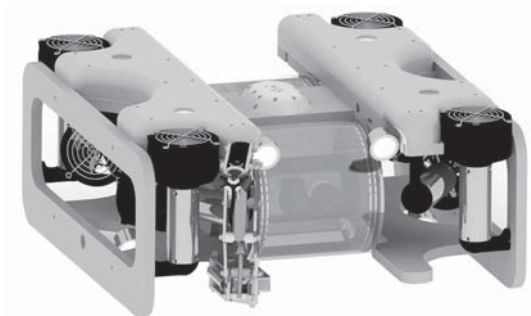


Рис. 1. Общий вид подводного робота «Акватор 3D»

- Напряжение сети питания – 48 В постоянного тока;
- Максимально допустимая мощность – 2 кВт;
- Рабочие глубины не превышают 15 м;
- Работы производятся в небольшом секторе акватории, не более чем, 10×10 м; Время на выполнение заданий – 15 мин; Время на развертывание комплекса и спуск ROV на воду – 3 мин.

В рассматриваемом случае 3D модель аппарата Акватор 3D была выполнена в пакете SolidWorks, а затем импортирована в сцену приложения VRealmBuilder.

С помощью указанного редактора VRBuilder_2 очень удобно создавать визуальные модели для подводных аппаратов осмотрового типа. При этом, можно посмотреть, нет ли элементов, мешающих обзору камеры, или насколько удобно она расположена на ПА, как удобнее подойти к донному оборудованию. Из методических соображений будем моделировать сцену морского дна с одним затонувшим объектом. Нет проблем с заменой данного объекта другим, например элементом комплекса донных устройств подводных миссий MATEC ROV, см. таблица донного оборудования. Внешний вид окна редактора соответствует стандартному.

После того, как создана 3D сцена, необходимо подключить её к синтезируемой модели, в данном случае Simulink. В качестве прототипа используется готовая универсальная имитационная модель СУД ПА, которая в дальнейшем адаптируется и корректируется применительно к аппарату Акватор 3D.

После того, как создана 3D сцена, необходимо подключить её к синтезируемой модели, в данном случае Simulink. В качестве прототипа используется готовая универсальная имитационная модель СУД ПА,

которая в дальнейшем адаптируется и корректируется применительно к аппарату Акватор 3D.

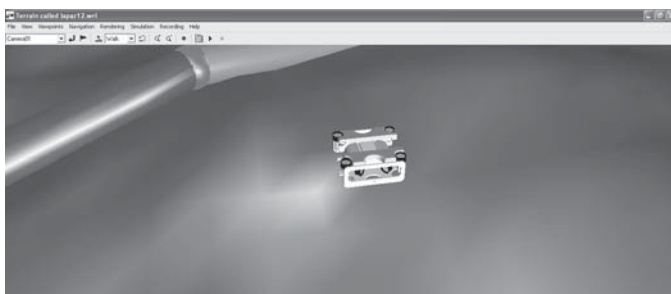


Рис. 2. 3D сцена, подключенная к блоку VRSink

После подключения интерактивной 3D сцены к Simulink модели, необходимо адаптировать эту модель, в частности – перекомпоновать движительно-рулевой комплекс, скорректировать существенно значимые проектные характеристики модели.

Общая блок схема Simulink модели показана на рис 3.

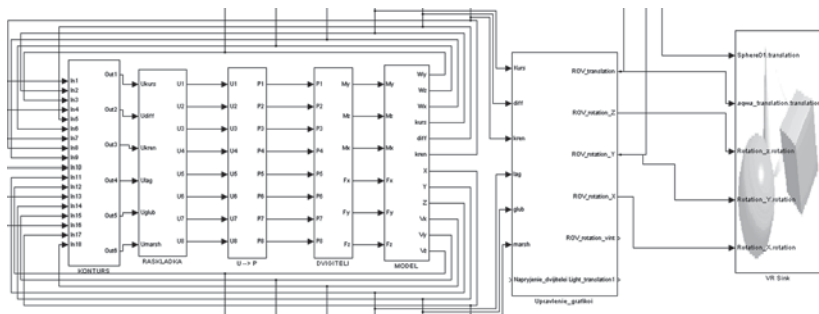


Рисунок 3. Общая блок схема Simulink модели подводного робота

1 – блок основных контуров управления движением ПА .2 – блок раскладки управляющих воздействий по двигателям. 3 – блок перевода напряжений на двигателях в упоры гребных винтов движителей. 4 – блок перевода тяг движителей в силы и моменты движения аппарата по маршу, лагу, глубине, курсу, крену и дифференту. 5 – блок модели ПА, формирующий и задающий массовые и инерционные характеристики ПА. 6,7 – блоки визуализации.

Соответственно необходимо изменить модельные блоки 2, 3, 4 – так как универсальная имитационная модель рассчитана на аппарат с 6 ортогонально ориентированными движителями, а геометрия расположения 8 движителей аппарата «Акватор» существенно отличается от прототипной. В блоке 5 так же необходимо задать массовые и инерционные характеристики Акватора 3D. Блоки 6 и 7 были доопределены раньше, когда рассматривалось подключение сцены VRealmbuilder к Simulink модели. Квадратно-диагональная геометрия расположения 8 движителей на Акваторе 3D приведена на рис. 3.

После этого можно запускать модель и указывать направление движения робота в любую точку на созданной 3D сцен. Однако для того чтобы Акватор 3D двигался адекватно – необходимо скорректировать контуры управления, в частности, подобрать синтезирующие коэффициенты для каждого из контуров в соответствии с характеристиками аппарата требующимися для выполнения заданных операций подводной миссии.

После этого можно заняться добавлением донного оборудования в комплекте, визуализацией миссий соревнований и тренировками операторов [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. – 780 с. с илл.
2. Remotely Operated Vehicle of the World.-London England/ Houston USA: Clarkson research services limited, 2010/2011/ 9th edition.-429 p.
3. The University of Colorado SIMULATOR for getting started <http://mate.moonfruit.com/#/enter-study/4547830846>.

СТРУКТУРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ВОЛНОВЫХ ГИДРОГЛАЙДЕРОВ

Северов С.П., Радченко А.А.

*Учебно-научный молодежный центр (УНМЦ) «Гидронавтика»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., дом 5
8 (499)-263-62-63, dekanat@sm.bmstu.ru*

The report focuses on the results of the development of high technology and the emergence of new perspectives of evolution of marine robotics, in particular wave gidroglayderov various types.

Доклад посвящен результатам развития высоких технологий и появлению новых перспектив эволюции морской робототехники, в частности волновых гидроглайдеров различного типа. В качестве прототипа рассмотрен так называемый, солнечный автономный необитаемый подводный аппарат [1]. Аппарат сопоставлен с глайдером PacX Wave Glider [2] и на базе последнего разработана более оптимальная модель.

Реинжиниринг PacX Wave Glider: Общий вид прототипного глайдера можно видеть на представленном ниже изображении условно разобранного аппарата. Выделены три основные агрегатные конструкционные сборки: лодка – надводная плавучая часть, подводный движительно-рулевой агрегат и связывающий их кабель-трос. Обозначены:

1. Метеорологическая станция глайдера
2. Световой маркер - маяк
3. Центральный командно-контрольный сухой бокс.
4. Передний сухой бокс полезной нагрузки.
5. Подвижные крылья буксирно-двигательного комплекса.
6. Кронштейн съемно-устанавливаемой полезной нагрузки.
7. AIS антенна глайдера.
8. Солнечная батарея глайдера.
9. Кормовой сухой бокс полезной нагрузки.
10. Ручка для переноски глайдера и спуска на воду.
11. Задний сухой отсек полезной нагрузки аппарата.
12. Кормовой руль движительного комплекса.

Гидроглайдер PacX Wave Glider состоит из трёх крупных блоков: надводной лодки (FLOAT), несущего кабеля (UMBILICAL) и подводно-

го блока (SUB). Такая конструкционная декомпозиция соответствует функциональной.

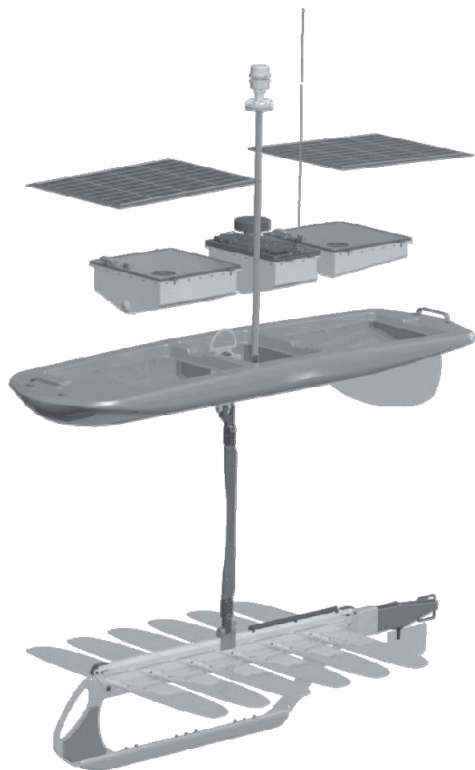


Рисунок 1. Общий вид PacX Wave Glider

Таблица. Основные характеристики гидроглайдера

Размеры лодки L×B=208cm × 60cm	Автономность – 1 год
Размеры Sub: L×B=40 cm × 191cm	Скорость – то 0,2 до 4 узлов
Длина кабеля 7 м	Погружение лодки – до 2 м
Крылья: 107cm в ширину	Наблюдаемость – бесшумный, слабая видимость
Вес на воздухе – 90 кг	Транспортировка –авто-, аэро- и судо -перевозками
Водоизмещение – 150 л	Переноска – двумя операторами

Глайдер может выполнять множество других исследований. Для этого может быть использован бортовой комплекс датчиков и первичных преобразователей фоновых параметров среды.

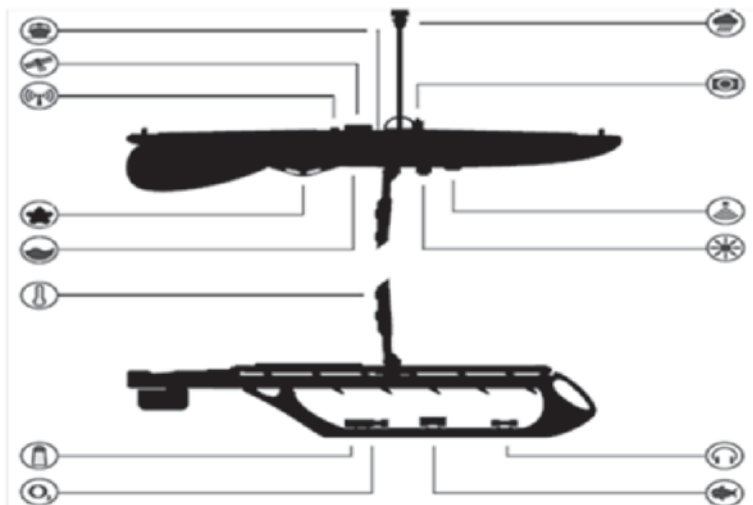


Рисунок 3. Схема расположения датчиков волнового глайдера RasX

SENSORS		Камера		ADCP		Акустический модем
		Метео. станция		Флуориметр		Иридий: SBD/RUDICS
		Датчик волн		Датчик проводимости		Сотовые/РЧ
		Датчик рыб		Датчик растворенного кислорода		АИС
		Гидро фон		Датчик температуры		R

Индикаторы датчиков волнового глайдера

Полезная нагрузка. архитектура полезной нагрузки– модульная. Для обеспечения общего поддержания интегративного функционирования глайдера используются механические, электрические и программные интерфейсы подсистем.

Энергоснабжение. Движитель – решетка гидродинамических крыльев, интерцепторного типа, осуществляющая прямое преобразование энергии волны в тянущую силовую нагрузку буксирного кабель-троса и, соответственно, в энергию движения аппарата. Аккумуляторная батарея – 665 Ватт-часов, литий-ионная. Солнечная батарея – 80 Вт для буферизации и подзарядки аккумуляторной батареи, для питания бортовой электроники и оборудования

Волновой генератор. Волногенератор может иметь каналы возбуждения по всем 6 степеням свободы глайдера как твердого тела, поступательным и угловым.

В результате предварительных исследований и физического макетирования авторы пришли к выводу, что перспективными вариантами волноэлектрогенератора (ВЭГ) являются генератор на основе физического маятника и линейный генератор на основе поступательно движущегося осциллятора.

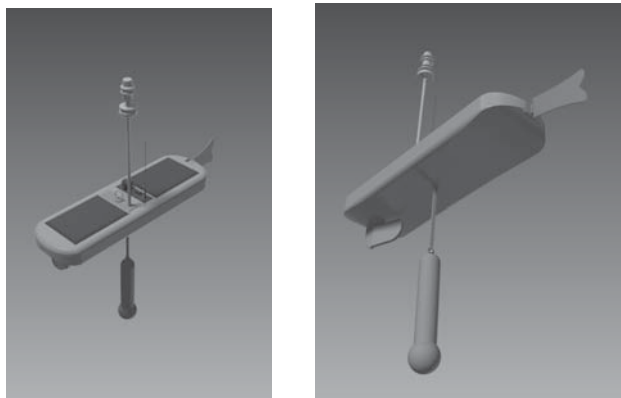


Рисунок 4. Глайдер с линейным волногенератором и винтомоторным агрегатом-движителем

Авторы провели эксперимент по схеме генератора типа математического маятника. Опыт прошёл удачно. При фронтальном волнении с высотой волны примерно 0,2 м и периодом 0,4 секунды генерировался ток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев М. Д., Киселев Л. В., Матвиенко Ю. В. Автономные подводные роботы: системы и технологии. М.: Наука, 2005.
2. www.liquidr.com - Liquid Robotics
3. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. М.: Наука, 1989. 304 с.
4. <http://www.maxonmotor.com>.

УДК 62-768

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ И ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ.

Мещерякова Р.И.

*НИИСМ МГТУ им.Н.Э.Баумана
105005, Москва, ул.2-я Бауманская, д.5
тел. (499)263-57-72, e-mail: sm42@sm.bmstu.ru*

This paper deals with problem of development battery management system (BMS) for lithium-ion batteries which are using in AUVs and ROVs.

Для автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) важными показателями эксплуатационных характеристик являются время работы и дальность хода, которые определяются запасом энергии. Поэтому для такого аппарата необходим источник электропитания, обладающий высокой энергоемкостью и минимальными габаритами.

Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) в настоящее время имеют тенденцию к размещению собственного бортового источника электропитания, а кабель, преимущественно оптоволоконный, в таких случаях используется только для передачи сигналов телеметрии и телеуправления.

Требованиям высокой энергоемкости и минимальных габаритов наиболее полно удовлетворяют литий-ионные аккумуляторы (ЛИА), которые объединяют в аккумуляторную батарею (АБ). Соединение может быть как параллельным (обеспечивает требуемую ёмкость батареи),

так и последовательным (обеспечивает требуемое напряжение питания). Таким образом, при соединении аккумуляторов по параллельно-последовательной схеме возможно построение АБ заданной емкости и напряжения. При этом каждый аккумулятор или каждая цепочка параллельно соединенных аккумуляторов требуют определенного контроля. Это объясняется тем, что литий, входящий в состав ЛИА – химически активный элемент. В современных аккумуляторах при номинальной эксплуатации в чистом виде он отсутствует, однако при нештатных ситуациях (чрезмерные токи заряда или разряда, токи короткого замыкания, перезаряд выше определенных уровней напряжения на аккумуляторах, перегрев при заряде или разряде) может выделяться на внутренних электродах аккумулятора, что в определенных случаях приводит к воспламенению и взрыву. Падение уровня напряжения на аккумуляторе ниже определённого значения может привести к снижению ёмкости батареи.

При этом недостаточно контролировать напряжение всей батареи, необходимо контролировать напряжение на каждом ЛИА. Это объясняется наличием разбаланса на последовательно соединенных аккумуляторах. Под разбалансом понимается различие напряжений на отдельных аккумуляторах. Разброс напряжений ЛИА ведет к тому, что некоторые из них могут работать в запредельных режимах.

Необходимость постоянного контроля напряжения на каждом ЛИА, контроль процесса выравнивания напряжений, контроль температуры, токов заряда и разряда аккумуляторной батареи требует применения специальных электронных модулей, встраиваемых в аккумуляторную батарею и называемых системами контроля и управления, сокращённо – СКУ (BMS – battery management system). То есть для литий-ионных аккумуляторных батарей СКУ – неотъемлемая часть.

ОАО «Аккумуляторная компания «Ригель» осуществляет промышленный выпуск литий-ионных аккумуляторов и батарей на их основе, а также разработку новых литий-ионных аккумуляторов и батарей, которые находят применение для АНПА и ТНПА.

НИИСМ МГТУ им. Н.Э.Баумана совместно ОАО «Аккумуляторная компания «Ригель» осуществляет разработку СКУ и зарядного устройства для вновь разрабатываемой аккумуляторной батареи ЛИЖГП-90 из 78 литий-ионных последовательно соединенных аккумуляторов со следующими характеристиками:

- напряжение заряженного ЛИА – 4,0 В;
- напряжение разряженного ЛИА – 2,3 В;
- емкость ЛИА – 90 А·ч.

В состав комплекса СКУ АБ ЛИЖГП-90 входят электронные блоки СКУ-90ЛИ. Конструктивно АБ ЛИЖГП-90 состоит из 3 последовательно соединенных батарейных модулей (БМ), каждый из которых содержит 26 последовательно соединенных литий-ионных аккумуляторов. Для каждого из БМ разрабатывается модуль СКУ-БМ.

СКУ-БМ выполняет мониторинг напряжений и температур на последовательно соединённых аккумуляторах, входящих в состав БМ, а также выполняет балансировку зарядов на ЛИА в процессе заряда. На данный момент элементная база позволяет осуществлять разные схемотехнические варианты реализации модулей СКУ. Например, от полностью аналоговой реализации до полностью цифровой реализации. В данной работе предпочтение отдается цифровой

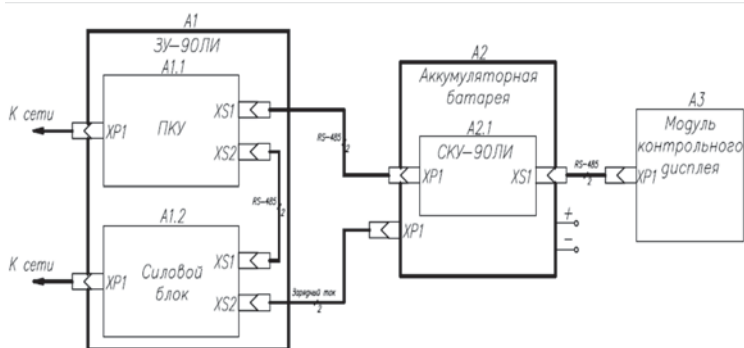


Рис. 1. Состав комплекса СКУ АБ ЛИЖГП-90

реализации с использованием цифровых интегральных схем, обладающих набором функций, позволяющих взаимодействовать с шестью ячейками ЛИА. Интегральные схемы содержат мультиплексор для считывания напряжения, точный АЦП, источник опорного напряжения, драйвер для управления балансной нагрузкой, цифровой интерфейс связи, интерфейс связи смежных ИС для расширения системы путем каскадирования нескольких чипов.

Информация с четырёх модулей СКУ-БМ поступает на модуль информационного обмена и контроля. Этот модуль, обеспечивает конфигурирование всех блоков СКУ, ведет статистику состояний ЛИА, рассчитывает уровень заряда АБ, принимает решение об экстренном отключении АБ от нагрузки, осуществляет информационный обмен с зарядным устройством ЗУ-90ЛИ.

Зарядное устройство ЗУ-90ЛИ состоит из пульта контроля и управления (ПКУ) со встроенным электронно-вычислительным блоком и силового блока, обеспечивающего заряд АБ в заданных режимах.

Пульт контроля и управления осуществляет информационный обмен с СКУ-90ЛИ, вывод информации на монитор, управление процессом заряда АБ ЛИЖГП-90 и ведение электронного журнала, отслеживающего статистику параметров всех аккумуляторных батарей в течение срока эксплуатации.

Силовой блок осуществляет заряд АБ ЛИЖГП-90 в 2 степени.

1. Первая ступень – номинальный режим заряда АБ током 20 А, ускоренный режим током 40А до достижения номинального напряжения на АБ.

2. Вторая ступень – заряд падающим током при постоянном номинальном напряжении на АБ до тока равного 1 А.

Модуль контрольного дисплея позволяет контролировать параметры АБ ЛИЖГП-90 в режиме хранения. Кроме того, интерфейс обмена СКУ-90ЛИ с модулем контрольного дисплея предполагается использовать для вывода информации о состоянии аккумуляторной батареи на пульт управления необитаемых подводных аппаратов, в составе которых их предполагается использовать.

ЛИТЕРАТУРА

1. **David Andrea.** Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs. Boston|London: Artech house, 2010. 290 с.

2. **Barsukov Y.** Battery Cell Balancing: What to Balance and How., Texas Instruments.

3. Современное состояние и перспективы развития зарубежного кораблестроения и ВМС. СПб.: ЦНИИ им. А.Н. Крылова. 2009. Спец. выпуск 1. 256с.

4. **Бровка Н.** Системы контроля литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторных батарей [электронный ресурс] // Компоненты и технологии, №10'2006. URL: http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2006_10_104.pdf. (дата обращения: 10.02.2012).

5. Литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы [электронный ресурс]. URL: <http://www.powerinfo.ru/accumulator-liion.php> (дата обращения: 08.12.2011).

6. Перспективы литиевых технологий. Химический состав литиевых элементов [электронный ресурс]. URL: <http://www.2a3a.ru/li-battery/> (дата обращения: 13.12.2011).

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА ДЛЯ МОНИТОРИНГА МОРСКОГО ДНА

Касаткин Б.А.¹, Косарев Г.В.²

¹ *Институт проблем морских технологий ДВО РАН,
ул. Суханова, 5а, 690950, г. Владивосток, 8(432) 2-43-28-34,
gor@marine.febras.ru*

Paper presents the results of inspection of a seabed by means acoustic profiler of high resolution developed at Institute of marine technology problems FEB RUS. An application of aperture synthesis technique with a purpose of profilers spatial resolution improvement is discussed in our report.

В докладе представлены результаты обследования прибрежных морских акваторий и глубоководных участков морского дна акустическим профилографом высокого разрешения разработанным в ИПМТ ДВО РАН [1]. Приведены профилограммы дна на различных трассах. В качестве носителя акустического профилографа использовалось, как буксируемое устройство так и автономный подводный аппарат. В докладе показана возможность использования акустического профилографа как для исследования геологического строения дна акваторий, так и возможность для мониторинга морских трубопроводов и поиска крупных заиленных объектов. Показана возможность применения алгоритмов синтеза применительно к обработке профилографических данных, с целью повышения разрешающей способности по горизонтальной дальности [2].

Ниже представлены некоторые результаты исследований дна Амурского залива. На рис.7.12 приведена профилограмма дна в районе залегания промышленной трубы на глубине ≈ 17 м.

На рис.2 приведена профилограмма дна также подтверждающая его двуслойную структуру, однако, толщина чехла осадочных пород увеличилась до 30 м. Новый элемент профилограммы – ярко выраженные вертикальные факелы, выходящие из скального основания, которые не могут быть элементами донного рельефа.

На рис. 2 приведена профилограмма дна также подтверждающая его двуслойную структуру, однако, толщина чехла осадочных пород увели-

чилась до 30м. Новый элемент профилограммы – ярко выраженные вертикальные факелы, выходящие из скального основания, которые не могут быть элементами донного рельефа.

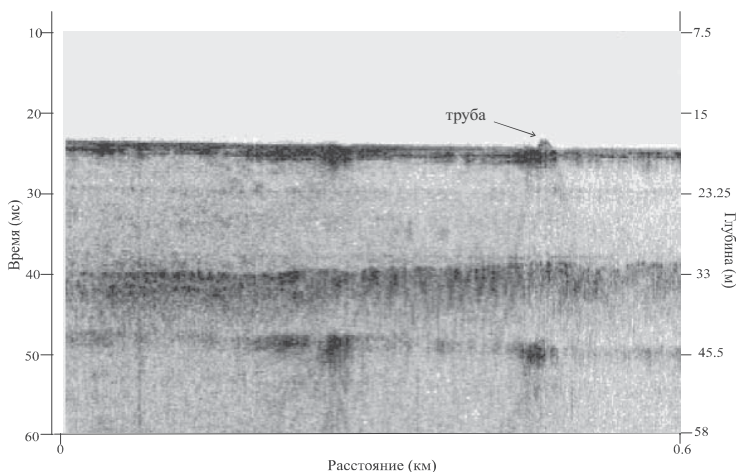


Рис. 1. Профилограмма дна с пролегающей трубой

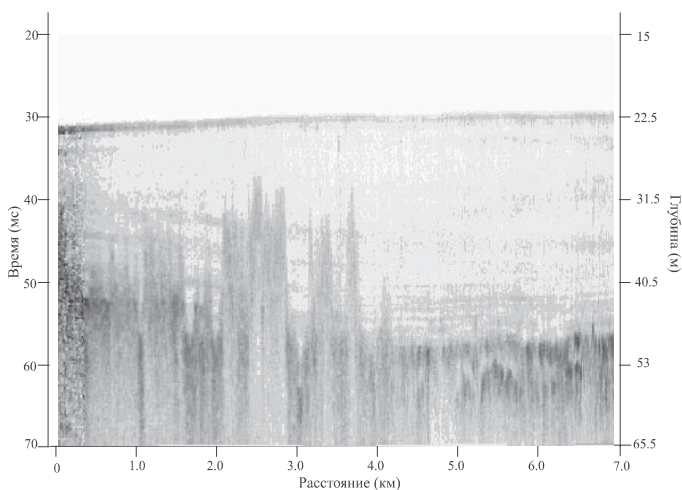


Рис. 2. Профилограмма дна с чехлом осадочных пород и факелами в скальном основании

Можно предположить, что эти факелы связаны с сильным отражением звука газонасыщенными породами или нефте-газоносными слоями морского дна, что подтверждается и наличием зон затенения за каждым из факелов.

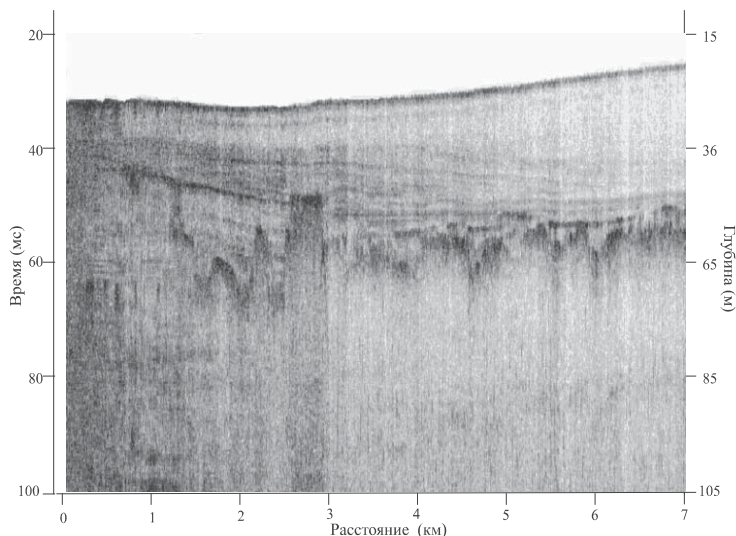


Рис. 3. Профилограмма дна с чехлом наносных осадочных пород и крупноблочным основанием

На рис. 3 приведена профилограмма дна в поперечном разрезе Амурского залива на траверзе мыса Россета. Хорошо виден слоистый чехол осадочных пород, мощность которого увеличивается с (10–12)м. на акватории, прилегающей к городу, до (30–35)м на противоположной части залива.

Далее приводятся примеры применения алгоритмов синтезирования апертур.

На рис. 4 приведены примеры изменения изображения профиля дна при увеличении размера аперттуры синтезирования антенны. Слева приведено исходное изображение (а), справа (б-г) обработанные с применением алгоритма синтезирования. Длина обследуемого участка составляла 400м, скорость буксировки 2.2 м/с. В результате обработки характерные гиперболические сигнатуры в месте расположения локальных объектов в толще дна превращаются в точки после когерентной обработки,

улучшается разрешение, что позволяет реально оценить размеры локальных объектов.

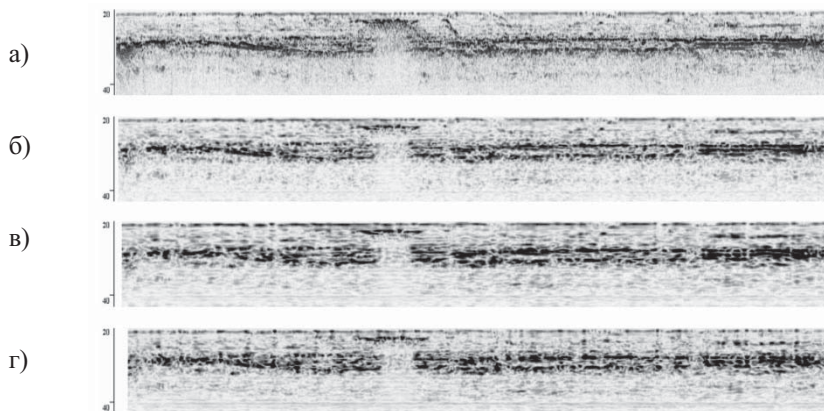


Рис. 2. Исходное (а) и обработанное изображение профиля дна с различными размерами апертуры синтеза
б – 1.5 м, в – 3.0 м, г – 6.4 м

Данные примеры иллюстрируют эффективность применения акустического профилографа высокого разрешения для решения задач исследования морского дна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин Б.А., Косарев Г.В., Ларионов Ю.Г. Опыт использования акустического профилографа для мониторинга акватории Амурского залива Разведка и охрана недр. 2001. №1. с.20–22.
2. Касаткин Б.А., Косарев Г.В. Цифровая обработка сигналов акустическим профилографом методами синтеза апертуры Труды 3 всероссийской научн. техн. Конф. Технические проблемы освоения мирового океана, Владивосток, 2009. с. 317–319.

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ТПА

Артамонова А.В., Капцов А.С., Розман Б.Я.

ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

117997, Москва, Нахимовский пр.-т, 36

Тел.: 499 129-20-45; Факс: 499 129-20-45; E-mail: brozman@ocean.ru

Серия ТПА ГНОМ пополняется как новыми сложными аппаратами ГНОМ-ПРО с большей мощностью, глубиной работы, оснащением гидроакустикой, так и простыми моделями для расширения сфер использования. Ниже рассмотрены вопросы быстрого создания новых моделей в условиях жесткой конкуренции между основными производителями на рынке.

Проектирование малогабаритных моделей начинается с анализа рынка и определения технико-экономических и потребительских характеристик. Это можно рассмотреть на примере проектирования малогабаритного ТПА ГНОМ-Микро. Анализ рынка малогабаритных ТПА (основные модели- ГНОМ, VideoRay, Seabotic, Subseatech) показал наличие пустой ниши для аппарата весом до 2 кг и объемом 1 дм³ с глубиной погружения 30-50 м и длиной кабеля до 50-70 м с ценой менее 100 000 рублей (3,500 \$). Это аппарат массового спроса для таких категорий покупателей, как рыбаки, владельцы катеров, яхт и других маломерных судов, а также на рынке дистанционно-управляемых хобби-моделей. Немало применения есть и в профессиональных сферах (фермы рыбо-разведения, осмотр трубопроводов, резервуаров с водой, систем водоснабжения, и других гидротехнических объектов).

Проектирование такого аппарата, который стал самым малогабаритным ТПА в мире, было сделано на основе уже существующих моделей ГНОМ Стандарт и ГНОМ Супер. На базе четырехмоторной версии была создана трехмоторная версия, с уменьшенными массогабаритными характеристиками и упрощенной конструкцией (например, провода моторов соединяются с блоком управления в основном корпусе без кабелей и разъемов, проходя через отверстия внутри корпусов, которые герметизированы с помощью уплотнительных резиновых колец. Напряжение питания было снижено со 180 В в моделях Стандарт и Супер до 48 В в целях электробезопасности и применения недорогих серийных преобразователей питания AC/DC фирмы Mean Well 220 В – 48 В на пульте управления. Для управления аппаратом использован беспроводной игровой джойстик Sony PlayStation. В модели ГНОМ-Микро длина кабеля,

имеющий диаметр 3 мм, ограничена 50–70 м из-за возросших потерь в кабеле вследствие снижения напряжения питания. Так же были несколько снижены мощности двигателей. В итоге, себестоимость деталей и комплектующих этого аппарата была снижена более чем в 2 раза (до 50000 рублей), по сравнению с моделями Стандарт и Супер, что позволило установить продажную цену менее 100 000 рублей.

На следующем этапе была создана трехмерная модель аппарата, далее были разработаны чертежи деталей для производства с помощью САПР.

Исходным материалом является эскиз ТПА, рожденный в голове конструктора. Эскиз превращается в 3D модель, которая затем разбивается на узлы и детали. Из нескольких деталей рождается сборка узла или устройство, которое проверяется на совместимость, рассчитывается, исследуется на прочностные и гидродинамические нагрузки. Затем для каждой детали создается чертеж, а также файл с машинными кодами для станков с числовым программным управлением. На станке изготавливаются сами детали, материалами для которых служат сплавы Д16, АМГ6, капролон, фторопласт, ПВХ, полипропилен и т. д.

На рис. 1 изображена трехмерная модель детали корпус гермоввода кабеля, чертеж которого показан на рис. 2.

На рис. 3 изображен ТПА «ГНОМ-Микро» в сборке.

На рис. 4 показана схема сборки аппарата «ГНОМ-Микро».

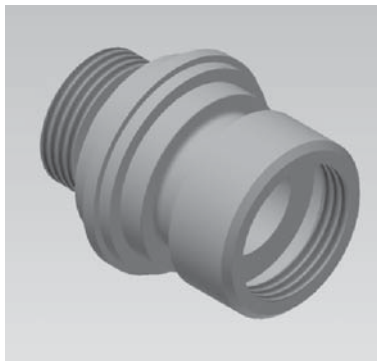


Рис. 1. 3D модель корпуса гермоввода кабеля

Описанные выше технологии позволяют в короткие сроки изготавливать детали, сокращать себестоимость проектирования и изготовления, сокращать затраты на натурное моделирование и испытания.

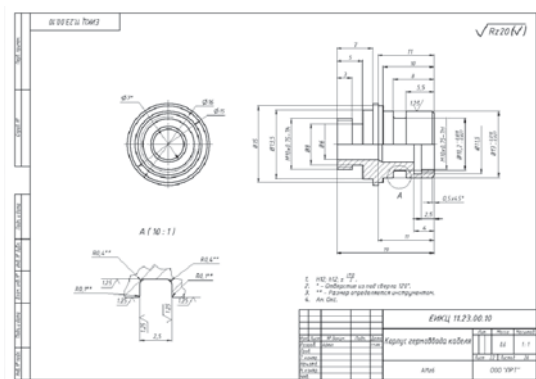


Рис. 2 Чертеж корпуса гермоввода кабеля

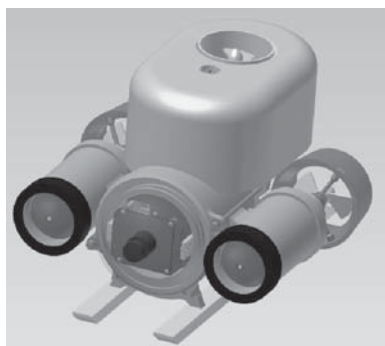


Рис. 3. Трехмерная модель ТПА «ГНОМ BABU»

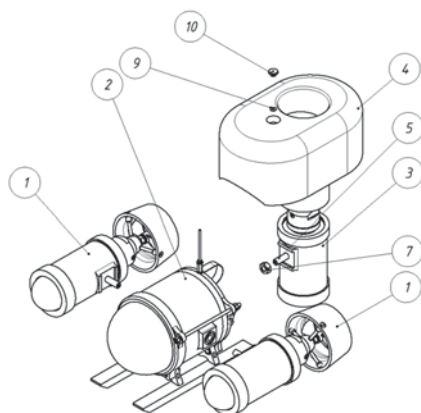


Рис. 4. Схема сборки ТПА «ГНОМ BABU»

- 1 – движитель горизонтальный,
2 – корпус, 3 – движитель
вертикальный, 4 – плавучесть,
5 – болт, 6 – гайка, 7 – шайба,
9 – плавучесть

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Капцов А.С., Артамонова А.В., Елкина М.М.

Институт океанологии им. П.П.Ширинова РАН

Нахимовский пр.-т, 36, 117997, Москва

тел.: 499 129-20-45; факс: 499 129-20-45; e-mail: kaptsov.alex@gmail.com

It is described contents and structure of the control system and power supply system, also such parts as video, sensors, lights of small ROVs. Some recommendations to choose main parts of ROV.

Постановка задачи

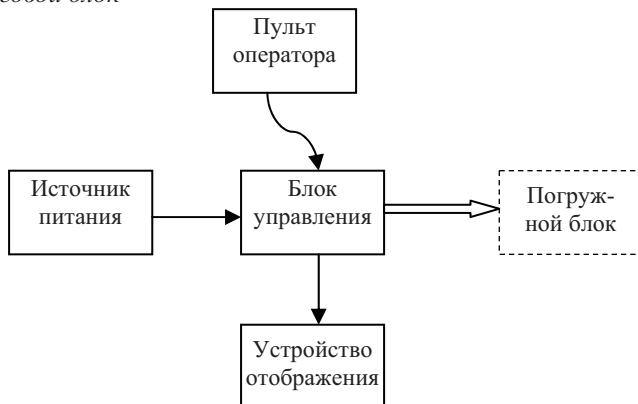
Перед началом проектирования необходимо определить перечень задач, которые ТПА должен решать. В нашем случае это осмотровый ТПА. Такой аппарат предназначен для проведения осмотровых работ в условиях, когда использование водолазов опасно или невозможно.

Для проведения осмотровых работ на аппарате должна стоять высококочувствительная видео камера высокого разрешения, источник света, движители, система навигации и устройство типа “схват” для поднятия небольших предметов на поверхность.

Структура ТПА

ТПА можно разделить на два основных блока: погружной и береговой.

Береговой блок



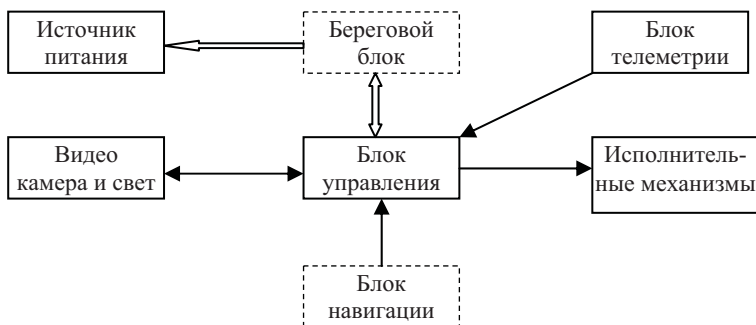
Источник питания – Источник вторичного электропитания для всего комплекса.

Блок управления – Блок формирования и передачи команд управления аппаратом, отображения информации о состоянии системы.

Пульт оператора – Содержит все органы управления погружным блоком ПТА.

Устройство отображения – Устройство, на которое выводится изображение с камеры погружного блока, а так же информация о текущем состоянии системы. Устройство отображение может быть дополнено устройством записи.

Погружной блок



Источник питания – Источник вторичного электропитания для погружного блока.

Блок управления – Блок связи с береговым блоком и формирование управляющих сигналов для остальных элементов погружной части комплекса.

Видео камера и свет – Одна или несколько видео камер с блоками осветителей.

Блок телеметрии – Блок датчиков для определения ориентации в пространстве.

Исполнительные механизмы – Двигатели, привода камер, пробоотборники, манипулятор

Выбор элементов системы

Видео

Для обзорного ТПА основным является качество изображения с камеры. При выборе видеосистемы существуют два возможных варианта: аналоговое и цифровое. У каждого из этих вариантов есть свои достоинства и недостатки.

Если использовать аналоговый (композитный) видео сигнал, то мы можем использовать очень большой ассортимент готовых видео камер. Такие камеры способны работать практически в полной темноте, а под водой это очень актуально. Так же существуют камеры, которые, используя внутреннюю обработку, способны выделять изображение в условиях тумана и мутной воды. Большая распространенность аналоговых камер существенно улучшают ремонтпригодность всей системы. Но есть у аналогового видео и свои недостатки. Аналоговый сигнал необходимо принять из камеры и передать по кабелю связи на береговой блок. Для этого его надо усилить и защитить от самых незначительных помех. А это очень большое усложнение всей системы. Еще одним минусом такой системы является довольно жесткое требование к кабелю связи.

Цифровое видео лишено большей части недостатков аналогового. Но обладает рядом других. Основной недостаток цифрового видеоканала это необходимость создания высокоскоростного канала связи. Самое простое решение этой задачи это использование оптоволоконного кабеля. Но такой кабель требует гораздо более бережного отношения, чем медный. Основное преимущество цифрового видео заключается в том, что качество изображения определяется не стандартами (как в случае с аналоговым), а пропускной способностью канала передачи видео.

Источники питания

В системе есть два основных источника питания:

- источник вторичного электропитания в составе берегового блока
- источник вторичного электропитания в составе погружного блока

«Береговой» источник должен обеспечивать электропитание берегового блока управления и электропитание погружного блока. Так-же задачей этого источника является мониторинг температуры кабеля и контроль за потреблением электричества погружным блоком. Блок должен обеспечивать автоматическое аварийное отключение системы в случае возникновения, каких либо неисправностей.

«Бортовой» источник должен обеспечивать погружного блока системы. В отличие от «берегового» источника на погружном блоке необходимо использовать источники с максимальным КПД.

Двигатели

Двигатели это основной потребитель энергии ТПА. От совокупного КПД «Силовой установки» в основном зависит эффективность расходования энергии на погружном блоке. Под совокупным КПД подразумевается КПД источника питания моторов, КПД комплекта моторов и

винтов. Для повышения эффективности использования энергии разумнее всего использовать двигатели, которые могут работать во всем диапазоне напряжений в кабеле связи без предварительного понижения.

Освещение

Вторым серьезным потребителем электроэнергии на погружном блоке являются блоки осветителей. Здесь, так же как и в случае с моторами, лучше всего использовать осветители, способные работать без предварительного понижения напряжения.

Блок датчиков

У ТПА есть датчик давления для измерения глубины и магнитный компас. Это минимальный набор датчиков, позволяющий ориентироваться в водной толще и управлять аппаратом. Также эти датчики позволяют в автоматическом режиме удерживать курс и глубину аппарата.

Блок навигации

Блок навигации является вспомогательным блоком, который позволяет определить относительное (относительно точки спуска) или абсолютное (с использованием системы глобального позиционирования GPS или ГЛОНАС) местонахождение аппарата под водой. Навигационную систему можно дополнить системой эхо-локации.

Эхолокационная система, в отличие от навигационной системы, требует передачи данных на береговой блок. Для этого можно использовать отдельный провод, но это увеличивает толщину, а следовательно, и парусность кабеля. Такое изменение ухудшает маневренность аппарата и затрудняет управление. Другой вариант решения этой задачи это мультиплексирование каналов данных. То есть аппаратное или, что эффективнее, программное объединение нескольких каналов данных для передачи по одному физическому каналу связи.

Береговой блок

Конструкция берегового блока сильно зависит от условий использования аппарата. Если предполагается не стационарное использование системы, то удобнее всего объединить все элементы берегового блока в одном корпусе. Исключением может быть пульт оператора. В большинстве случаев удобнее использовать выносной пульт нежели пульт, встроенный в корпус береговой станции. Это может быть проводной или беспроводной пульт управления. Такое решение позволяет работать в «чистом поле». Например, при использовании радио пульта и видео

очков нет необходимости организации полноценного рабочего места для оператора. Особенно если не требуется проведения длительных работ.

При выборе устройства отображения необходимо учитывать погодные условия в которых предполагается работа аппарата. Наиболее важным из этих параметров является яркость. Если она будет недостаточной, то использование комплекса на ярком солнце будет невозможна.

ПОДВОДНАЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМАЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПЛАТФОРМА С СЕТЕВОЙ АРХИТЕКТУРОЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОСФЕРЫ

Елкин А.В., Розман Б.Я., Шерстов Е.А.

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН

Нахимовский пр.-т, 36, 117997, Москва

Тел.: 499 129-20-45; Факс: 499 129-20-45; e-mail: brozman@ocean.ru

It is described multi functions underwater research platform with remote control. This platform connects to underwater cable and powered and transmit data via this cable. It also contains ROV which also controlled via cable. This platform can work with underwater cable nets like Venus, Neptun, Mars and others. ROV GNOM has IP interface and server-client software, what allows remote control via IP nets.

Проведение фундаментальных геоэкологических исследований требует современной аппаратуры, способной проводить широкомасштабные измерения параметров состояния гидросферы и оперативно отслеживать их изменения. Для долговременного мониторинга необходимо создание технических средств с дистанционным управлением и коммуникационными каналами передачи информации.

Бурное развитие высоких технологий в т.ч. компьютерных и телекоммуникационных, появление нового поколения исследовательских приборов со встроенными компьютерами, успехи в создании подводных роботов – все это предопределило возможность создания дистанционно управляемых подводных исследовательских платформ-лабораторий с возможностью объединения их кабельными и спутниковыми каналами. Такие сети телекоммуникаций представляют собой подводный сегмент Интернета. С их помощью можно будет проводить широкомасштабные измерения гидрофизических и гидрохимических параметров морской

воды в реальном времени, исследовать придонную флору и фауну, прослеживать динамику изменений состояния гидросферы. На основе этих платформ-лабораторий можно будет создавать сети исследовательских станций, имеющих в составе измерительные приборы, подводные телеуправляемые аппараты и роботы, соединенных подводным кабелем или поверхностными буями со спутниковой связью. Такие кабели (и/или буи) будут соединены с Интернетом и позволят получать информацию в реальном времени со всех станций и управлять ими. Эти станции постепенно придут на смену эпизодическим исследованиям, проводимых с судов, сделав их дешевле и постоянными во времени. Конечно, не следует ожидать, что они скоро покроют весь океан, но вполне реально их использование в первую очередь для научных и экологических исследований прибрежных шельфовых зон. Об этом свидетельствуют развитие международных проектов Venus, Neptun, Mars по прокладке сетевых кабелей с узлами для подключения исследовательской подводной аппаратуры вдоль участков побережья США и Европы. Организован международный консорциум из десятков университетов и фондов. Проводится работа по стандартизации интерфейсов, протоколов связи и систем питания. Первые опытные станции уже развернуты.

Целью данного проекта является создание телеуправляемой передвижной подводной платформы (ТПП) – современного технического многофункционального средства для исследования мирового океана, прибрежных и внутренних вод России, с помощью которого можно будет проводить долговременный подводный мониторинг, брать и анализировать пробы воды и грунта. ТПП должна иметь возможность развертывания и работы с судов, береговых станций и морских нефтяных платформ и в составе сети подводных станций, а также возможность управления и передачи телеметрии через подводный сегмент Интернета.

ТПП сможет использоваться для решения научных и экологических задач, а именно:

- Проводить подводные видеонаблюдения и научные исследования (измерения гидрофизических и гидрохимических параметров воды) как в прибрежных водах России, так и в Мировом океане.

- Идентификация видов морской фауны и флоры, токсических и вредоносных форм водорослей и простейших.

- Экологический мониторинг дна и искусственных сооружений типа нефтяных платформ, трубопроводов, а также затонувших судов и потенциально-опасных объектов (контейнеров с радиоактивными отходами, затопленные суда со снарядами, химоружием и т.д.).

- Исследование природных и антропогенных чрезвычайных ситуаций в морских акваториях.

– Мониторинг дна и придонного слоя при прокладке трубопроводов, кабелей и т.д.

Ожидаемые результаты

В результате будет разработан и изготовлен принципиально новый инструмент для проведения подводных исследований, представляющий собой телеуправляемую глубоководную научно-исследовательскую платформу-лабораторию с возможностью работы как с судов, так и с морских сооружений типа нефтедобывающих платформ, а также в составе подводной информационно-управляющей сети.

ТПП будет оснащена движительным винто-моторным комплексом, высокочувствительными видеокамерами высокого разрешения с осветителями, измерительными датчиками гидрофизических и гидрохимических параметров морской воды, гидролокационными средствами высокого пространственного разрешения, манипулятором для отбора проб (воды, биомассы, грунта), необходимым набором навигационных датчиков – глубины, курса, системой определения координат, а также возможностью установки устройств навесного типа, например, измерителей гамма излучения, магнитометром и др.

Ключевым отличием от существующей аппаратуры является вышеупомянутая возможность работы в подводной кабельной сети, наличие винто-моторной движительной установки, позволяющая передвигаться под водой в зоне длины кабеля (100-300м). Кроме того, она будет иметь сетевую IP архитектуру и большинство стандартных интерфейсов, что дает возможность дооснащения и интеграции в систему разного рода оборудования типа измерительных датчиков, пробоотборников, акустической аппаратуры, а также дополнительных телеуправляемых модулей-спутников.

В таком качестве предполагается установка на эту платформу и интеграции в систему малогабаритного телеуправляемого аппарата-спутника типа «ГНОМ». При этом базовый подводный модуль-платформа выступает в качестве носителя подводного модуля спутника. Использование такой системы из двух подводных аппаратов даст возможность проводить осмотры подводных объектов на значительных глубинах в ограниченном пространстве (например, изнутри).

Состав и описание системы

Научно-исследовательская платформа представляет собой подводный телеуправляемый комплекс, состоящий из подводной и надводной (судовой) частей.

Состав подводной части:

– Базовый подводный модуль (телеуправляемая подводная платформа — ТПП)

– Подводный модуль — спутник

– Доковая станция-гараж (при работе с судов)

Состав надводной части (монитор оператора):

– Пульт управления и устройство отображения и накопления информации и видео

– Спускоподъемное устройство

ТПП представляет собой конструкцию, оснащенную подводными движителями (маршевыми, лаговыми и вертикальными), видеокамерой (-ами) высокого разрешения, навигационным оборудованием (компас, датчик глубины, гидроакустическая навигационная система), датчиками для измерения гидрофизических и гидрохимических параметров (температуры, солености, растворенного кислорода и ряда др. газов и т.д.), манипулятором, гидролокатором кругового обзора, разъемами с интерфейсами для подключения дополнительного навесного оборудования, в том числе подводного модуля — спутника.

Платформа выполнена в виде несущей *полипропиленовой рамы, герметичных прочных корпусов* с крышками с гермовводами с задней стороны и иллюминаторами для видеокамеры (видеокамер) спереди.

Внутри корпусов размещены источник и преобразователь питания, блок электроники, электронный компас, а также датчик глубины, мембрана которого выходит наружу на задней крышке.

Подводная платформа приводится в движение шестью движителями, жестко закрепленных на раме: четырьмя *горизонтальными, двумя вертикальными*.

Кроме того на раме могут быть установлены *кластеры светодиодных осветителей* (количество может варьироваться), *манипулятор, гидролокатор кругового обзора, набор датчиков для сбора информации (температуры, солености и т.п.)*

Для придания подводному модулю плавучести близкой к нейтральной на раму устанавливается *блок плавучести*.

Платформа связана с доковой станцией кабелем, по которому подается электропитание, команды управления, данные с датчиков и видеосигнал.

Система может программироваться (или перепрограммироваться) оператором с помощью многоуровневого экранного меню, позволяющего производить калибровку датчиков, переконфигурирование системы при подключении дополнительных устройств, тестирование системы и

ряд технологических функций. Предусмотрена возможность подключения компьютера по COM интерфейсу.

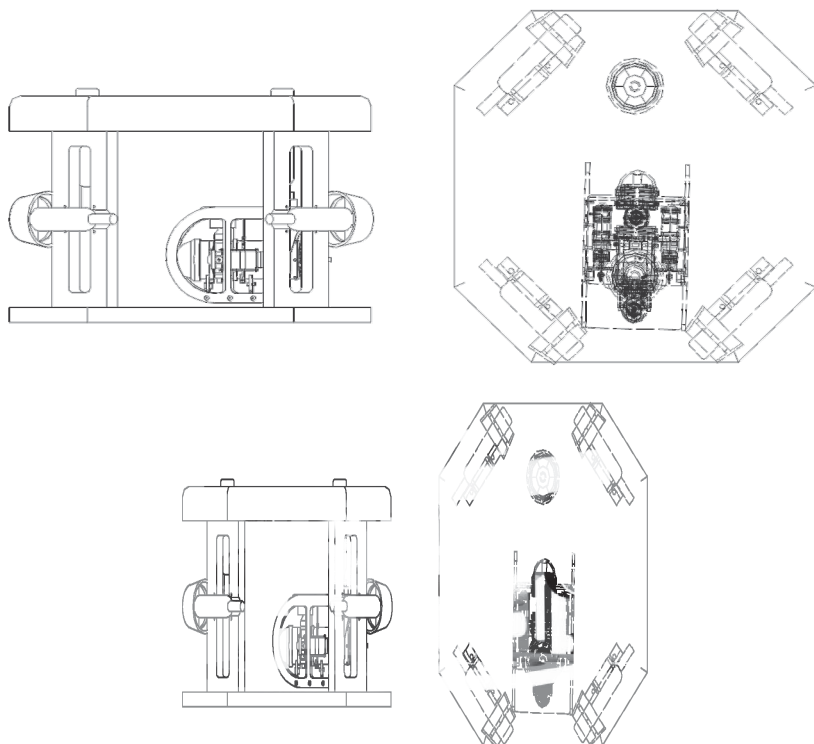


Рис. 1.

Подводный модуль-спутник выполненный на базе малогабаритного ТНПА СуперГНОМ модернизированного для работы на глубине до 500 м.

Подводный модуль (рис.2) выполнен в виде трех герметичных прочных корпусов (с крышками на торцах. Между цилиндрами имеется 2 проставки, на которых закреплены 2 вертикальных движителя.

К основному цилиндру прикреплены четыре горизонтальных движителя с осветителями спереди и плавучесть из синтактика.

Внутри переднего и заднего цилиндров расположены бескорпусная цветная видеокамера на основе CCD матрицы 1/3". Видеокамера (по

желанию заказчика) имеет режим наклона или поворота, эта функция регулируется клавишами пульта управления.

Внутри основного корпуса размещены преобразователь питания, блок электроники, а также датчик глубины, мембрана которого выходит наружу на *задней крышке*.

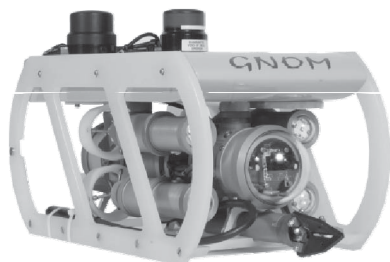
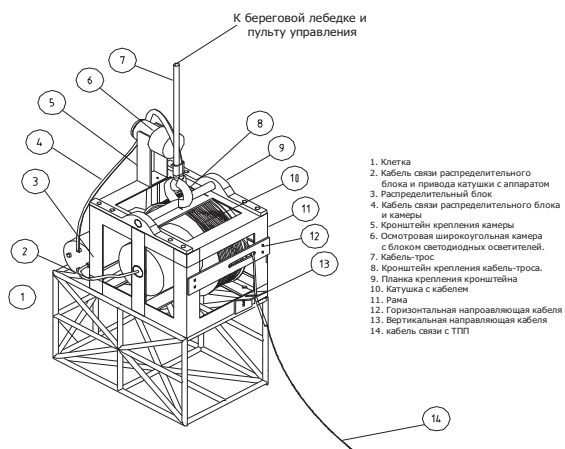


Рис. 2.

Доковая станция – «гараж» – обеспечивает вывод базового подводного модуля с подводным модулем спутником на борту на заданную глубину. Значительная отрицательная плавучесть гаража обеспечивает более точное позиционирование аппарата относительно базового обслуживающего судна. В гараже, установлена мини-лебедка с кабелем порядка 150 м (возможна установка подводной видеокамеры, осветителей, приемопередатчика гидроакустической навигационной системы). Гараж опускается с судна на многожильном кабель-тросе на глубину до 400 м.



Пульт управления комплексом. Располагается на базовом обслуживающем судне или платформе. Обеспечивает контроль и управление всеми узлами комплекса. Состоит из пультов управления базовым подводным модулем, подводным модулем-спутником, доковой станцией, спускоподъемным устройством; устройствами вывода и записи информации (мониторами, персональными компьютерами, видеоманитофонами) и блока управления к которому подключены все элементы системы.

Спускоподъемное устройство обеспечивает спуск доковой станции с подводными модулями на заданную глубину и последующий их подъем на палубу обслуживающего судна.

УДК 681.883

КОМБИНИРОВАННЫЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Колосов К.В.

ЗАО «НТП «Реаконт»

Каширское ш., 13а, 115230, г. Москва, 8(495)741-55-76

mail@reacont.ru

This report is devoted to combined hydroacoustic devices of underwater vehicles. It is showed that the combination of different functions in one system allows to solve search and navigation problems more efficiently.

В докладе обсуждаются комбинированные гидроакустические приборы подводных аппаратов. Показано, что сочетание в одном приборе функций различных устройств позволяет более эффективно решать поисковые и навигационные задачи.

Как известно, в подводных аппаратах в качестве устройств, получающих информацию о внешней среде, используются в основном различные эхолотационные приборы: многолучевые эхолоты, сканирующие локаторы, гидролокаторы бокового и секторного обзора. В навигационном обеспечении подводных аппаратов применяются системы счисления пути, включающие гидроакустические датчики скорости (относительный и абсолютный лаги). Задача управления движением подводного аппарата в придонной области при ровном рельефе дна решает-

ся с использованием нижнего дальномерного эхолота. Для управления в условиях более сложного рельефа дна (при его изменчивости, наличии препятствий) аппарат оснащают эхолокационной системой переднего обзора [1].

Каждый функционально законченный прибор позволяет решать конкретную задачу (измерение скорости или глубины, определение наличия препятствий по ходу движения аппарата и др.). Вместе с тем, конструктивное, схемотехническое и программное объединение различных гидроакустических приборов в определённых сочетаниях позволяет в ряде случаев получить качественно новый результат.

Известно объединение в одном устройстве эхолота и доплеровского лага (например, в противоминных подводных аппаратах комплексов «Маёвка», «Ливадия»). Гидроакустический преобразователь эхолота в данном случае расположен по центру между преобразователями лага, размещёнными по схеме «Янус» [2]. Габаритный размер устройства при этом не увеличивается. Такое сочетание имеет следующие достоинства:

- удобство в обеспечении гидроакустической совместимости, управлении, размещении;

- анализ первичной информации лага может проводиться с учётом данных эхолота о расстоянии до дна. Например, в отраженном от дна сигнале лага могут быть выделены стробы по дальности, гарантирующие работу лага в абсолютном режиме;

- в свою очередь, данные эхолота могут обрабатываться совместно с эхо-сигналами каналов лага. Так, если в каналах лага применить составную излучающую посылку, которая позволит помимо измерения доплеровского сдвига оценить расстояние до дна в соответствующих направлениях, то может быть определено не только расстояние до дна, но и произведена оценка наклона донной поверхности;

- может быть произведена оценка скорости движения по вертикальной координате, поскольку первичные данные эхолота служат дополнительным каналом информации.

Такое объединение, по сути, представляет собой новый навигационный гидроакустический прибор с качественно новыми возможностями, причём конструкция и аппаратная часть исходных приборов практически не меняются. Новое качество достигается за счёт программно-алгоритмической модернизации.

Другим примером комбинированного прибора может служить модернизированная поисковая гидролокационная станция, разработанная ЗАО «НТП «Реаконт» для спасательного глубоководного аппарата «Бестер». Она представляет собой комбинацию четырёх гидролокаторов

на основе фазированной антенной решётки: гидролокаторов переднего секторного обзора для верхней и нижней полусфер и многолучевых эхолотов для верхнего и нижнего обзоров. Изделие предназначено для поиска затонувших и прилежнённых (подвсплывших) объектов.

Сочетание гидролокатора переднего секторного обзора с многолучевым эхолотом в одном корпусе не практически увеличивает габариты антенны, но позволяет более эффективно производить поиск в широком диапазоне глубин моря. В частности, гидролокатор секторного обзора более эффективен на небольших глубинах, а полоса обзора многолучевого эхолота увеличивается с ростом глубины, т.е. уменьшение возможностей одного прибора компенсируется увеличением возможностей другого. Помимо этого, ввиду того, что для любых гидролокаторов точность оценки дальности до различных точек объекта значительно выше точности оценки пеленгов, пересчитанных в линейные размеры, возможность рассматривать объект с разных ракурсов (в данном случае — спереди и сверху) значительно увеличивает достоверность правильной классификации, а значит и эффективность поиска.

Ещё одним примером комбинированного прибора может служить разработанный ЗАО «НТП «Реаконт» малогабаритный поисковый гидролокатор Р-142 для прибрежной зоны моря. Подводный блок гидролокатора имеет габаритные размеры 220×125×50 мм. В нем расположены антенны и электронная аппаратура гидролокатора переднего секторного обзора и гидролокатора бокового обзора.

Гидролокатор бокового обзора является эффективным поисковым средством, однако он не обеспечивает обзора в секторе 60°–90° непосредственно под аппаратом [3]. Для компенсации зоны тени, поперечный размер которой обычно составляет 1.5–2 глубины под килем, служит гидролокатор секторного обзора. В районах малых глубин (отстояний от дна) образуется значительное перекрытие зон обзора гидролокаторов. Это даёт возможность в процессе поступательного движения поискового аппарата производить осмотр с разных ракурсов, что позволяет более точно оценить линейные размеры и форму объектов, расположенных в зонах перекрытия.

Таким образом, можно предположить, что поскольку с каждым годом расширяется круг задач, решаемых подводными аппаратами, и возрастают требования к их гидроакустическому вооружению, со временем будет возрастать потребность в увеличении номенклатуры комбинированных гидроакустических приборов и требования к их тактико-техническим характеристикам.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Океанология:** Средства и методы океанологических исследований / Г. В. Смирнов, В. Н. Еремеев, М. Д. Агеев и др. М.: Наука, 2005. 795 с.
2. **Гидроакустическая энциклопедия** / Под общ. ред. В. И. Тимошенко. Ред. кол. Л.М. Бреховских, Н.А. Дубровский, О.В. Руденко и др. Таганрог: Издательство ТРТУ, 1999. 788 с.
3. **Справочник по гидроакустике** / А. П. Евтютов, А.Е. Колесников, А.П. Ляликов и др. Л.: Судостроение, 1982. 344 с.

УДК 551.46.07

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА РАБОЧЕГО КЛАССА

**Молчанов А.В., Куценко А.С., Егоров С.А., Сарвира Д.В.,
Вельтищев В.В., Медвецкая У.В., Крючков Р.С., Плясунов В.М.**

*НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, г. Москва, Гостеприимный пер., д.10
тел./факс: 8(499)263-61-15, E-mail: sm42@sm.bmstu.ru*

In the paper, we outline modifications of the control system of a work class remotely operated underwater vehicle that was designed and constructed by RISM BMSTU in the 90's.

В 90-х годах в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана был создан телеуправляемый подводный аппарат (ТПА) рабочего класса. Информационно-управляющая система (ИУС) данного аппарата состояла из следующих вычислительных модулей:

- основной бортовой вычислительный модуль, отвечающий за обработку алгоритмов ИИК и системы управления. К данному модулю были подключены все подсистемы ИУС, включая следующие датчики: вперёдсмотрящий и внизсмотрящий эхолоты с выходным 12-ти разрядным параллельным кодом и аналоговый датчик глубины на базе тензометрического датчика давления серии Д;
- модуль бесплатформенной системы ориентации (БСО), построенный на базе инерциального измерительного блока с динамически на-

страиваемыми гироскопами. Информационный обмен между модулем БСО и основным модулем осуществлялся по интерфейсу RS-232;

- модуль системы видеостабилизации (СВС), отвечающий за определение линейных перемещений аппарата относительно дна по данным видеокамеры. Информационный обмен между основным модулем и модулем СВС осуществляется по каналу Ethernet.

Ввиду давности разработки аппарата часть датчикового оснащения ТПА либо вышла из строя, либо не отвечала требованиям по точности, времени готовности к работе, ввиду чего было принято решение о модернизации ИУС ТПА. Однако с целью уменьшения изменений, вносимых в отработанную аппаратно-программную часть комплекса, требовалось сохранить существующие интерфейсы заменяемых компонентов и существующее программное обеспечение бортового и пультowych вычислительных модулей. В результате, модернизация включила в себя:

- замену внизсмотрящего эхолота более современным эхолотом PSA916 (фирма Teledyne Benthos, США);

- замену датчика глубины на более точный цифровой датчик D10 (фирма WIKA, Германия). При этом, для заведения сигналов с датчика глубины и эхолота в основной бортовой вычислительный модуль был установлен дополнительный вычислитель на базе одноплатной ЭВМ формата PC104 Helios, имеющей на своем борту 4 последовательных порта, 24 цифровых канала ввода-вывода, 16 каналов 16 битного АЦП и 4 канала 12 битных ЦАП. Таким образом, данный модуль отвечал за преобразование цифровых интерфейсов новых датчиков (RS232) в интерфейсы старых датчиков (12 разрядный параллельный код эхолота и аналоговый сигнал датчика глубины), заводимые в основной бортовой вычислительный модуль;

- замену старой БСО более новой, построенной на базе цифрового электромагнитного компаса TCM-XB (фирма PNI, США) и инерциального измерительного блока AIST-350 (фирма iSense, Россия), включающего в свой состав триаду микромеханических гироскопов, триаду микромеханических акселерометров и имеющего систему термостабилизации. Данные датчики подключались к вычислительному модулю на базе второй ЭВМ Helios, так же осуществляющей информационный обмен по интерфейсу RS232 с основным бортовым вычислительным модулем, по протоколу предыдущей системы ориентации;

- замену старого канала связи между бортовой и пультовой ИУС ТПА новым каналом связи на базе модулей HP52 (фирма Dynamix, Украина), обеспечивающих передачу Ethernet интерфейса по коаксиальной линии, что, в свою очередь, обеспечило возможность создания единой

Ethernet сети, объединяющей все вычислители комплекса. При этом для сохранения старого интерфейса RS232 между основным бортовым вычислительным модулем и пультом управления ТПА было принято решение поставить преобразователи последовательного интерфейса в Ethernet NPort 5110A (фирма MOXA, США);

- замену вперёдсмотрящего эхолота гидролокатором секторного обзора Super Seaking (фирма Trittech, Англия), имеющего последовательный интерфейс RS232. При этом гидролокатор подключался к преобразователю NPort 5110A, подсоединённому к бортовому Ethernet коммутатору, объединённому посредством нового информационного канала с пультовым Ethernet коммутатором. В свою очередь, в пультовой части комплекса также был установлен преобразователь NPort 5110A, к которому подключался отдельный панельный компьютер под управлением операционной системы Windows с установленным на него штатным программным обеспечением фирмы Trittech для обработки и отображения информации с гидролокатора;

- замену старого модуля СВС на новый, построенный на базе ЭВМ формата PC104+ PCM-3362 (фирма Advantech, США), с доработанными алгоритмами обработки, что позволило повысить точность системы и частоту обновления данных.

Все заменяемые компоненты отдельно были отработаны в лабораторных условиях с использованием стендового оборудования. После их интеграции в состав ТПА и комплексных лабораторных испытаний, были проведены настройка контуров системы управления и испытания аппарата в бассейне в целом, показавшие полную работоспособность модернизированной ИУС.

Таким образом, удалось полностью сохранить основную аппаратно-программную структуру информационно-управляющей системы ТПА, а изменению подверглись лишь подсистемы, требующие модификации, что позволило значительно сократить время и стоимость проведения модернизации.

СИСТЕМА ВИДЕОПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ МАРКЕРЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА

Плясунов В.М., Кропотов А.Н., Макашов А.А.

*Научно-исследовательский институт специального
машиностроения московского государственного
технического университета им. Н. Э. Баумана,
Гостеприимный пер., 10, 105005, Москва,
тел. +7 (499) 263-61-41, факс +7 (499) 263-61-15, sm42@sm.bmstu.ru*

Paper presents a video positioning system of the remotely operated underwater vehicle. This system is used to automate the vehicle's docking process with special bottom stations. It can also be used to provide dynamic local positioning of the vehicle near the bottom surface or another visible object of work.

Одной из актуальных задач, стоящих перед рядом разрабатываемых телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА), является задача осуществления стыковки аппарата со специальными донными станциями в автоматизированном режиме. Данная задача может быть решена путем осуществления компьютерной обработки видеоизображений, поступающих с видеокамеры, размещенной на ТНПА.

В данном докладе рассматривается разрабатываемая в настоящее время система видеопозиционирования (СВП) телеуправляемого необитаемого подводного аппарата. Конструктивно СВП представляет собой вычислительный модуль, на который заводится видеосигнал с штатной видеокамеры подводного аппарата.

СВП способна работать в двух режимах: режим автоматизированной стыковки и режим видеостабилизации. Переключение между режимами предполагается осуществлять командой оператора с пульта управления аппаратом.

1. Режим автоматизированной стыковки

При наличии визуального контакта видеокамеры ТНПА со стыковочным узлом донной станции, система видеопозиционирования способна вычислять 3 линейных координаты (x, y, z) и 3 угла ориентации стыковочного узла относительно ТНПА, в связанной с ТНПА системе

координат. Вычисление будет осуществляться в условиях реального времени, с частотой не менее 10 Гц. Прогнозируемая точность определения линейных координат будет составлять ± 5 мм, точность определения угловых координат $\pm 2.2^\circ$.

Вычисленные координаты и углы ориентации будут использованы для индикации оператору, а также для замыкания контуров системы управления движением, что позволит произвести автоматическую стыковку с донной станцией, по команде оператора.

Для реализации данного режима на поверхность донной станции, рядом со стыковочным узлом, будут нанесены маркеры специального вида (см. рисунок 1). При попадании в кадр данные маркеры будут автоматически распознаваться, для чего может быть использовано обобщенное преобразование Хафа [1, 2]. Далее составляется переопределенная система уравнений, аналогично рассмотренной в [3], связывающая вычисленные параметры распознанных маркеров с линейными и угловыми координатами ТНПА относительно стыковочного узла. Эта система уравнений решается методом наименьших квадратов согласно.

На рисунке 1 приведен пример распознанного маркера: штриховыми линиями показана ориентация маркера относительно осей ТНПА X и Y, черные точки соответствуют распознанным элементам маркера.

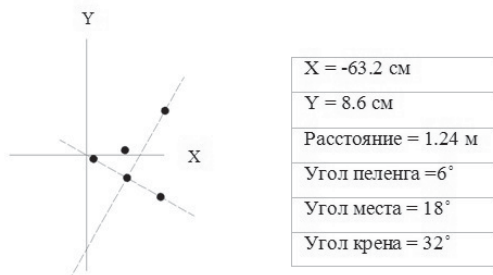


Рис. 1. Пример распознанного маркера специального вида

2. Режим видеостабилизации

При условии наличия в поле зрения видеокамер ТНПА донной поверхности или объекта обладающего достаточной контрастностью, СВП способна вычислять нормированные на величину расстояния от камеры до донной поверхности, или объекта приращения 3-х линейных координат ТНПА, Δx , Δy , Δz , в связанной системе координат, и приращение угла поворота объекта относительно оптической оси камеры.

Данные приращения будут использованы для реализации режима «зависания» ТНПА над дном или объектом, которым может быть, например, донная станция, в условиях наличия внешних возмущающих факторов, таких как течения.

Для реализации данного режима используется модифицированный метод Лукаса-Канаде [4]. С некоторой частотой, превышающей 10 Гц из видеопоследовательности захватываются кадры. На некотором кадре, выбранном в качестве эталонного, выделяются яркостные неоднородности, и их смещение определяется на последующем кадре с помощью функционала схожести описанного в [5].

Далее решается задача интерпретации смещений опорных элементов как трехмерного движения ТПА. Смещение объектов (яркостных неоднородностей) на видеоизображении интерпретируется как трехмерное движение видеокамеры по 4-ем координатам: ΔX , ΔY , ΔZ и $\Delta \varphi$ — поворот камеры за кадр (вычисляется относительно центра кадра). При этом предполагается, что стабилизация аппарата по углам крена и дифферента выполняется средствами бесплатформенной системы ориентации (БСО) аппарата.

Тогда для каждого объекта можно записать 2 уравнения:

$$\begin{cases} x_i^* = (\Delta x + x_i \cos \theta + y_i \sin \theta) \frac{Z + \Delta Z}{Z} \\ y_i^* = (\Delta y + x_i \sin \theta - y_i \cos \theta) \frac{Z + \Delta Z}{Z} \end{cases}, i=1 \dots N,$$

где Δx , Δy — смещение центра кадра по осям Ox , Oy в системе координат текущего кадра; x_i , y_i — координаты объекта на эталонном кадре;

$\frac{Z + \Delta Z}{Z}$ — изменение масштабного коэффициента, связанное с изменением глубины; x_i^* , y_i^* — измененные координаты объекта, вычисляемые с помощью функционала схожести.

Таким образом, также получаем переопределённую систему уравнений с четырьмя неизвестными и числом уравнений, равным удвоенному числу выделенных яркостных неоднородностей. Решая её методом наименьших квадратов, находятся величины перемещений камеры. В случае, если эти перемещения превышают некоторый заданный порог, эталонный кадр обновляется на последующий. Вычисленные нормированные приращения координат камеры преобразуются к системе координат ТНПА и используются для замыкания контуров системы управления обратными связями при реализации режима зависания.

Разработанная система видеопозиционирования позволит существенно упростить и ускорить выполнение стыковочных операций. Это повысит эффективность использования телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гонсалес Р., Вудс Р.** Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005.
2. **Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В и др.** Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий. – М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.
3. **Fang J. Q., Huang T. S.,** Solving “Three-dimensional Small-Rotation Motion Equations: Uniqueness, Algorithms, and Numerical Results”. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 26, No. 2, pp.183–206 (1984a).
4. **Lucas B., Kanade T.** (1981) An iterative image registration technique with an application to stereo vision // Proceedings of Imaging Understanding Workshop, 1981. с. 121–130.
5. **Артюхов М.Ю., Кротов А.Н., Макашов А.А. и др.** Опыт создания системы локальной видеонавигации для подводных аппаратов // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами-2010: Труды научно-технической конференции-семинара. М.: КДУ, 2011. с 230–242.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абрамов Д.В., 220
Авилов В.И., 93
Азаров А.И., 195
Аистов Е.А., 47, 69
Алексеев Ю.К., 299
Амбросимов А.К., 98, 102, 137,
141, 249
Ананьев Р.А., 292
Антоненко С.Л., 313
Артамонова А.В., 330, 356, 359

Б

Бабий В.И., 152
Баранов В.И., 106, 109, 110, 125,
249
Белевитнев Я.И., 216, 264, 269
Бережная Е.Д., 180
Блинцов А.В., 309
Блинцов С.В., 305
Бондаренко А.Л., 230
Бриллиантов А.Н., 257
Буланов И.А., 170
Булатов В.В., 234

В

Вельтищев В.В., 313, 372
Виноградова Е.Л., 182
Владимиров Ю.В., 234

Г

Гагонин Д.А., 41
Гайский В.А., 117
Гайский П.В., 115, 117, 119
Гасников О.А., 123
Глотко А.В., 257
Голубов Б.Н., 98
Горбачкий В.В., 137
Грабовский А.Б., 193
Греков А.Н., 145, 148, 170, 173
Греков Н.А., 170, 173

Д

Дегтярев В.П., 277
Демидов А.И., 326
Демидова Т.А., 158, 162
Дмитревский Н.Н., 292
Дубинин А.В., 180, 182

Е

Егоров А.В., 285, 288
Егоров И.В., 281
Егоров С.А., 319, 372
Елкин А.В., 363
Елкина М.М., 359
Есюкова Е. Е., 89

З

Забурдаев В.И., 119
Залогин Н.Н., 326
Зарецкий А.В., 17
Зацепин А.Г., 125, 186

И

Иванов В.В., 216, 245
Ивонин Д.В., 195, 198

К

Каевицер В.И., 260
Каминский Ю.Д., 84
Капцов А.С., 356, 359
Карабашева Э.И., 17
Касаткин Б.А., 352
Катович А.А., 106
Киселев Л.В., 296
Клевцов В.В., 220
Клименко А.В., 119, 170
Ковалевич Д.А., 333
Козинов А.В., 338
Колосов К.В., 369
Комочков Р.Ш., 326
Кондрашов А.А., 106, 109, 110, 125
Конешов В.Н., 220
Коновалов Б.В., 193
Коновалов С.К., 60

Корж А.О., 106, 109, 110, 125, 249
Королев А.Б., 41
Коротаев В.Н., 216, 238, 245
Косарев Г.В., 352
Космачев П.В., 313
Костенко В.В., 322
Костылева А.В., 182
Краморенко А.В., 316
Кременецкий В.В., 125
Кропотов А.Н., 375
Крючков Р.С., 319, 372
Кубряков А.А., 125
Куклев С.Б., 125, 195
Куклева О.Н., 125
Куценко А.С., 372

Л

Левченко Д.Г., 201
Либина Н.В., 249, 253, 272
Лискин В.А., 264
Лобковский Л.И., 201
Лужецкий В.Г., 212

М

Макашов А.А., 375
Макушин А.В., 220
Малов М.А., 313
Матвиенко Ю.В., 296
Медвецкая У.В., 372
Мелузов А.А., 292
Меньшикова Н.М., 182
Мещерякова Р.И., 348
Молчанов А.В., 372
Москаленко Л.В., 125
Мошаров В.Е., 176
Мутовкин А.Д., 292
Мысленков С.А., 195

Н

Надточий В.А., 305, 309
Наумов Л.А., 296
Низов С.С., 186
Никитин Г.А., 253
Носов А.В., 158, 162

О

Оленин А.Л., 47
Орехова Н.А., 60
Островский А.Г., 125, 129

П

Пака В.Т., 106, 109, 110, 125
Пальшин Н.А., 281
Панин Г.Н., 141
Пахомова С.В., 182
Пеньков М.Н., 170
Переслегин С.В., 198
Петрига А.А., 186
Пиотух В.Б., 125
Плясунов В.М., 372, 375
Подуфалов А.П., 106, 109, 110
Подымов О.И., 125
Прокопов О.И., 166, 190
Пронин А.А., 65, 216, 245, 264, 269

Р

Радченко А.А., 344
Радченко В.Н., 176
Римская-Корсакова М.Н., 180
Римский-Корсаков Н.А., 17, 201,
216, 238, 245
Рожков А.Н., 285
Розанов А.Г., 288
Розман Б.Я., 356, 363
Росляков А.Г., 292

С

Сагалевиц А.М., 22
Сарвира Д.В., 313, 372
Северов С.П., 333, 338, 344
Серых В.Я., 84
Скакун А.Н., 316
Скняря А.В., 326
Смирнов Г.В., 47
Смолянинов И.В., 260
Соловьев В.А., 125
Соловьев Д.М., 125
Станичный С.В., 125
Степанова Н.Б., 156
Стрельцов А.Я., 297

Стунжас П.А., 176
Суконкин С.Я., 129

Т

Тарасов С.П., 277
Телегин В.А., 195
Тихонова Н.Ф., 158, 162
Тошов С.А., 326

Ф

Федотов Г.А., 112

Х

Халиков И.С., 65

Ч

Черников Г.А., 272
Чернышов П.В., 195
Черняев Е.С., 285
Чубаренко И.П., 89

Ш

Швоев Д.А., 129
Шерстов Е.А., 363

Щ

Щевьев В.А., 223, 226

Э

Экба Я.А., 129
Элбакидзе А.В., 260

Ю

Юрицын В.В., 162

Я

Якубов Ш.Х., 133, 137
Якушев Е.В., 182

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ»
(МСОИ-2013)

Том I

Подписано в печать 02.04.2013.
Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 22,32.
Тираж 200 экз. Заказ № 27/1

ООО «АПР». 127083, Москва, ул. 8 марта, д. 10, стр. 3. Тел. (495) 799-48-85