

**XI МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**



**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
ЧАСТЬ I**



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ИНСТИТУТ
ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П.П.ШИРШОВА РАН

МГТУ им. Н.Э. Баумана

**XI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ЧАСТЬ I

МОСКВА 2009

УДК 551.46.07
ББК 26.221, М 34

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

1. Лаверов Н.П. академик, вице-президент РАН,
председатель;
2. Нигматулин Р.И академик, директор ИО РАН,
сопредседатель
3. Смирнов Г.В. академик, зав. лабораторией ИОРАН,
сопредседатель;
4. Еремеев В.Н. академик НАНУ, директор Центра морских
исследований (Украина),
сопредседатель;
5. Римский-
Корсаков Н.А. к.т.н., зам. директора ИО РАН,
сопредседатель;
6. Нерсесов Б.А. д.т.н., гл. н. с. ИО РАН,
ученый секретарь;
7. Лобковский Л.И. чл.-корр.РАН, зам. директора ИО РАН;
8. Флинт М.В. д.б.н., зам. директора ИО РАН;
9. Алексеев А.В. чл.-корр., гл.н.с. ИО РАН;
10. Жмур В.В д.ф.-м.н., нач. управления РФФИ;
11. Марш Ричард директор фирмы «Tritech», (Великобритания);

12. Хони Джон директор фирмы «Shark Marin»(Канада);
13. Коллинз Марк директор фирмы «SMD Hydrovision»,
(Шотландия);
- 14.Тенберг Андерс профессор Гетеборгского университета,
(Швеция);
- 15.КоноваловЮ.М. ген. конструктор ГУП СПБМ «Малахит»;
16. Пронкин А.П. ген. директор «Южморгеология»;
17. Фалеев М.И. нач. департамента МЧС РФ;
18. Суконкин С.Я. к.т.н., директор ОКБ ОТ РАН;
19. Смирнов А.В. к.т.н., уч. секр. НИИ СМ МГТУ

Конференция проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований

СОДЕРЖАНИЕ

Памяти нашего коллеги – Парамонов Александр Александрович

7

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

8

Левченко Д.Г., Лобковский Л.И., Башилов И.П., Леденев В.В., Ильин И.А., Зубко Ю.Н., Суконкин С.Я. Результаты и перспективы разработки автономных донных сейсмографов и обсерваторий для длительного мониторинга акваторий.....

Смирнов Г.В., Оленин А.Л., Шаповалов И.С. Многоканальный гидролого-оптико-химический комплекс для проведения океанологических и экологических исследований на подвижных измерительных платформах.....

34

Хони Дж., Водяная Е., Вортман М. «Shark Marine» - современное оборудование для морских исследований и проведения подводных работ.....

63

Вельтицев В.В. Отечественные серийные образцы систем для обитаемых подводных средств.....

73

Голдовский Б.И. Результаты модернизации спасательного глубоководного аппарата «Приз».....

78

Андерс Тенгберг, Никитин П.А. Современная измерительная аппаратура AAD1 для изучения морской среды.....

84

Розман Б.Я., Елкин А.В., Мысливец И.В., Шерстов Е.А. Разработка новой линии мощных ТПА ГНОМ.....

88

Карабашев Г.С., Карабашева Э.И. О создании интегрированной системы мониторинга морей и океанического шельфа России на основе новейших технологий пассивного дистанционного зондирования.....

95

Гуляр С.А. Медико-физиологические гипербарические исследования в рамках программы «Черномор»: результаты и перспективы.....

105

Островский А.Г., Зацепин А.Г., Иванов В.Н., Низов С.С., Соловьев В.А., Тимашкевич Г.К., Швоев Д.А., Цибульский А.Л. Комплекс мониторинга морских акваторий «АКВАЛОГ».....

110

Смирнов Г.В., Беленький В.Н., Фендриков А.Н. Техническое оснащение (глубоководных) обитаемых подводных аппаратов.....

114

Носов А.В., Леденев В.А., Парамонов А.А., Русак Ю.С., Сычев В.А., Римский-Корсаков Н.А. ГАНС с ультракороткой базой для буксируемых, автономных и телеуправляемых подводных аппаратов.....

131

Суконкин С.Я. Мобильный комплекс многоцелевого необитаемого подводного аппарата рабочего класса ROSUB-6000 и исследования газогидратов.....

136

Ананьев Р.А., Дмитриевский Н.Н., Левченко О.В., Мерклин Л.Р., Мутовкин А.Д. Эффективность инженерно изыскательских сейсмоакустических технологий в Каспийском море.....

143

ГИДРОФИЗИКА, ПОДВОДНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ, МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ОКЕАНА

145

Нерсесов Б.А. Основные тенденции развития подводных средств поисковой магнитометрии.....

146

Нерсесов Б.А. Технические предложения по созданию комплексной системы антитеррористической защиты акваторий...

152

Машошин А.И., Соловьева О.Б. Алгоритм формирования полного профиля вертикального распределения скорости звука на основе измерения его фрагмента.....

155

Зайченко К.В., Лободин И.Е., Машошин А.И. Структура базы гидрологических данных, обеспечивающей функционирование современных алгоритмов классификации целей и определения их координат по информации гидроакустических средств.....

156

Левченко Д.Г., Левченко В.Д., Закиров А.В. Численное моделирование распространения низкочастотных сейсмоакустических полей в океанической среде.....

159

Шаповалов И.С. Анализ возможностей акустооптической спектрометрии для идентификации частиц взвеси в морской воде.....

167

Шаповалов И.С., Оленин А.Л. Методы анализа параметров воды **182**

Селифонова Ж.П., Якушев Е.В., Часовников В.К., Пименов Н.В., Подымов О. И., Ясакова О.Н. Комплексные океанологические исследования вертикальной структуры северо-восточной части Черного моря в 82/83 рейсе научно-исследовательского судна «Акванавт».....

191

Дерновский В.Л., Дорохов П.В., Королёв В.С., Федотов Г.А. Классификация теневых изображений плотностных неоднородностей морской среды.....

194

Дерновский В.Л., Дорохов П.В., Королёв В.С., Федотов Г.А.

Метод селекции областей морской среды с повышенным уровнем пульсаций показателя преломления.....

196

Гранков А.Г., Мильшин А.А. Собственное СВЧ-излучение системы океан-атмосфера как естественная характеристика ее тепло-и влагообмена.....

198

Рыжиков Н.И., Чубаренко И.П., Козлова О.И., Чубаренко Н.Б. К механизму формирования дифференциального прибрежного прогрева: натурный эксперимент в прибрежной зоне моря.....

203

Маркович И.И., Ковалёв Э.П., Семеняк П.Л., Коваленко Е.И. Гидроакустические средства исследования океана.....

207

Березуцкий А.В., Скляров В.Е. Акустические характеристики на подспутниковых полигонах в океане.....

211

Скляров В.Е. Прибрежный апвеллинг во внутренних морях.....

213

Амбросимов А.К., Либина Н.В., Корж А.О. Гидрологический режим западной части центрального Каспия в летний период 2008 года.....

216

Амбросимов А.К., Стонт Ж.И., Якубов Ш.Х. Сезонные колебания уровня Балтийского моря в 2008-2009 гг.....	219
Амбросимов А.К., Либина Н.В., Корж А.О. Характеристики течений по данным пространственных разрезов в западной части среднего Каспия летом 2008 года.....	223
Щевьев В.А. О возможном механизме образования длиннопериодных волновых течений воздействием приливообразующих сил.....	227
Коротаев Г.К., Мартынов М.В., Ратнер Ю.Б. Черноморский центр морских прогнозов как элемент Европейской морской службы.....	230
Гущин О.А., Стонт Ж.И. Некоторые результаты метеомониторинга Юго-восточной Балтики.....	232
Чубаренко Н.Б., Шука С.А., Чубаренко И.П. К вопросу о формировании ХПС Балтики: сравнительный анализ термохалинной структуры вод в прибрежной зоне в марте и внутри ХПС в июле 2006 г. по результатам 75 и 78 рейсов нис «Проф.Штокман».....	236

Бондаренко А.Л., Борисов В.Е. Что собой представляют океанские и морские течения, движения воды? Что измеряется прибором?.....

240

Архипкин В.С., Бондаренко А.Л., Борисов Е.В., Филиппов Ю.Г. О формировании противотечений в океанах и морях.....

245

Бондаренко А.Л., Борисов В.Е., Суркова Г.В. Взаимодействие океана и атмосферы. Роль волн Россби Мирового океана в формировании термодинамики его вод и атмосферы.....

253

Завьялов И.Н. Перенос илистых осадков взвесенесущими потоками на наклонном дне.....

259

Щевьев В. А. С.С. Лаппо - основатель нового направления океанографии «Волновая природа течений в океанах и морях».....

263

Буланов В.А., Корсков И.В., Попов П.Н. Стороженко А.В. Исследования структуры мелкомасштабных неоднородностей в шельфовой зоне Японского моря методами рассеяния звука

267

Чубаренко И.П., Евсюкова Е.Е., Демченко Н.Ю. Дифференциальный прибрежный прогрев:исследование механизма возникновения и влияния на летний прибрежный

апвеллинг.....	271
Буланов В.А., Корсков И.В., Попов П.Н. Стороженко А.В. Особенности рассеяния звука на морских водорослях	275
Сихарулидзе Д.К. Чубаренко Б.В. Гидрологические особенности лагун эстуарного типа при наличии судоходных каналов.....	279
Синева А.А., Чубаренко Б.В. Ветровое волнение и транспорт материала в эстуарных лагунах.....	282

ПАМЯТИ НАШЕГО КОЛЛЕГИ



16 декабря 2008 года ушел из жизни наш друг,
директор ФГУП ОКБ ОТ РАН,
Парамонов Александр Александрович

Более тридцати лет он отдал работе в нашем коллективе, с которым была связана вся его деятельность как инженера, ученого, руководителя. Нет разработок в ОКБ, в которых он не принял бы деятельного и ведущего участия. Ему удалось сохранить ОКБ, коллектив, коллег в тяжелые девяностые годы, отстоять и поднять авторитет сотрудников ОКБ и в целом организации в РАН, Министерстве науки, в мировом сообществе исследователей океана.

Много из задуманного сделано, многое начато.

Его уход был внезапным и ошеломляющим для всех, знавших его.

Мы скорбим вместе с семьей об ушедшем от нас товарище, друге, коллеге и память о нем навсегда останется в наших сердцах, истории ФГУП ОКБ ОТ РАН.

Друзья и коллеги.

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ АВТОНОМНЫХ ДОННЫХ СЕЙСМОГРАФОВ И ОБСЕРВАТОРИЙ ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОГО МОНИТОРИНГА АКВАТОРИЙ

Левченко Д.Г. ¹, Лобковский Л.И. ¹, Башилов И.П. ²,
Леденев В.В. ³, Ильин И.А. ³, Зубко Ю.Н. ³, Суконкин С.Я. ³

Москва, Россия: 1Институт океанологии им. П.П. Ширшова
РАН, 117997, Нахимовский пр., д.36, levch35@mail.ru;
2Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, 123995,
ул. Б. Грузинская, д.10, 3ОКБ океанологической техники РАН,
109387, Летняя ул. д. 1, стр.2

Рассматриваются новые тенденции перехода от преимущественно судовых экспедиционных исследований и спутниковых наблюдений Мирового океана к созданию непрерывно действующих систем мониторинга с помощью донных и притопленных обсерваторий и донных сейсмографов. Такие исследования необходимы для получения длительных синхронных рядов наблюдений многих параметров непосредственно в толще воды и на дне. Приводится краткий обзор мирового опыта создания и использования подобных устройств. Рассматриваются особенности создания систем длительного сейсмологического и экологического мониторинга в районах промышленного освоения шельфа и континентального склона и в районах высокой сейсмической и цунами опасности океанов и морей. Описываются результаты разработки донных сейсмографов и обсерваторий в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН и ОКБ океанологической техники РАН. Приводятся результаты использования широкополосных донных сейсмографов в экспедициях ИО РАН и опыт работы донной обсерватории на Камчатке. Предлагается для создания морской исследовательской сети использовать автономные широкополосные донные сейсмографы и многоцелевые обсерватории с длительным сроком работы на дне и с оперативной связью через спутниковые или радио каналы.

Введение

При изучении Мирового океана в настоящее время наблюдается тенденция постепенного перехода от преимущественно экспедиционных методов исследований с помощью научно-исследовательских судов и спутниковых наблюдений к созданию непрерывно действующих систем мониторинга с помощью донных и притопленных автономных станций, плавающих и заякоренных буев. Становится все более очевидным, что для выяснения состояния океанической среды во всем ее единстве и многообразии необходимо получение длительных синхронных рядов наблюдений многих параметров непосредственно в толще воды и на дне. Только таким образом можно выявить корреляционные связи между различными факторами, разделить климатические, сезонные и спонтанные их вариации. Получение таких массивов информации ранее требовало концентрации значительных усилий больших коллективов ученых разных стран в течение ряда лет (традиционные геофизические годы). В настоящее время появились технические условия для автоматизации получения подобной комплексной информации с помощью автономных геофизических станций.

Очевидно, что океан, как и атмосфера, определяет и поддерживает существующую форму жизни на Земле. Ученые океанологи все в большей степени убеждаются, что океан представляет собой сложную взаимосвязанную систему. Физиологические процессы многих морских организмов являются открытыми, а все морское сообщество объединяется биохимическими связями через воду. Нарушение этих связей может привести к катастрофе. В то же время океан подвергается интенсивному антропогенному воздействию. Осадки, насыщенные отходами жизнедеятельности человека, смываются с континентов в объеме свыше 1 млрд тонн в год. Вследствие непрерывного встряхивания дна подводными землетрясениями и наличия придонных течений осадки продвигаются вглубь акваторий. В связи с этим необходимость эффективного мониторинга морской и океанической среды не вызывает сомнений.

С другой стороны, развитие современной измерительной техники и морских технологий приводит к выводу, что создание узкоспециализированных морских измерительных приборов неэффективно. Это связано с тем, что основную стоимость таких приборов составляют не датчики и электроника, а так называемые носители, т.е. системы обеспечения постановки и функционирования

аппаратуры в водной среде, а также судовое время, необходимое для доставки аппаратуры в нужный район Мирового океана. Это обстоятельство диктует необходимость разработки комплексных океанических приборов для одновременного измерения многих параметров. Такие приборы получили название морских обсерваторий [3, 10, 16, 17, 18].

Другой чрезвычайно важной современной проблемой является создание морской сейсмологической сети. Сейсмология традиционно развивалась как наука о землетрясениях на суше. В настоящее время создана развитая сейсмологическая сеть, охватывающая практически все континенты. В ее состав входят современные широкополосные сейсмографы, с помощью которых регистрируются различные сейсмические события и решается большой круг исследовательских и прикладных сейсмологических задач. В то же время свыше 80% всех землетрясений происходит под дном океанов и морей. Однако стационарных морских сейсмографов, приближающихся по параметрам к наземным, до настоящего времени не имеется. Наземные сейсмографы регистрируют сигналы удаленных морских землетрясений с существенными искажениями, а сигналы слабых землетрясений не регистрируются вовсе. По этой причине не удается адекватно оценивать геотектонические процессы, происходящие в недрах Земли в их единстве и многообразии. Недостаточно исследованы также глубинное строение океанической коры и верхней мантии и механизмы возбуждения цунами и других сейсмических явлений. Из-за отсутствия морской сейсмологической сети существует недооценка сейсмической активности регионов на акваториях и, как следствие, потенциальная опасность для береговых сооружений и населенных пунктов. В последнее время значительно расширилось само понятие землетрясения. Теперь в него входят и относительно медленные события, так называемые «тихие землетрясения», во время которых могут происходить значительные деформации земной коры. «Тихое землетрясение» представляет собой медленное тектоническое движение длительностью в несколько минут (а не секунд), при этом не происходит заметных сейсмических явлений. Такое землетрясение может вывести из строя скважины, трубопроводы и другие коммуникации.

В связи с активным освоением месторождений углеводородов на шельфе и континентальном склоне, прокладкой подводных трубопроводов и кабелей связи донные землетрясения и

провоцируемые ими явления становятся чрезвычайно опасными как для самих морских сооружений, так и для экологии региона в целом. Поэтому сейсмологическое обеспечение морских нефте- и газодобывающих комплексов и других крупных береговых и подводных сооружений представляется совершенно необходимым.

Актуальной проблемой современной сейсмологии является краткосрочное прогнозирование морских землетрясений и цунами. Огромный экономический ущерб, гибель людей заставляют совершенствовать и искать новые методы и технические средства, позволяющие повысить эффективность краткосрочных прогнозов. Одним из перспективных методов прогноза является регистрация состава придонных вод в районе ожидаемого сильного морского землетрясения.

Донные геофизические обсерватории позволяют непрерывно измерять и регистрировать «in situ» ряд параметров, характеризующих состояние придонного слоя воды и донных осадков, скорость и направление течений, уровень водной поверхности, наблюдать обстановку в прилегающих окрестностях, а также регистрировать сигналы от удаленных источников: сейсмических, акустических, электромагнитных и др. Донные обсерватории могут использоваться как для изучения естественной изменчивости океанической среды, так и для оценки антропогенного воздействия в районах интенсивного промышленного освоения морских акваторий.

На первом Международном симпозиуме, посвященном разработке многофункциональных донных обсерваторий (1995 г., Марсель, Франция, 70 участников от 8 стран), были сформулированы основные цели создания таких устройств и определены возможные приоритеты. Рекомендовалось при разработке обсерваторий использовать опыт ряда национальных и международных программ: GEOSCOPE (Франция), HUGO (США), GEOSTAR (Италия), GeoTOS (Япония), ODP (США), NESTOR (Международная европейская программа) и др. Предлагались следующие основные направления исследований: донная сейсмология, геомагнетизм, геодезия, физическая океанография. Намечалось, что в ближайшие 5 лет должны появиться не менее чем 10 донных обсерваторий в различных районах мирового океана. В будущем должна быть создана единая международная океаническая исследовательская сеть таких станций (International Ocean Network). Предполагалось сделать доступными получаемые данные для всей научной общественности, желательно – в

реальном времени (Montagner et al., 1994, Dzievonski et al., 1995, Beranzoli et al., 1997).

Следует отметить, что за прошедшие 14 лет со времени проведения первого Международного симпозиума были полностью разработаны и испытаны на дне только пять многофункциональных обсерваторий: две в Японии (проекты Sagamu, 1993 г., VENUS, 1999 г), одна в Италии (проект GEOSTAR, 2002 г.) и две в России (ИО РАН, 1997 г. и ОКБ ОТ РАН, 2008 г.). В ряде стран в последние годы разрабатываются проекты таких обсерваторий или их отдельных элементов (Dzievonski, 2001, Delaney, 2001, Schultz et al., 2001, Iwase, 2001, Гаврилов и др., 2000). В последнюю четверть XX века предпринимался ряд попыток создания стационарной океанической сети донных сейсмографов (проекты «GEOSCOPE», «GEOSTAR», «POSEIDON» и др.). Тем не менее, практическое развертывание стационарной морской сейсмологической сети наталкивается на ряд серьезных принципиальных и технических трудностей.

Поскольку донные станции должны работать в автоматическом режиме, 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. Существенные сложности связаны с передачей сейсмологической информации на берег и обеспечением длительного питания аппаратуры. Кардинальным решением является использование подводных кабелей для питания станций, управления и передачи информации на берег. Однако стоимость морских кабелей чрезвычайно высока. Перспективным направлением представлялось использование уже проложенных связанных донных кабелей, которые в настоящее время не используются по прямому назначению (Проекты «POSEIDON», «GEO-TOK», Япония и др.). Однако и такие проекты требуют значительных капиталовложений. Например, проект «VENUS» (Япония, 1992 – 1999 гг.) с установкой трех донных сейсмографов на проложенный связной кабель Окинава – Гуам оценивается в 12 млн. долларов (Kasahara, Toshinory, 1997). Кроме того, подъем и повторная укладка старых кабелей существенно снижает их надежность (проект «VENUS»).

В настоящее время наблюдается тенденция разработки межнациональных проектов создания стационарных систем из нескольких подводных станций, подключаемых к единой электро-

оптоволоконной линии связи большой протяженности. В качестве примера назовем некоторые современные проекты.

1. Европейская сеть морских обсерваторий (ESONET) предназначена для длительного мониторинга параметров в области геофизики, химии, биологии и рыбоводства. Сеть должна окружать Европейский континент вдоль побережья от Арктического бассейна до Черного моря. Общая длина сети должна составлять свыше 5000 км и состоять из 11 региональных частей. Донные обсерватории должны подключаться с помощью подводных герметичных разъемов. Стоимость подводной сети ориентировочно оценивается в 130-220 млн евро.

2. Совместная США и Канады тихоокеанская сеть донных обсерваторий у западного побережья Северной Америки около о. Ванкувер (NEPTUN). Сеть протяженностью 800 км должна содержать 5 донных обсерваторий.

3. Японская кабельная сеть донных обсерваторий (ARENA), должна располагаться тремя линиями вдоль Японских островов со стороны Тихого океана.

Необходимо отметить, что эти проекты охватывают только относительно близкие к берегу акватории (до 500 км), рассчитаны на длительный срок реализации и требуют больших затрат на эксплуатацию, ремонт и модернизацию донных обсерваторий.

В связи с отсутствием в настоящее время кабельных морских геофизических сетей для решения различных задач используются в основном автономные донные станции, большинство которых составляют донные сейсмографы (АДСС). Не решая всех сейсмологических задач, АДСС, тем не менее, имеют ряд преимуществ по сравнению со стационарной сетью. Их высокая мобильность позволяет быстро развертывать 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 ее параметры могут меняться перед каждой постановкой. Наконец, стоимость АДСС примерно на порядок ниже стоимости кабельной стационарной станции. Автономные донные сейсмостанции имеются в ряде развитых стран (США, Россия, Япония, Германия, Франция), однако по основным параметрам они, как правило, значительно уступают лучшим наземным образцам (Воронина и др., 1995, Зубко и др., 2003,

Рыков, 1995, Левченко, 2001, Jacobson et al., 1991, Shiobara et al., 2001, Wielandt, Stein, 1986). Особое значение автономные донные станции приобретают при необходимости проведения предварительных наблюдений с целью выбора наиболее эффективных мест размещения стационарной сети океанического мониторинга.

Анализ методов построения автономных обсерваторий и донных сейсмографов

Необходимо отметить, что, в зависимости от основного назначения, требования к обсерватории и сейсмографу могут существенно меняться. Станции, предназначенные для сбора данных, используемых в фундаментальных научных исследованиях, должны измерять большое число параметров с заданной периодичностью, выполнять элементы автоматического анализа и обработки данных. Программы их функционирования могут автоматически меняться в зависимости от результатов измерений. Время работы на дне таких станций должно быть значительным (несколько месяцев). В то же время для них не требуется оперативная связь с берегом.

Обсерватории, предназначенные для экологического мониторинга, например, в районах развития нефтегазовых комплексов, или для регистрации предвестников землетрясений, должны обеспечивать оперативную передачу данных в пункты сбора и обработки информации. Такие пункты могут располагаться на берегу, на судах или на специальных морских платформах. Кроме того, для таких обсерваторий зачастую требуется изменение программ функционирования по команде с пункта управления (ускорение отсчетов, изменение диапазона измерений и др.).

Стационарные донные обсерватории и сейсмографы с кабельной связью с берегом могут иметь разнесенные по поверхности дна отдельные элементы, иногда на расстояниях до 1000 метров (проект VENUS). Автономные донные станции с собственными источниками питания и регистрацией результатов обычно имеют компактную конструкцию, удобную для быстрого подъема и постановки. Вместе с тем, отдельные элементы таких станций (блок сейсмоприемников, магнитометр и др.) по условиям функционирования должны быть отнесены от основного модуля на некоторое расстояние (до десятков метров).

Обсерватории предназначенные для измерения параметров в водной толще могут иметь измерительные модули разнесенные в пространстве на расстоянии до сотен метров или километров. Иногда

такие модули делают перемещающимися по вертикали с помощью специальных механизмов.

Несмотря на определенные различия в конструировании морских обсерваторий и сейсмографов, связанных с их основным назначением, можно выявить ряд общих принципов построения и технических требований к ним.

Морская обсерватория представляет собой сложный и дорогой комплекс, предназначенный для длительного использования. Поэтому должна обеспечиваться высокая надежность всех ее элементов. Для повышения надежности и удобства эксплуатации необходимо в основу построения положить модульность конструкции, взаимную независимость программ управления, возможность наращивания системы путем добавления новых измерительных устройств или программ. Технически система должна состоять из отдельных легко заменяемых модулей, имеющих стандартное питание и небольшую мощность потребления.

Принципы комплексности измерения и модульности построения предполагают возможность независимой работы каждого датчика (группы датчиков). Для ускорения разработки станции и ее удешевления целесообразно применять для измерения каждого параметра (группы параметров) стандартные законченные модули. Питание и управление датчиками, а также сбор информации осуществляются с помощью центрального модуля, связанного кабелем (или другой системой связи) с центральным пунктом управления и обработки на корабле, исследовательской платформе или на берегу.

Измерение разнородных параметров с разной скоростью изменения требует применения модулей с цифровым выходом и цифровым управлением. Каждый модуль должен содержать небольшую буферную память и буферный источник питания для повышения надежности и непрерывности регистрации. Общий командный процессор должен обеспечивать необходимые режимы работы отдельных блоков, привязку результатов к единому времени, сбор и передачу информации по линиям связи в цифровой форме. В центральном модуле должен находиться управляющий и обрабатывающий микрокомпьютер с достаточным быстродействием. Для передачи информации по кабелям на расстояние в сотни метров или километры необходимы соответствующие модемы. При расстоянии в десятки километров необходимо устанавливать промежуточные усилители. Для увеличения срока службы в морской

воде следует применять бесконтактные индуктивные датчики скорости и направления течений и электропроводности, а также изолированные датчики температуры. При этом срок службы их практически неограничен. При работе обсерватории на небольшой глубине (до 100 м) следует принимать меры биологической защиты от обрастания датчиков различными организмами.

Методы и средства измерения параметров океанической среды для подводной обсерватории

Основными задачами при разработке подводных автономных обсерваторий являются: выбор методов и средств измерения требуемых параметров, выбор способов сбора и хранения данных, привязка результатов измерений к абсолютному времени, обеспечение заданной надежности связи для передачи данных и команд управления, обеспечение заданной длительности автономной работы на дне.

В настоящее время имеется значительное количество методов и средств для измерения геофизических и гидрохимических параметров в водной среде. Однако далеко не все из них могут быть использованы в подводных обсерваториях. Основные трудности состоят в высоком давлении, что требует существенной механической прочности датчиков при сохранении других их качеств, в определенной агрессивности морской воды при ее длительном воздействии на чувствительные элементы, в соприкосновении с биологически активной средой, что вызывает покрытие датчиков различными пленками, обрастание ракушечным материалом и др. Существенное влияние на работу станции могут оказывать подводные течения, которые раскачивают корпус, вызывают завихрения вокруг выступающих частей, искажая показания приборов.

Применяемые для подводных измерений методы и средства можно разделить в первом приближении на контактные и бесконтактные, точечные и интегральные, местные и дистанционные. Такое деление в значительной степени условно, но оно позволяет точнее определить возможности отдельных методов и средств. Не давая определений этим классам, понятным в общем из названий, приведем некоторые примеры. Измерение электрической проводимости воды может выполняться контактным методом с помощью электродов и индукционным методом по реакции водной среды на переменное электромагнитное поле. Температура может измеряться в «точке» термопарой или в среднем по скорости

распространения звука между разнесенными акустическими антеннами. Скорость течений с помощью различных вертушек измеряется локально, а с помощью акустических сигналов - дистанционно.

Измерители скорости и направления течений в акваториях в настоящее время выполняются только с цифровым выходом. Обычно такие приборы применяются в комбинации с измерителями других параметров морской воды (температуры, солености, давления и др.). Комплект измерителей может набираться по специальному заказу или быть определен заранее, например, стандартный СТД – зонд: измеритель солености (электропроводности), температуры, давления. Некоторые фирмы выпускают отдельно датчики скорости и направления течений, которые могут встраиваться в комплексные измерительные устройства - донные обсерватории. Измерители течений могут использоваться как автономные приборы с собственным источником питания, стабильными часами и накопителем информации или работать в режиме реального времени с передачей данных по кабелю или спутниковому каналу связи. В любом случае эти приборы имеют внутренний программируемый процессор и цифровой выход для подключения к внешнему компьютеру. Внутренний процессор управляет режимами работы измерителей, производит первичную обработку данных, осуществляет привязку измерений к абсолютному времени, вводит необходимые поправки и др. В состав измерителей направления течений входит электронный компас для определения азимута прибора. В некоторых измерителях течений имеются наклономеры, поскольку их показания зависят от угла наклона прибора.

Другими, обычно измеряемыми, параметрами водной среды являются: скорость звука в воде, электропроводность, температура, концентрация водородных ионов рН, давление, прозрачность воды. Для экологического мониторинга большое значение имеют параметры, связанные с жизнью морских организмов: концентрация кислорода, углекислого газа, кальция, фосфора и других элементов, освещенность, плотность биомассы, различные антропогенные факторы.

Для измерения оптических характеристик воды используются различные приборы: калориметры, измерители прозрачности, спектрофотометры и др. Эти приборы основаны на разных физических принципах работы (избирательном поглощении, люминесценции, применении специальных реагентов), но их общей чертой является

наличие источника излучения, емкости для образца исследуемой жидкости и оптического анализатора. В некоторых приборах определяются интегральные характеристики, в других измеряются спектральные составляющие. Источники излучения применяются как широкополосные (лампы накаливания), так и когерентные (лазеры). В качестве анализаторов используются фотоумножители, фотодиоды, дифракционные решетки с фотодиодной матрицей, акустооптические анализаторы и др.

Важным элементом донных обсерваторий являются сейсмометрические каналы. Следует отметить, что регистрация сейсмических сигналов на дне акваторий существенно отличается от наземной. Основные отличия состоят во влиянии водного слоя и обводненного слоя осадков на распространение сейсмических сигналов, способах взаимодействия корпуса прибора с мягким дном, возбуждении сильных поех придонными течениями. Поэтому необходимо применять специальные методы и конструкции для учета этих особенностей и уменьшения поех.

Донные сейсмографы по своим метрологическим параметрам должны приближаться к наземным. Это необходимо для создания единой сейсмологической сети. Сейсмографы должны регистрировать три компоненты сейсмического поля в достаточно широком частотном диапазоне (примерно 0.01 — 20 Гц). При этом объем получаемой сейсмологической информации обычно превышает объем информации от всех остальных датчиков обсерватории, что создает определенные сложности при регистрации и передаче данных по каналам связи. В связи с этим донные сейсмографы часто выполняют как самостоятельные устройства с собственными носителями и каналами связи.

Системы оперативной связи с автономной донной станцией

Существенной проблемой автономных донных станций является обеспечение оперативной передачи информации на берег или обеспечивающее судно. Такая передача необходима если, например, сейсмограф предназначен для регистрации возможных предвестников сильных землетрясений и предупреждения об опасности цунами. Обычная гидроакустическая связь действует на небольшие расстояния, требует больших затрат энергии, подвержена помехам реверберации и др. Следует отметить, что в последнее время разработаны системы связи с использованием сложного кодирования и сложной цифровой

обработки, в которых значительно уменьшено влияние помех и снижены мощности сигналов [Catipovic, 1997]. Разработаны также методы, основанные на использовании всплывающих модулей, которые передают затем экспресс – сигнал через спутниковый или радиоканал. Однако в донных сейсмографах и обсерваториях эти методы пока не применялись.

В настоящее время в автономных системах предупреждения о цунами применяются поверхностные ретрансляционные радиобуи, связанные гидроакустическим каналом с донной станцией (система DART, США и др.). Однако такая система имеет ряд недостатков. Используемые буи средних размеров (высота надводной части 2,5 м, подводной – 1,8 м) подвержены интенсивному воздействию морских волн, что снижает их срок службы и надежность каналов связи. Потери таких буйев происходят в основном из-за обрыва буйрепа вследствие усталостных нагрузок [Левин, Носов, 2005].

В то же время в практике морских работ известно применение долговременных буйев других конструкций. В 70 – 80-х годах прошлого века в США и СССР были разработаны и использовались для научных экспериментов так называемые стабилизированные буи. Такой буй 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 буй 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 буй не вращается вокруг оси, что позволяет соединять его кабелями с донными станциями. Один из таких буйев был установлен в Южном отделении ИО РАН и находился в эксплуатации в течение 10 лет (1974 – 1984 гг.) [Лобковский и др., 2005].

Известны конструкции долговременных буйев с использованием промежуточной притопленной плавучести (веха Фруда). Такая заякоренная плавучесть находится на глубине 50 – 100 м, куда не достигают поверхностные волны. Поэтому динамические нагрузки на буйреп практически отсутствуют. К плавучести прикрепляется с помощью гибкой упругой связи стационарный или подвсплывающий поверхностный буй. Вследствие относительно малых размеров буя в этом случае он не оказывает существенных нагрузок на элемент связи, что обеспечивает большую долговечность конструкции (около 10 лет).

В ИО РАН по Договору с МЧС РФ в 1995 – 1997 годах была разработана донная обсерватория для регистрации ряда параметров придонных вод и изучения возможных предвестников сильных морских землетрясений. Обсерватория состояла из донного измерительного комплекса, соединенного кабелем с притопленным буюм, в котором находились источники питания, и поверхностного ретрансляционного радиобуя. При разработке обсерватории необходимо было обеспечить активное управление ее работой. В результате была обеспечена возможность работы либо в автоматическом режиме с периодической передачей данных в пункт приема, либо по запросу, либо изменять периодичность и характер измерений по командам с берега. Обсерватория прошла успешные испытания в Авачинском заливе Камчатки [Гаврилов и др., 2000; Лобковский и др., 2005].

Примеры разработки донных обсерваторий и сейсмографов

Одной из первых можно назвать кабельную донную обсерваторию, разработанную в Японии и установленную в 1993 г. на глубине 1175 м в заливе Сагами в 10 км к востоку от побережья о. Хонсю. Эта обсерватория проработала с перерывами около 6 лет и послужила прототипом для последующих японских разработок. Обсерватория содержала трехкомпонентный сейсмограф, измерительный гидрофон, измеритель скорости и направления течений, измерители температуры, электропроводности воды и давления, две видеокамеры [13].

Вторая японская обсерватория была установлена в сентябре 1999 г. на расстоянии 50 км к востоку от о-ва Окинава, на глубине 2160 м. Питание аппаратуры и передача информации производились по не используемому в настоящее время коаксиальному кабелю связи Окинава – Гуам. Обсерватория содержала широкополосный сейсмограф, измеритель уровня поверхности океана, распределенную гидроакустическую антенну, измеритель электрического потенциала, магнитометры постоянного и переменного полей, измерители течений, температуры и электропроводности воды. Обсерватория была оснащена видеокамерой непрерывного наблюдения и геодезическими гидроакустическими пунктами с базой около 1 км. Отдельные элементы обсерватории подключались к базовому модулю через подводные разъемы и разносились по дну на расстояние от 80 до 1000 м. Монтаж донной обсерватории производился с помощью управляемого подводного аппарата Kaiko-10K [16]. Однако вскоре

работа этой обсерватории прекратилась в связи с коррозией корпуса.

Европейская обсерватория (проект GEOSTAR), разработанная международным коллективом во главе с Итальянским национальным институтом геофизики и вулканологии (г. Рим), была установлена на дно в октябре 2002 г. в Ионическом море на расстоянии 10 км к востоку от о-ва Сицилия на глубине 2105 м. Станция работала в автономном режиме с питанием от батарей и была поднята в мае 2003 г. Обсерватория содержала трехкомпонентный широкополосный сейсмограф, гидрофон, измеритель скорости и направления течений, гравиметр, измерители температуры и электропроводности воды и давления. Результаты измерений записывались в цифровом виде в память управляющей и запоминающей системы. Вся аппаратура была сосредоточена в одном приборном модуле и устанавливалась на дно на специальной раме-основании с помощью понтоного плавучего крана. В декабре 2003 года станция была повторно поставлена на дно в Тирренском море на глубину 3320 м. На этот раз обсерватория была оснащена поверхностным трансляционным бумом для передачи данных и приема сигналов управления по радио и спутниковым каналам. Связь между бумом и донной обсерваторией осуществляется по гидроакустическому каналу связи [14].

В 1996 -1998 годах в Институте океанологии РАН по договору с МЧС России была разработана донная обсерватория (гидрохимическая донная станция), предназначенная для проведения комплексных гидрофизических и гидрохимических измерений в придонном слое с целью регистрации возможных краткосрочных предвестников сильных землетрясений. В октябре 1997 г. станция успешно прошла натурные испытания в Авачинской бухте Камчатки и была передана в опытную эксплуатацию. Была осуществлена пробная передача оперативных данных через сеть INTERNET непосредственно с Камчатки (Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия) в Москву (ИО РАН). По ряду основных параметров (применение акустооптического спектрометра, автономность работы, способ передачи информации по радиоканалу) станция не имеет аналогов в мировой практике [1, 4].

В 1998 – 2000 гг. была разработана и испытана комплексная донная обсерватория Опытного-конструкторского бюро океанической техники РАН по контракту с Министерством науки и технологий РФ. Обсерватория содержала трехкомпонентный сейсмограф, измерительный гидрофон, измерители температуры и

электропроводности воды, статического давления, скорости и направления течений, магнитометр постоянного поля, модуль контроля радиоактивного загрязнения, спектроанализатор видимого диапазона длин волн. Конструктивно обсерватория была выполнена по модульному принципу. Отдельные модули были смонтированы в общей раме с откидной консолью для выноса блока сейсмоприемников. Обсерватория могла работать как с кабелем, так и в автономном режиме. Летом 2000 года эта обсерватория была установлена на дно Черного моря вблизи г. Геленджика в кабельном режиме функционирования. Морские испытания прошли успешно. Опыт этих работ положен в основу разработанного в настоящее время (2008 г.) для Института физики Земли РАН подводного геофизического комплекса (ПГК) и создаваемой совместно с Индией комплексной обсерваторией с оперативной передачей информации [6].

Обсерватория ИО РАН для изучения краткосрочных предвестников сильных морских землетрясений

В качестве примера рассмотрим донную обсерваторию, разработанную в Институте океанологии РАН по договору с МЧС РФ. В соответствии с долгосрочным прогнозом, в районе Авачинского залива в течение ближайших 10 – 50 лет ожидается сильнейшее землетрясение с магнитудой около 8. При возникновении прогнозируемого землетрясения интенсивность сотрясений в Петропавловске-Камчатском достигнет 9 баллов, а в Усть-Камчатске превысит 9 баллов. (Федотов, 1968, Федотов и др., 1987, Викулин, 1992, Викулин и др., 1997). Это обстоятельство свидетельствует об актуальности и социальной значимости проведения исследований по изучению средне- и краткосрочных предвестников сильных землетрясений для этого региона.

Следует отметить, что в течение ряда лет организацией «Камчатнедра» производились взятия проб воды в Авачинской бухте и их химический анализ. Как было установлено камчатскими геологами, при подготовке сильных землетрясений в прибрежных районах происходит активизация массопереноса между придонным слоем морской воды и более глубинными слоями земной коры. В результате этого процесса химический состав воды, а также другие ее параметры (рН, температура, скорость звука и др.) претерпевают существенные изменения (Хитаров и др., 1974). Разработанная донная обсерватория предназначена для автоматизации указанных выше прогнозных

исследований. Обсерватория позволяет производить измерение и регистрацию ряда параметров водной среды: температуры, давления, скорости течений, количества водородных ионов (рН), электропроводности, скорости звука в воде, спектра прозрачности видимого диапазона длин волн. Обсерватория должна устанавливаться на дне или над дном в местах предполагаемых выходов из разломов земной коры газов или других растворенных в воде веществ, могущих быть предвестниками сильных землетрясений. Обсерватория была испытана в 1997 – 1998 гг. и в настоящее время передана в Институт сейсмологии и вулканологии РАН для опытной эксплуатации.

В связи с основным назначением Камчатской донной обсерватории осуществлялись ее разработка и комплектация. Поскольку Авачинская бухта отличается интенсивным судоходством, содержит множество портовых сооружений и является местом стоянки различных судов, схема с прокладкой донного кабеля к обсерватории была признана ненадежной. Было принято техническое решение с использованием подвсплывающего ретрансляционного буя и передаче данных и команд управления по цифровому радиоканалу. Такое решение потребовало уделить серьезное внимание вопросам помехоустойчивости канала связи и обеспечения длительного автономного питания станции.

Другой проблемой был выбор информативных характеристик придонного слоя, подлежащих измерению. Многолетние исследования сотрудников ГПО «Камчатнедра» не выявили однозначно преимущественных прогностических параметров. Методика их исследований состояла в отборе ежедневных проб воды с последующими лабораторными анализами. Некоторые параметры измерялись «in situ» (температура, рН). В отдельные годы определялось содержание до 30 веществ в пробах воды. Очевидно, что такая методика неприемлема для донной обсерватории, где все анализы должны производиться автоматически с выдачей результатов в виде электрических сигналов. Другим недостатком прежней методики была задержка во времени между взятием проб и их анализом, доходившая до нескольких часов. При этом менялись физико-химические свойства растворов. При взятии проб не учитывалось влияние придонных течений, которые могли искажать картину распределения тех или иных веществ в составе вод. Большим преимуществом донной обсерватории является то, что все измерения производятся «in situ», без задержки во времени и измеряются

течения. В связи с изложенным было решено осуществлять измерение ряда комплексных параметров придонных вод и искать прогнозные признаки по их совокупности.

При разработке станции была поставлена задача активного управления ее работой с берега. Станция должна работать либо в автоматическом режиме с периодической выдачей результатов в пункт приема, либо по запросу с берега, либо изменять периодичность и характер измерений по соответствующим командам. В связи с этим связь со станцией разрабатывалась двухсторонней.

В результате предварительной проработки были выбраны следующие регистрируемые характеристики и соответствующие методы измерений: давление на дне, т.е. уровень воды в месте измерения и ее плотность, локальная температура, скорость течений, показатель водородных ионов рН, электропроводимость воды, т.е. ее «соленость», скорость звука в воде. Эти характеристики являются комплексными, т.е. зависят от ряда параметров, взаимозависимы и в значительной степени дополняют друг друга. Кроме того, в состав донной обсерватории был включен акустооптический спектроанализатор видимого диапазона излучения для оценки оптических характеристик придонного слоя вод. В таблице приведены основные характеристики комплекса датчиков, использованных в донной обсерватории.

Датчики донной обсерватории ИО РАН

Наименование	Диапазон измерения	Погрешность (±)	Питание (ВА)	Габариты (мм)	Вес (кг)
Датчик температуры (ТСП)	-1°C÷25°C	0,03°C	0,1	D=15 L=120	0,15
Датчик электропроводности (индуктивный)	2÷6.5См/м	0,05См/м	3,5	60x60x100	0,8
Датчик давления	8÷10МПа	0,05%	0,1	D=48 L=85	0,3

(тензометр)					
Датчик рН	6÷10ед.	0,1ед.	0,1	D=10 L=100	0,1
Датчик скорости течения (импеллер)	2,5÷150см/с	2,5см/с	0,01	D=150 L=150	0,2
Датчик скорости звука (акустический)	1400÷1500м/с	±0,3м/с	0,1	D=30 L=120	0,3
Спектрометр (акустооптический)	300 – 800 нм	± 0,4 нм	42	300x200 x100	10

Спектроанализатор видимого оптического диапазона выполнен на основе опытного акустооптического спектрометра Кварц-4 разработки Института радиоэлектроники и ЦКБ уникального приборостроения РАН. Работа спектроанализатора основывается на использовании дифракции света на фазовой решетке, образованной звуковой волной, распространяющейся в кристалле кварца. Звук возбуждается с помощью пьезоэлемента от генератора высокой частоты. Интенсивность дифрагированного светового излучения измеряется фотоприемником в заданной узкой полосе длин волн (0,2 – 0,5 нм). При изменении частоты возбуждающего тока происходит перестройка анализируемого участка длин волн в пределах оптического диапазона 300 – 800 нм. В качестве источника света используется галогенная лампа. Управление работой спектрометра и представление результатов в нужном формате производится управляющим микрокомпьютером.

Управление работой донной станции осуществляется микроЭВМ MICRO PC фирмы Octagon Systems (США), отличающейся повышенной надежностью, удароустойчивостью, низким энергопотреблением, малыми габаритами и весом. Микро ЭВМ имеет аналоговые, цифровые и счетные входы, к которым подключаются датчики. В соответствии с программой и командами с берегового поста, ЭВМ определяет частоту опроса датчиков, записывает в память

информацию, производит обработку и сжатие данных по заданным алгоритмам. МикроЭВМ управляет также работой спектроанализатора. Накопленная информация передается через радиомодем в линию цифровой радиосвязи. Для двусторонней связи по радиоканалу используется полудуплексный режим с частотной модуляцией. Несущая частота радиоканала 400 МГц, скорость передачи до 2000 Бод. Кабельная связь между донным комплексом и радиобуем производится также в цифровой форме для исключения возможных ошибок. При необходимости связь между обсерваторией и береговым постом может быть установлена непосредственно по кабелю. На рис.1 приведен внешний вид донной обсерватории ИО РАН, а на рис.2 — схема ее размещения на дне Авачинской бухты.

Следует отметить, что разработанная обсерватория может использоваться и для других целей. Например, для проведения экологического мониторинга в акваториях с интенсивным промышленным развитием. Конструкция обсерватории позволяет изменять состав и параметры датчиков в достаточно широких пределах, а прочный корпус обеспечивает работу на глубинах до 4 км.

Практическое подтверждение пригодности донной обсерватории для регистрации краткосрочных предвестников землетрясений было получено во время опытной эксплуатации в июле - августе 1999 года в Авачинской бухте Камчатки. В этот период (7 августа) в Авачинском заливе на расстоянии около 50 км от г. Петропавловск – Камчатский произошло землетрясение средней силы (магнитуда 4,4). Очаг землетрясения находился на глубине $H = 37$ км. В городе Петропавловске – Камчатском сотрясение составляло 2-3 балла. Значения давления и рН начали меняться с 5 августа (за двое суток до землетрясения). Это связано, по-видимому, с изменением состава воды в Авачинской бухте перед землетрясением (плотность увеличилась примерно на 3%). Явно выделялся широкий, подъем на графиках температуры и скорости звука в воде, приуроченный к моменту землетрясения. Ряды значений вернулись к прежнему уровню примерно через двое суток. Контрольные измерения состава вод аналитическими методами в наземных скважинах подтвердили наличие аномалий, связанных с землетрясением.

Обсерватория ИФЗ и ОКБ ОТ РАН для длительного мониторинга акваторий

В качестве другого примера можно привести разработку ОКБ океанологической техники РАН в 2005 - 2007 гг. геофизической обсерватории с участием и по заказу Института физики Земли РАН. Обсерватория содержит подводный гидрофизический комплекс (ПГК) и наземный широкополосный сейсмограф, наземный обрабатывающий комплекс и стендовое оборудование. Подводный комплекс предназначен для обеспечения сейсмологического мониторинга в акваториях, изучения гидрофизических процессов в придонном слое, на континентальных склонах и шельфе океана, для исследований природных и антропогенных экологических ситуаций в морских акваториях и прибрежных зонах.

Подводный гидрофизический комплекс (ПГК) представляет собой систему океанологических измерительных приборов, объединенных в модульную конструкцию. Особенностью комплекса является постоянная связь с берегом по подводному кабелю. Возможна также работа ПГК в автономном режиме в течение нескольких дней. Подводный комплекс включает: донный сейсмограф; феррозондовый магнитометр; гидрофизический модуль; блок регистрации и управления; подводную аппаратуру гидроакустической связи; модем и герморазъем кабельной линии связи; автономный блок питания. Гидрофизический комплекс закрыт наружным обтекателем для защиты от влияния придонных течений. Эскиз конструкции подводного комплекса приведен на рис. 3, а внешний вид на рис. 4.

Донный сейсмограф состоит из широкополосного велосиметра типа СМ-5 с частотным диапазоном 0,03 – 40 Гц, сейсмоприемника сильных движений (акселерометр СМ-5А) с частотным диапазоном 0,6– 100 Гц; пьезоэлектрического датчика (акселерометр А1632) с частотным диапазоном 0,006 – 20 Гц; датчика ориентации по азимуту и наклону.

В состав гидрофизического модуля входят следующие приборы: измеритель вектора скорости течения (трехосный акустический измеритель, диапазон от 0,1 до 100 см/с), кварцевый измеритель давления (диапазон 0,1 – 60 МПа), резистивный измеритель температуры, индуктивный измеритель

электропроводности (диапазон 0 – 9 Сим/м). Для измерения вектора магнитного поля используется феррозондовый магнитометр типа LEMI-018В (диапазон ± 65000 нТл), разработки Львовского центра Института космических исследований АН Украины.

К устройствам обеспечения подводного комплекса относятся: притопленный буй, размыкатель балласта и судовая аппаратура. Притопленный буй предназначен для обеспечения подъема подводного комплекса. Буй состоит из титановой рамы и восьми стеклянных сферических поплавков диаметром 450 мм в пластмассовых защитных кожухах и соединен фалом с подводным комплексом и буйрепом с балластом. После всплытия буя подводный комплекс поднимается на палубу судна. Общая плавучесть буя составляет 200 кг. Буи такой конструкции производились и эксплуатировались ОКБ ОТ РАН в течение ряда лет, в составе притопленных буйковых станций, при проведении исследований в Индийском океане.

Размыкатель балласта АГАР (разработка ОКБ ОТ РАН) предназначен для эвакуации подводного комплекса со дна моря. По команде с судна по гидроакустическому каналу АГАР производит отделение балласта от троса и обеспечивает всплытие притопленного буя на поверхность. Конструктивно АГАР выполнен в отдельном прочном корпусе с установленными на нем гидроакустической антенной и размыкающим механизмом.

Судовая аппаратура включает блок гидроакустической связи с размыкателем балласта, GPS и электронный блок, с помощью которой производится контроль и программирование подводной части и привязка к Единому времени, а также проверка ее работоспособности и привязка к системе координат по гидроакустическому каналу связи после постановки на дно.

В наземном сейсмографе использован трехкомпонентный сейсмоприемник типа ТС-5В, характеристики которого идентичны характеристикам сейсмоприемника типа СМ-5. Аппаратура наземного комплекса с помощью блока сбора и обработки информации с синхронизацией от GPS обеспечивает прием данных от подводного комплекса по кабельной линии связи, производит запись и конвертирование информации в текстовый формат с целью использования в дальнейшей обработке с применением разработанного в рамках этого проекта специального программного обеспечения. Блок сбора и обработки информации выполнен на основе

персонального компьютера типа Pentium – IV, оснащенного соответствующими внешними устройствами, необходимыми для рабочего места геофизика.

Многоцелевая донная обсерватория ОКБ ОТ РАН и НИОТ (Индия)

В настоящее время в ОКБ ОТ РАН по заказу агентства Роснауки производится разработка многоцелевой автономной донной обсерватории для проведения длительного комплексного геоэкологического мониторинга в акваториях Мирового океана с оперативной передачей информации и сигналов управления через спутниковые или радио каналы связи. Работы ведутся совместно с Национальным Институтом Океанских Технологий Индии (National Institute of Ocean Technology, Ministry of Earth Sciences of India, Chennai), представляют взаимный интерес и предназначены для последующей коммерциализации в области рационального природопользования. Особенностью этой обсерватории является возможность ее размещения на значительном удалении от пунктов управления и сбора информации (сотни и тысячи километров), в том числе, в районах ожидаемых катастрофических землетрясений и цунами.

Комплекс обсерватории состоит из донной части, судовой части и поверхностного ретрансляционного бую. Донная часть включает следующие измерительные и вспомогательные модули, разрабатываемые в ОКБ ОТ РАН: трехкомпонентный сейсмограф - велосиметр, сейсмоакустический датчик, измеритель магнитного поля, модемы кабельной и гидроакустической линий связи. Часть модулей поставляется индийской стороной: акустический доплеровский измеритель профиля течений, датчики гидрохимических параметров, донный датчик давления. Гидрофизический модуль (СТД) для измерения солености, температуры и давления разрабатывается совместно. На рис.6 приведена структурная схема погружаемой части комплекса.

Основные технические характеристики измерительной аппаратуры: частотный диапазон регистрации сейсмических сигналов 0,1 – 40 Гц, частотный диапазон сейсмоакустических сигналов 20 – 1000 Гц, диапазон измеряемых давлений, 0,1 – 60 МПа, диапазон измерения электрической проводимости, 0 – 9 Сим/м, диапазон измерения магнитного поля ± 65000 нТл, диапазон измерения скорости течений с помощью акустического доплеровского измерителя от 0,1 до

100 см/с. Дальность гидроакустической связи до 8000 м, число принимаемых гидроакустических команд 20.

Судовая аппаратура обеспечивает контроль погружаемой части перед постановкой на дно и после подъема на борт судна, проверку ее работоспособности после постановки, осуществляет привязку к системе координат и к системе Единого времени, обеспечивает двустороннюю гидроакустическую связь.

В качестве поверхностного ретрансляционного буя (поставляется индийской стороной) планируется использовать большой заякоренный океанографический буй (Data-buoy) фирмы «SeaTex» (США, Норвегия). Буй оснащен аппаратурой для измерения метеорологических и океанографических параметров (атмосферного давления, скорости и направления ветра, температуры воздуха и воды, влажности воздуха, периода, высоты и направления волн, скорость и направление поверхностных течений). Буй содержит канал спутниковой связи с пунктом приема и обработки данных. Для связи с донной обсерваторией в нижней части буя устанавливается гидроакустическая приемо-передающая антенна, а в корпусе буя - блок гидроакустической связи и источник питания.

Выводы

1. В настоящее время намечается тенденция перехода от преимущественно судовых экспедиционных исследований и спутниковых наблюдений Мирового океана к созданию непрерывно действующих систем мониторинга с помощью донных и притопленных обсерваторий. Это необходимо для получения длительных синхронных рядов наблюдений многих параметров непосредственно в толще воды и на дне. Только таким образом можно выявить корреляционные связи между различными факторами, определяющими состояние акватории, разделить климатические, сезонные и спонтанные их вариации.

2. Подавляющее большинство всех землетрясений происходит под дном океанов и морей, однако морской стационарной сейсмологической сети практически не существует. Наземные сейсмографы регистрируют сигналы удаленных морских землетрясений с существенными искажениями, а сигналы слабых землетрясений не регистрируются вовсе. Актуальными проблемами остаются краткосрочное прогнозирование сильных морских землетрясений и предупреждение опасности цунами. Поэтому

представляется совершенно необходимым создание единой сейсмологической сети на суше и на море.

3. В связи с отсутствием в настоящее время кабельной морской сейсмологической сети для решения задач морской сейсмологии используются в основном автономные донные сейсмостанции. 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. Стоимость АДСС во много раз ниже стоимости кабельных стационарных станций. Достижения современной науки и техники в области морского приборостроения позволяют преодолеть многие трудности по разработке и эксплуатации автономных донных сейсмографов.

4. В ряде развитых стран в настоящее время разрабатываются и используются донные обсерватории различных конструкций и областей применения. Важное значение имеет длительная регистрация геофизических параметров на дне, в том числе для изучения предвестников сильных морских землетрясений, вариаций глобальных океанических течений, строения океанической коры, изучения механизмов возбуждения и распространения штормовых микросейсм и др. Кроме фундаментальных проблем подводные обсерватории могут решать различные прикладные задачи: осуществлять заблаговременное предупреждение об опасности цунами, проводить многофакторный экологический мониторинг в районах промышленного освоения акваторий и др. Многоцелевые донные обсерватории и методы океанических исследований, разрабатываемые в ОКБ океанологической техники РАН и в Институте океанологии РАН могут служить основой для создания сети региональных, а в дальнейшем – глобальной сети геофизических и гидрохимических наблюдений в Мировом океане.

Литература

1. *Башилов И.П., Зубко Ю.Н., Левченко Д.Г., Леденев В.В., Павлюкова Е.Р., Пармонов А.А.* Донные геофизические обсерватории — методы конструирования и области применения// Научное приборостроение. 2009.

2. Викулин А.В., Дроздюк В.Н., Семенец Н.В., Широков В.А. К землетрясению без риска. Петропавловск-Камчатский. Изд. СЭТО.1997. 120 с.

3. Воронина Е.В., Левченко Д.Г., Соловьев С.Л., Сонькин А.В. Особенности регистрации сильного Гималайского землетрясения на дне центральной части Атлантического океана и дисперсия длиннопериодных волн Лява // Физика Земли. 1995, N 2. С. 3-17.

4. 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.

5. Желтухин А.С. Опытнo-методические режимные наблюдения по проблеме краткосрочного прогноза землетрясений в морских сейсмогенных зонах // Тр. конф. «Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза». М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. С. 115-123.

6. Левченко Д.Г., Леденев В.В., Ильин И.А., Парамонов А.А. Длительный сейсмологический мониторинг морского дна с использованием автономных донных станций// Сейсмические приборы. 2009. Т. 45. № 1. С.5-22.

7. Левченко Д.Г. Регистрация широкополосных сейсмических сигналов и возможных предвестников сильных землетрясений на морском дне. М.: Научный мир. 2005. 240 с.

8. Лобковский Л.И., Левченко Д.Г., Леонов А.В., Амбросимов А.К. Геоэкологический мониторинг морских нефтегазоносных акваторий. М.: Наука, 2005. 325 с.

9. Зубко Ю.Н., Левченко Д.Г., Леденев В.В., Парамонов А.А. Современные донные станции для сейсморазведки и сейсмологического мониторинга // Научное приборостроение. 2003. Т. 13, № 4. С. 70 – 82.

10. Ткаченко Г.Г., Капочкин Б.Б. Способ прогноза фаз тектонической активности. Патент РФ, № 1837139, 1993.

11. Федотов С.А., Шумилина Л.С., Чернышева Г.В. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов по данным детальных исследований // Вулканол. и сейсмол. 1987. № 6. С. 29-60.

12. Хитаров Н.И., Войтов Г.И., Лебедев В.С. О геохимических предвестниках землетрясений на прогнозных полигонах. М.: Наука, 1974. 165 с.

13. *Beranzoli L., Etiopo G., Favali P., Frugoni F., Smeiglio G.* GEOSTAR observatory for geophysical and environmental monitoring // Intern. Workshop Scient. Use Submar. Cables. Japan, Okinawa. 1997. P. 126-130.
14. *Delaney J.R.* NEPTUNE: an interactive submarine observatory at the scale of a tectonic plate // Long-Term Observations in the Oceans. OHP/ION Joint Symposium. Japan, 2001. P. 309.
15. *Dziewonski A.* Long term observatories in the oceans: synergies in science and technological solutions // Long – Term Observations in the Oceans. OHP/ION Joint Symposium. Japan, 2001. P. 245-246.
16. *Dziewonski A., Lancelot Y., Cann J., Orcutt J., Montagner J-P., Romanovich B., Detrick R., Carson B., Foucher J-P., Purdy M.* Scientific rationale for long term geophysical ocean bottom observatories // Int. workshop. Multidisciplinary Observatories on the Deep Seafloor. Marseille, France. 1995. P. 3-50.
17. *Eguchi T., Fujinawa Y., Fujia E., Iwasaki S.* An observation network of ocean-bottom-seismometers deployed at the Sagami Trough subductin zone // Intern. Workshop Scient. Use Submar. Cables. Japan, Okinawa. 1997. P. 178 - 181.
18. *Favali P.* SN-1: the first node of the Italian seafloor observatory network – background and perspective // 3-rd Workshop Scient. Use Subm. Cables Rel. Techn., Japan, Tokyo, 2003. P.19-24.
19. *Iwase R.* Multidisciplinary and extensive real – time deep seafloor observatory off Hatsushima Island in Sagami Bay // Long – Term Observations in the Oceans. OHP/ION Joint Symposium. Japan, 2001. P. 295-298.
20. *Kasahara J., Toshinori S.* Broadband seismic observation in VENUS project // Intern. Workshop Scient. Use Submar. Cables. Japan, Okinawa. 1997. P. 126-130.
21. *Montagner J.P., Romanowicz B., Karczewski J.F.* A first step toward an oceanic geophysical observatory// Trans. Am. Geoph. Un. 1994. V.75. N.13. P.150-154.
22. *Purdy G.M., Dziewonski A.M.* Towards a Permanent Network of Ocean Floor Seismological Observatories // Abstract Book, Intern. Workshop Multidisciplinary Observatories on the deep seafloor. Marseille, France.: 1995. P.165 - 168.
23. *Schultz A., Lampitt R., Peirce C., Boyle E. B* – DEOS Plans for establishment of long – term mobile interdisciplinary ocean observatory

systems in the N and S Atlantic // Long – Term Observations in the Oceans. OHP/ION Joint Symposium. Japan, 2001. P. 310-316.

24. *Wakita H.* Earthquake and geochemical studies in China// Chin. Geophys. (US). 1978. V.1. No. 2. P.443-457.

**МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ГИДРОЛОГО-ОПТИКО-
ХИМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПОДВИЖНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПЛАТФОРМАХ**

Смирнов Г.В., Оленин А.Л., Шаповалов И.С.

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН 117997, г.

Москва, Нахимовский проспект, д.36

e-mail: gvsirmov@ocean.ru; olenant@hotmail.com

Создаваемая измерительная аппаратура может осуществлять наряду с контролем изменчивости параметров гидрофизических полей измерение и регистрацию *in situ* количественного и качественного состава минеральных и органических частиц взвеси в морской воде, т.е. осуществлять экологический мониторинг контролируемой акватории моря с адресным указанием источников загрязнений.

The hydro- optical- chemical-measuring system is considered.

Целевой научно-технической программой «Разработка уникальных научно-исследовательских приборов и оборудования для учреждений РАН», утвержденной Президентом РАН 27.03.2008 г. предусмотрена научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа (НИОКР) «Многоканальный гидролого-оптико-химический комплекс для проведения океанологических и экологических исследований на подвижных измерительных платформах». Выполнение работы предполагалось совместно Лабораторией методологии и технических средств океанологических исследований Института Океанологии РАН и ФГУП Опытным конструкторским бюро океанологической техники РАН.

Актуальность постановки данной разработки.

Современные условия жизни на Земле характеризуются значительной глобализацией человеческой деятельности. Эта тенденция сопровождается повышением зависимости экономики от различных природных явлений (аномалий климата, катастрофических погодных процессов - наводнений, засух) и состояния окружающей среды (ухудшения качества питания и жизненной среды в целом и т.д.).

С другой стороны, антропогенная нагрузка на окружающую среду становится все более существенной, результатом чего часто оказывается нарушение естественного равновесия природных процессов и усиление негативных для человека последствий. Влияние человека вызывает существенные изменения морских экосистем, проявляющиеся в привнесении новых видов, количественных и качественных нарушениях циклов обращения питательных веществ, катастрофически изменяющих естественно сложившийся баланс. Результатом человеческой деятельности является сокращение промыслового лова рыбы и биоразнообразия морской фауны. Промышленная эксплуатация шельфа моря и его использование для добычи и транспортировки нефти и газа с неизбежностью приводит к возрастанию вероятности крупных катастроф с непоправимым ущербом рекреационным и биологическим ресурсам моря.

Очевидно, что интенсификация промышленного освоения океана должна сопровождаться совершенствованием системы контроля состояния морской среды, способной дать надежную

информацию для принятия управленческих решений, корректировки действующих и обоснования будущих хозяйственных проектов. Умение контролировать и прогнозировать состояние морской среды позволяет повысить эффективность операций на море и избежать негативных последствий хозяйственной деятельности. При этом необходимо обратить особое внимание на результаты контроля и прогноза состояние морской среды при обосновании новых хозяйственных проектов на акватории окраинных морей и прибрежных океанских акваторий. Непрерывный мониторинг морской среды конечно должен охватывать все многообразие процессов протекающих в окраинных морях с учетом сложных взаимосвязей отдельных компонентов, т.е. быть междисциплинарным.

Одним из индикаторов экологического состояния акваторий служат оптические свойства воды, связанные, в частности, с интенсивностью и качеством биологических процессов, протекающих в ней, и имеющих широкий диапазон пространственных и временных масштабов [5,11,16].

Загрязнение моря в значительной степени вызвано сточными водами, прибрежных городов и поселений. Сточные воды представляют собой смесь растворенных и взвешенных веществ и влияют на химический состав морской воды, изменяя концентрацию растворенных веществ, как минерального, так и органического происхождения. Кроме растворенных веществ, сточные воды несут взвеси, которые могут быть как активными, так и пассивными примесями (т.е. иметь плотность, близкую к воде, и двигаться вместе с ее частицами, всплывать или осаждаться и изменяться под воздействием среды.). Частным случаем всплывающих примесей являются поверхностно-активные вещества, образующие пленки на поверхности и изменяющие характеристики взаимодействия на границе раздела океан-атмосфера (теплообмен, коэффициент трения, излучательную способность, коэффициент поверхностного натяжения). Присутствие взвесей в воде вызывает изменение оптических свойств - поглощения и рассеяния оптического излучения. В меньшей степени на оптические характеристики влияют растворенные вещества.

Эффективность современных средств наблюдения морской экосистемы с использованием космических дистанционных методов,

которые позволяют создать систему экологического мониторинга акватории моря, не вызывает сомнений.

Но, для выявления источников и состава загрязнений необходимо создание принципиально новых технических средств, позволяющих осуществлять *in situ*, наряду с контролем изменчивости параметров гидрофизических полей, измерение и регистрацию количественного и качественного состава минеральных и органических частиц взвеси в морской воде.

Решение этой проблемы и является целью настоящего проекта по созданию многоканального гидролого-оптико-химического комплекса для проведения океанологических и экологических исследований с подвижных измерительных платформ.

Задачами проекта является исследование возможности создания новых измерительных каналов, основанных на оптических методах измерений. Следует отметить, что оптические методы характеризуются большими потенциальными возможностями по быстрдействию, информативности, точности измерений. Было принято решение о включение в состав комплекса следующих оптических измерительных каналов: акустооптический спектрометр, работающий в морской воде; идентификации элементов взвеси; подводной облученности; показателя ослабления направленного света; концентрации растворенного в воде кислорода. Кроме того, для контроля граничных условий экспериментальных исследований, в состав комплекса войдут стандартные измерительные каналы температуры, электропроводности и гидростатического давления.

Проект является междисциплинарным и не может быть отнесен отдельно к гидрооптическим, гидрохимическим, гидробиологическим или экологическим исследованиям.

Работа по созданию комплекса выполняется Лабораторией методологии и технических средств океанологических исследований Института Океанологии РАН и ФГУП Опытнo-конструкторским бюро океанологической техники РАН.

Выбор структуры измерительного комплекса.

Структурные схемы существующих в настоящее время океанологических приборов во многом похожи на созданные еще в 70 – 80е годы XX столетия зарубежные информационно-измерительные

комплексы и океанологические измерительные приборы модульной конструкции, созданные в МГИ АН УССР [4, 6, 9, 10].

В настоящее время наиболее известными мировыми производителями измерительных комплексов для океанологических исследований являются Sea-Bird Electronics, Inc. (далее SBE), Falmouth Scientific, Inc. (далее FSI) и IDRONAUT S.r.l. (далее IDRONAUT).

По результатам проведенного анализа существующих измерительных комплексов,

структурных схем существующих на настоящее время в нашей стране и за рубежом гидрологических, гидрохимических и гидрооптических измерительных приборов, технических и метрологических характеристик их измерительных каналов, современного уровня электроники, принято решение о структуре создаваемого гидролого-оптико-химического комплекса приведенной на рис.1.

Комплекс состоит из двух основных частей: погружаемого устройства и судовой части. Погружаемое устройство, содержащее центральный блок и набор измерительных каналов океанологических параметров, с помощью лебедки опускается с борта судна на грузонесущем кабеле.

Предлагаемая структура комплекса обладает следующими особенностями:

1. Основой погружаемого устройства является модуль управления, сбора и обработки данных. Обмен данными между модулем и измерительными каналами – по цифровым линиям связи. Связь центрального контроллера модуля с измерительными каналами осуществляется через нормализующие контроллеры, входящие в состав модуля.

2. Для связи погружаемого устройства и судовой части используется оптико-волоконная линия.

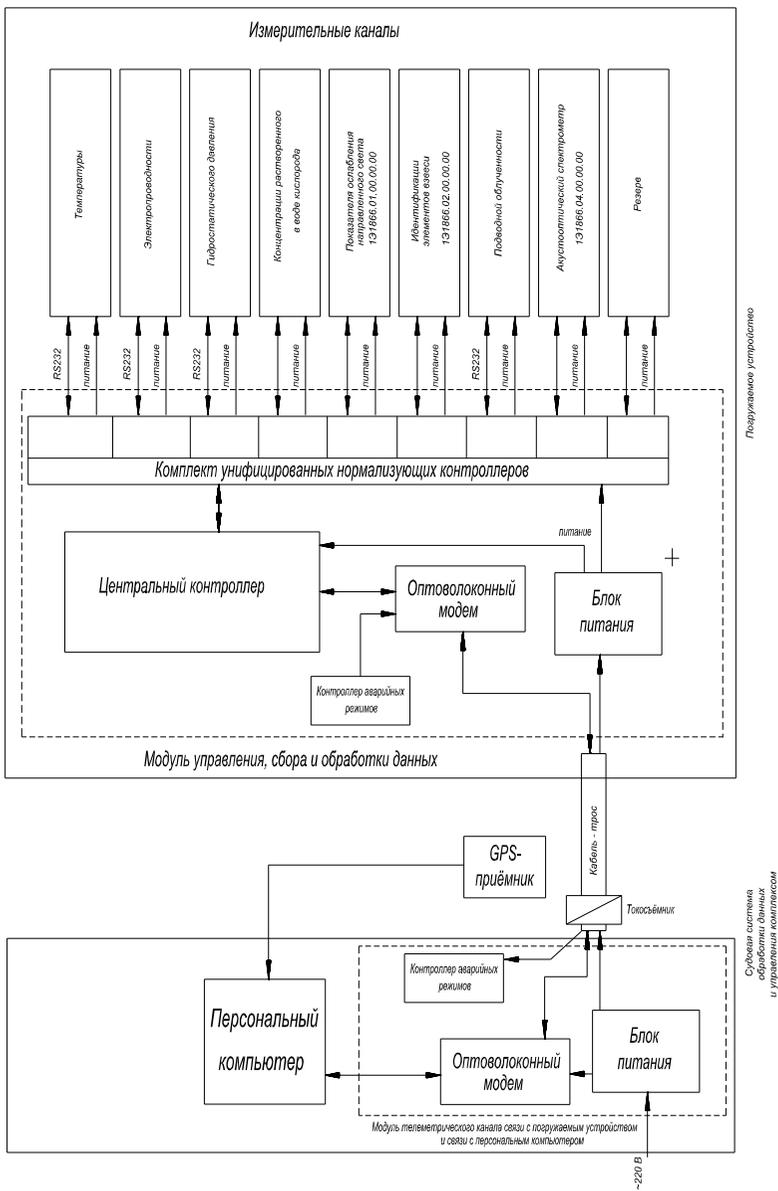


Рис.1. Структурная схема гидролого-оптико-химического комплекса.

Как уже было отмечено выше, проект является междисциплинарным, поэтому создаваемый набор измерительных каналов, которые следовало бы включить в его состав, может получиться очень широким. Для того чтобы не переусложнить комплекс, одним из основных назначений которого является исследование возможности создания новых или существенной модернизации существующих измерительных каналов, принято решение ограничить количество измерительных каналов до некоторого разумного количества. При этом схемотехника и программно-математическое обеспечение модуля управления, сбора и обработки данных должны позволять увеличить количество подключаемых каналов путем несложной модификации модуля.

Состав измерительных каналов определяется:

-необходимостью традиционных, главным образом, гидрофизических каналов

-несколькими новыми, экспериментальными измерительными каналами

Традиционные каналы:

-температуры

-электропроводности

-гидростатического давления

-подводной облученности (нисходящей)

-концентрации растворенного в воде кислорода

-показателя ослабления направленного света

Подробнее остановимся на оптических измерительных каналах. Анализ существующих на данный момент методов и средств гидрооптических исследований позволяет сделать вывод, что каналы для измерения некоторых гидрооптических характеристик существуют (т.е. их можно использовать в готовом виде), некоторые каналы требуют модернизации с учетом современной элементной базы,

некоторые же каналы не существуют в принципе. Принятая структура комплекса позволяет использовать существующие каналы и проводить испытания создаваемых вновь каналов. Оптические свойства морской воды в значительной степени зависят от двух факторов: от концентрации растворенных органических и неорганических веществ и от содержания в ней взвешенного вещества (частиц). Растворенные органические соединения в морской воде составляют в среднем 0,001 - 0,005%. Значительную часть растворенных органических соединений составляет “желтое вещество”. Помимо растворенного вещества морская вода содержит большое количество взвешенных частиц минерального и органического происхождения. Минеральные частицы в основном заносятся в океан реками и ветрами с континентов, органические возникают в океане – это фитопланктон, зоопланктон, детрит. По размерам наибольшее количество частиц радиусом 0,2 – 1 мкм, они составляют 90 – 98% от общего числа взвеси. Для качественной оценки растворенных в воде веществ, а также взвешенных частиц необходимо измерять следующие характеристики: спектральный показатель ослабления направленного света, спектральный показатель рассеяния, поглощение, индикатрису рассеяния [7].

Показатель ослабления направленного света несет в себе информацию о концентрации растворенных веществ и о молекулярном рассеянии. Показатель ослабления и индикатриса рассеяния позволяют получить данные о концентрации взвеси и функции распределения частиц по размерам. Показатель поглощения морской водой зависит от взаимного вклада различных компонент: минеральных частиц, клеток фитопланктона, хлорофилла.

Измерение характеристик светового поля (яркость, облученность, биолюминесценция и т.д.) в фотической зоне позволяет оценивать биологическую продуктивность водной среды [7].

Модуль управления гидролого-оптико-химического комплекса.

Структурная схема модуля управления, сбора и обработки данных представлена на рис.2.

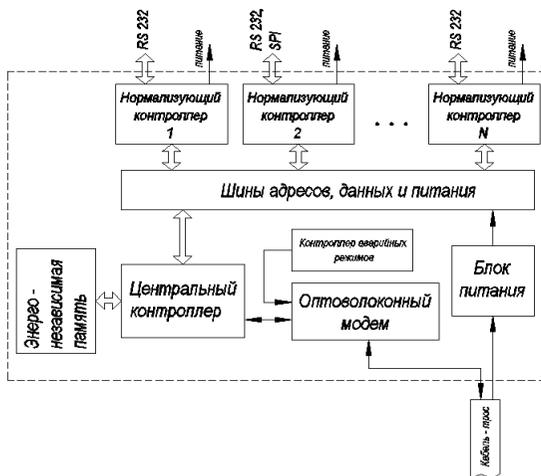


Рис. 2. Структурная схема модуля управления, сбора и обработки данных.

Модуль управления включает в себя: Нормализующие контроллеры для подключения измерительных каналов; Центральный контроллер, осуществляющий опрос нормализующих контроллеров и сохранение измерительных данных в энергонезависимой памяти и обмена данными по сети Ethernet с судовой системой сбора и обработки данных; Оптоволоконный модем для преобразования проводного интерфейса Ethernet 10/100 Base TX, которым оснащен центральный контроллер, в интерфейс 100 Base FX оптоволоконного кабеля; Контроллер аварийных режимов обеспечивает сбор, обработку сигналов с датчиков токов потребления измерительных каналов и выдачу информации о токах потребления в центральный контроллер и оптоволоконную линию; Блок питания обеспечивает преобразование переменного питающего напряжения, поступающего с кабель-троса в переменные нестабилизированные и постоянные стабилизированные напряжения, необходимые для питания измерительных каналов, центрального контроллера, нормализующих контроллеров, контроллера аварийных режимов, оптоволоконного модема.

Вычислительная система центрального контроллера должна обладать: Достаточным запасом производительности и оперативной памяти для обеспечения экспериментов с многоканальным измерением

океанологических процессов; Реализовать интерфейсы Ethernet (для связи с судовой системой сбора и обработки данных), I2C (для связи с нормализующими контроллерами), RS-232 (для программирования и прочих сервисных функций); Иметь разъем для установки энергонезависимой памяти для многоканальной записи данных во время эксперимента (флэш-память достаточно большого объема).



Рис. 3. Внешний вид одноплатной системы центрального контроллера.

Таким требованиям отвечает готовая одноплатная система EVK1100 фирмы Atmel на основе микроконтроллера AT32UC3A0512 той же фирмы.

Общий вид одноплатной системы показан на рис. 3.

Основа каждого из нормализующих контроллеров – однокристальный микроконтроллер ATMega128 фирмы Atmel. С помощью интерфейса I²C микроконтроллер связывается с центральным контроллером модуля управления, сбора и обработки данных. Программное обеспечение микроконтроллера обеспечивает взаимодействие с конкретным измерительным каналом и передачу измерительной информации в центральный контроллер. Внешний вид нормализующих контроллеров, установленных на отладочном стенде, показан на рис. 4.

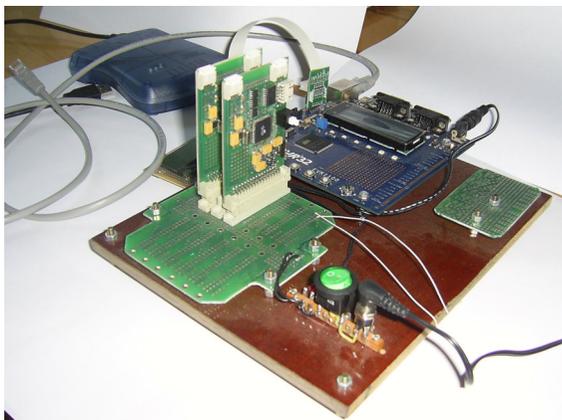


Рис. 4. Нормализующие контроллеры (вертикально установленные платы) на отладочном стенде. Также видна плата центрального контроллера

На рисунке 5 показана компоновка модуля управления, сбора и обработки данных (прочный корпус условно не показан). Видны те же элементы, что и на рисунке 4, но установленные на шасси.

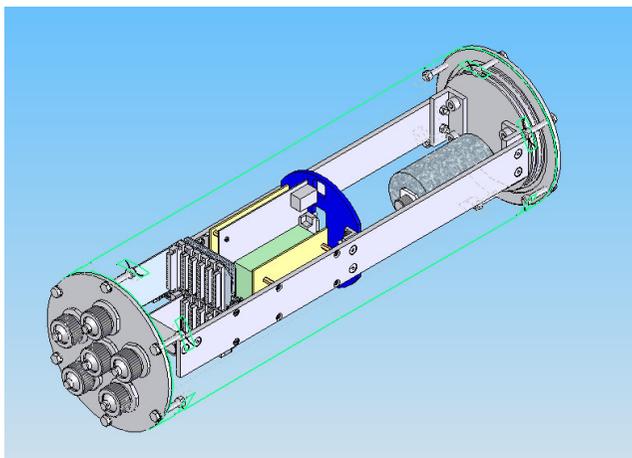


Рис. 5. Компоновка модуля управления, сбора и обработки данных. На разъемы для подключения измерительных каналов установлены заглушки.

Измерительный канал показателя ослабления направленного света

Такой измерительный канал традиционно называют прозрачномером. Как и в случаях с измерительными каналами прочих океанологических параметров, коммерчески доступными серийными каналами являются в основном изделия зарубежных производителей.

Основой всех прозрачномеров является измерение ослабления светового потока источника оптического излучения, проходящего некоторый путь в измеряемой водной среде путем сопоставления световых потоков на входе в исследуемую среду и на выходе из неё. Ниже приводится классификация фотоэлектрических схем прозрачномеров согласно [3].

В *схеме прямого измерения* приемником регистрируется только прошедший измеряемую среду поток, а поток, попадающий в среду, предполагается неизменной и постоянной величиной, выраженной в тех же условных единицах, что и прошедший.

Для высокоточных измерений по такой схеме необходимо, чтобы весь измерительный тракт, начиная от источника излучения и кончая регистрирующим прибором, обладал высокой стабильностью. Это в первую очередь относится к источнику света, приемнику и усилителю.

Схемы сравнения позволяют строить измерители, свободные от влияния нестабильности потока источника излучения. Кроме того, модулируя световой поток, можно исключить воздействие постороннего света.

В основе схем сравнения лежит сопоставление (сравнение) двух световых потоков: измерительного, прошедшего через измеряемую среду и компенсационного, который проходит короткий отрезок пути и поэтому не претерпевает ослабления, в регистрирующем устройстве фототоки сравниваются, результат сравнения выдается на регистрирующий прибор.

Схемы сравнения разделяются на двухканальные и одноканальные. *Двухканальные схемы* содержат два электрических

канала, каждый из которых содержит приемник, усилитель и т.д. Сигналы с выходов каналов сравниваются, результат сравнения выдается на регистрирующий прибор.

В двухканальных схемах изменение параметров одного из электрических каналов (чувствительности приемника, коэффициента усиления усилителя) влияет на результат измерения, что приводит к необходимости регулярно настраивать измерительную схему.

Устранить влияние нестабильности электрической схемы можно, если использовать только один электрический канал.

Одноканальная схема имеет один электрический канал (приемник, усилитель и т.д) и два оптических канала, по которым проходят измерительный и компенсационный лучи. Это осуществимо, если в измерительной схеме реализовано поочередное попадание световых потоков измерительного и компенсационного каналов на приемник.

Прозрачномеры ALPHAtracka I и ALPHAtracka II фирмы Chelsea Instruments, Ltd. (Великобритания) выполнены по двухканальной схеме с двумя приемниками.

В качестве источника света используется светодиод, который можно выбрать из набора длин волны излучения (например 470 нм, ширина полосы примерно 20 нм). Для уменьшения влияния внешней засветки светодиод работает в импульсном режиме с частотой модуляции 340 Гц. Коллимирующая линза, в фокусе которой расположен светодиод, формирует параллельный пучок света. Этот луч последовательно проходит через иллюминатор, исследуемый объем воды с заданной длиной, следующий иллюминатор и попадает на линзу, фокусирующую принятый луч на фотодиоде. Сигнал от фотоприемника подается на один из входов дифференциального усилителя. На второй вход усилителя поступает сигнал другого фотоприемника, установленного непосредственно у светодиода и регистрирующего интенсивность его излучения. Этот сигнал также используется в петле обратной связи с излучателем для стабилизации величины интенсивности излучения. Результаты измерений выдаются на выходе электронного блока в виде аналогового сигнала, величина которого (диапазон 0-5 В или 0-2,5 В) характеризует прозрачность воды в выбранном участке светового спектра.

Похожим образом устроен одноволновый (выбор длины волны также определяется выбором светодиода) прозрачномер C Star фирмы WetLabs, Inc. (США). Прибор построен по двухканальной схеме (есть

опорный и измерительный приемники) с параллельным измерительным пучком. Излучающий и приемные блоки выполнены в едином контейнере.

В прозрачномере фирмы Sea & Sun Technology GmbH (также как и в вышеописанном прозрачномере, созданном в МГИ АН УССР) излучающий и приемный блоки размещаются рядом в одном контейнере, измерительный пучок параллельный, а напротив иллюминатора, на балке, на определенном расстоянии, расположен призматический отражатель, что позволяет регулировать оптическую базу в пределах от 3 до 50 см путем передвижения отражателя вдоль балки.

В измерителе ослабления (составная часть измерителя АС-9 фирмы WetLabs, Inc.) применена двухканальная измерительная схема, с измерительным и опорным приемниками). Для устранения влияния паразитного рассеяния измерительный пучок распространяется внутри трубки с внутренней поверхностью, полностью поглощающей рассеянный свет. Измерения проводятся на девяти участках спектра в диапазоне 412-715 нм. Длина оптической базы 25 см. Смена спектрального интервала осуществляется непрерывным вращением колеса со светофильтрами. Сигналы фотоприемников обрабатываются 18-битным АЦП и посылаются в ЦПУ, которое синхронизирует каждую выборку в соответствии с позицией колеса светофильтров. Данные измерений выдаются в стандарте RS-232 [4].

По одноканальной схеме выполнен измеритель ослабления, входящий в состав спектрофотометра HiStar фирмы WetLabs, Inc. Используется параллельный измерительный пучок. Для поочередной подачи на приемник измерительного и опорного потоков применен оптический переключатель. В качестве приемника используется спектрометр Zeiss на основе фотодиодной линейки с тактированным последовательным выходом.

В излучающем контейнере расположен источник света, в качестве которого применена вольфрамовая лампа, излучающая «белый» свет, а также коллимирующая линза и расщепитель. Поток опорного луча передается по световолоконной линии в контейнер со спектрометром, фотоприемником, электронными схемами обработки сигналов, измеритель внутренней температуры и датчик давления. Выходные данные могут передаваться в стандарте RS232.

Недостатком измерителей АС-9 и HiStar является необходимость принудительного протока исследуемой воды через закрытые для свободного протока измерительные трубки. Отсутствие свободного протока, в частности, затрудняет быструю смену водной среды при движении измерителя через границы слоёв с разной прозрачностью.

В работе [2], где на основе исследований погружаемой гидрооптической аппаратуры и средств метрологического обеспечения для неё, проведённых на базе ВНИИОФИ и Института Океанологии им. П.П. Ширшова, сформулированы ценные практические рекомендации по проектированию измерителей показателя ослабления направленного света.

Из анализа существующей аппаратуры можно сделать выводы о присущих ей недостатках.

-многие измерительные приборы построены по схеме с двумя приемниками излучения, хотя, как было показано выше, более стабильными характеристиками обладает одноканальная схема.

-угловые поля передающих и приемных систем могут быть недостаточно узкими и соотношения между ними неоптимальными

-применение в измерительной схеме уголкового отражателя упрощает юстировку оптической системы, но не совсем корректно с точки зрения обеспечения прохождения света в одном направлении.

-применяемые в некоторых одноканальных измерителях механические модуляторы опорного и измерительного потоков усложняют и удорожают конструкцию.

Анализ фотоэлектрических методов регистрации показателя ослабления и опубликованных конструкций существующих измерителей позволяет сформулировать требования к усовершенствованному измерительному каналу показателя ослабления направленного света.

1.Схема измерения: однобазовая однопроходная одноканальная с поочередным сравнением на приёмнике измерительного и опорного потоков с помощью оптического переключателя.

2.Источник излучения – одиночный светодиод

3.Измерительный поток - параллельный.

4.Электронный тракт обработки сигнала фотоприёмника работает по переменному току (частотно-избирательный на частоту модуляции источника). Электронный тракт должен быть

спроектирован с учётом обработки сигнала большого динамического диапазона и с возможностью быстрой модификации схемы.

5. Измерительный поток проходит через исследуемую среду свободно, без использования закрытых измерительных полостей и принудительной прокачки воды.

6. Система управления измерительным каналом должна обеспечивать возможность включения в состав многоканального комплекса.

7. Конструкция измерительного канала должна обеспечивать его работоспособность при заданных по техническому заданию на комплекс условиях работы (глубина до 2000 м).

На основе сформулированных требований и анализа существующей аппаратуры было принято решение о проектировании макета измерительного канала, составлено техническое задание и изготовлен макет измерительного канала ослабления направленного света. Он позволяет получать на выходе последовательно электрические сигналы фотоприёмника соответственно от светового потока, прошедшего исследуемую среду, от опорного потока и вычисленное встроенным микроконтроллером значение показателя ослабления направленного света. На рисунке 6 показан внешний вид измерительного канала.



Рис. 6 Макет измерительного канала показателя ослабления направленного света на лабораторном стенде.

Предварительная метрологическая аттестация макета измерительного канала проводилась с помощью набора кварцевых светофильтров в соответствии с методикой, описанной в [2].

Измерительный канал подводной освещенности

В разрабатываемом комплексе предполагается использовать интегральный измеритель нисходящей освещенности для оценки ФАР со сферическим коллектором.

Основой почти всех таких приборов является коллектор из молочного стекла, набор светофильтров, кремниевый фотодиод и электронная схема. Можно упомянуть об измерителях фирм Li-Cor,

Biospherical Instruments, Inc., Chelsea instruments Ltd., Hobilab, Inc., Carter-Scott Manufacturing Pty. Ltd.

По совокупности характеристик наиболее подходит измеритель QSP-2100, рассчитанный на погружение до 2000 м и имеющий интерфейс RS-232 для подключения к внешним устройствам.

Измерительный канал идентификации элементов взвеси

Морская вода содержит большое количество взвешенных частиц минерального и органического происхождения. Органические частицы – это в основном фитопланктон, зоопланктон и детрит. Количество планктона составляет от единиц до тысяч организмов на литр. Для количественной оценки взвешенных частиц в настоящее время измеряют следующие характеристики: показатель ослабления направленного света, показатель рассеяния, индикатрису рассеяния [7]. Показатель рассеяния и индикатриса рассеяния излучения позволяют получить данные о концентрации взвеси и функции распределения частиц по размерам.

Задача количественного и качественного анализа взвесей, состоящих из частиц размерами порядка от долей миллиметра до единиц миллиметров, в частности, мезопланктона (размеры от 0,5 до 10(20) мм, является важной для характеристики структуры и продуктивности морских экосистем и оценки их состояния. Однако по-прежнему наиболее распространенным при исследованиях является визуальный (микроскопический) анализ таких частиц в пробах воды в лабораторных условиях, хотя этот способ очень трудоемок и малопроизводителен. Эту задачу возможно решать, используя автоматизированные оптические методы, что при полевых исследованиях позволит получать данные в реальном времени, а при лабораторной работе – существенно сократить время на обработку материала.

Для автоматизации исследований частиц были созданы лабораторные автоматизированные системы подсчета [12].

Разработан и внедрен в практику работ измерительный канал «ТРАП», позволяющий проводить подсчет отдельных частиц, движущихся в потоке через измерительную камеру при проведении

наблюдений *in situ* [4]. Аналогичная система использована в приборе, приведенном в работе [13]. Необходимо отметить, что все перечисленные измерительные устройства не позволяют регистрировать качественный и количественный состав взвешенных частиц.

Таким образом, актуальной стала проблема создания оптического измерительного канала или измерительного многоканального комплекса, позволяющего осуществлять распознавание элементов взвеси в морской воде, минерального или органического происхождения, классификации по размерам и их идентификации.

Подобная задача решена в работе [14], где описан прибор для распознавания фито- и зоопланктона. В этом приборе используется обработка изображения получаемого телевизионной камерой с помощью специальной вычислительной системы. Однако эта установка предназначена, по-видимому, для лабораторного использования и нельзя считать пригодной для экспедиционных условий.

В настоящей работе была поставлена задача создать измерительный канал, осуществляющий распознавание объектов в воде, который можно использовать в составе информационно-измерительного комплекса для проведения наблюдений *in situ*.

В качестве ближайшего аналога при решении задачи было принято измерительное устройство для автоматизированного определения *in situ* размера частиц (песка донных отложений) [15]. Оптическая головка устройства с расположенной внутри телевизионной системой-микроскопом опускается на дно на кабеле. Телевизионное изображение по кабелю попадает в компьютерную систему обработки, где и формируется информация о размере зерен песка. Устройство состоит из отдельных разнесенных в пространстве блоков (оптическая головка с телевизионной системой, кабель, компьютерная система и т.д.), что создает неудобство в эксплуатации.

Таким образом, с учетом анализа опубликованных конструкций можно сделать вывод, что отсутствуют устройства идентификации находящихся в воде мелких объектов, которые можно было бы использовать как готовые измерительные каналы в составе океанологических измерительных комплексов. Поэтому и было

принято решение о создании измерительного канала идентификации находящихся в воде мелких объектов. Структурная схема измерительного канала показана на рис. 4.

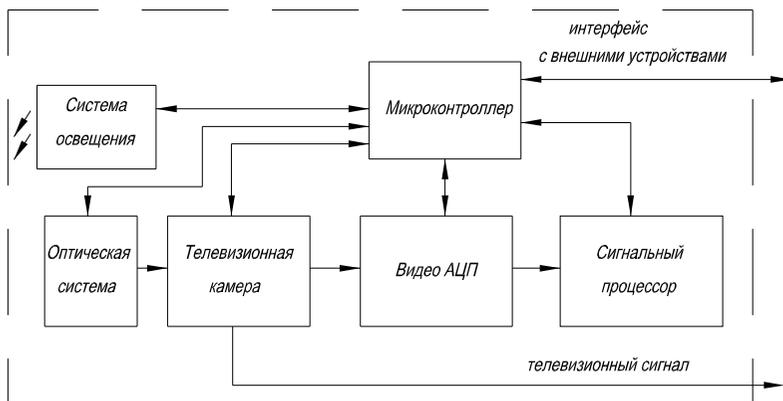


Рис.4. Структурная схема измерительного канала

Созданный измерительный канал обеспечивает основные алгоритмы обработки изображений, т.е. различные способы распознавания и подсчёта объектов.

Конструктивно он помещён в герметичный прочный корпус с иллюминатором и присоединительными электрическими разъёмами.

Основной задачей, которую было необходимо решить при создании измерительного канала идентификации, является поиск эффективной программно-аппаратной реализации вычислительной системы.

Создан экспериментальный стенд измерительного канала идентификации объектов. С его помощью моделировалось корреляционно-экстремальное распознавание модели эталонного объекта (гипотетической частицы зоопланктона), находящейся в модели группы реальных объектов.

Состав стенда: оптическая скамья, телевизионная камера Watec-525, осветитель, планшет для закрепления моделей объектов, персональный компьютер с устройством оцифровки телевизионного изображения телекамеры (с платой видеозахвата Aver Media).

Объекты (компьютерная графика на белой бумаге, наклеенная на планшет) являются идеализированными моделями реальных частиц, находящихся в водной среде. Изображения объектов регистрировались черно-белой телевизионной камерой на стенде.



Рис.5. Фрагмент стенда

С помощью телевизионной камеры и платы оцифровки видеосигнала сделаны цифровые фотографии моделей эталонного объекта и группы реальных объектов (рис. 3 а, б). Обработка изображений проведена с помощью математического пакета MathCAD. Алгоритмы обработки изображений здесь не приводятся.

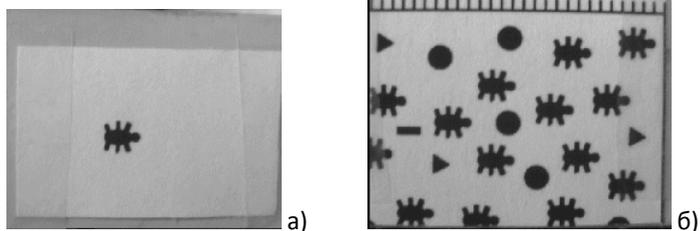


Рис 6. Изображения моделей (а- эталонного объекта, б- группы реальных объектов).

Фотографии подвергнуты несложной предварительной обработке (оконтуриванию и бинаризации, из 255 градаций для точки к бинарному, 1 или 0.).

Эталонное телевизионное изображение (рис. 3,а) преобразовано в соответствующее бинарное изображение эталона (рис.4).



Рис. 7. Преобразованное эталонное изображение

Телевизионное изображение группы объектов (рис. 3 б) преобразовано аналогичным образом (рис. 5).

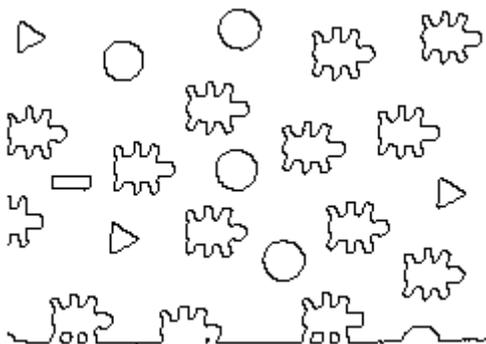


Рис. 8. Преобразованное изображение группы объектов

Заданный фрагмент изображения группы объектов (отрезаны края кадра, где присутствуют искажения) просканирован эталонным изображением с вычислением корреляционной функции и визуализацией результата. Результатом является изображение той же размерности, что и заданный фрагмент, белые точки соответствуют положению корреляционных максимумов, т.е. положению модели искомого эталонного объекта в модели группы реальных объектов (Рис .6, слева – заданный фрагмент, справа – результат).

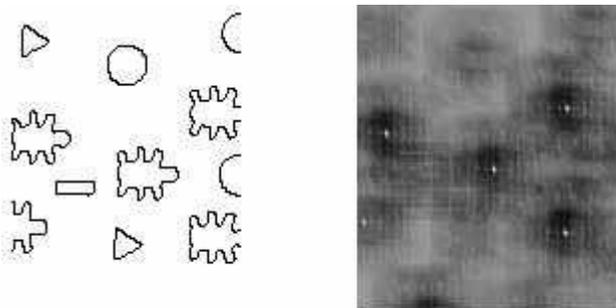


Рис.9. а) фрагмент изображения группы объектов б) корреляция с эталоном

Для определения количества искоемых (подобных эталонному) объектов в поле зрения телекамеры в алгоритме вычислительной

системы необходимо предусмотреть несложный подсчёт чётко выраженных корреляционных максимумов.

Выводы

1. Принятая функциональная схема измерительного канала в целом обеспечивает выполнение поставленных задач, но корреляционный метод требует вычислительной системы очень высокой производительности (особенно для работы в реальном масштабе времени). Безусловно, идентификация может быть произведена лишь с определенной, меньшей 1 вероятностью, т.е. с определенным процентом пропусков и ложных опознаваний. Целесообразно говорить о том, что данный измерительный канал сможет обеспечивать классификацию частиц планктона по крупным таксономическим группам. Допустимые же величины ошибок распознавания необходимо сформулировать в техническом задании на проектирование. Целесообразно исследовать также более производительный метод распознавания с использованием нейронных сетей.

2. Для проведения опытно-конструкторской разработки измерительного канала идентификации для измерений *in situ* необходимо провести дополнительные исследования алгоритмов распознавания изображений моделей объектов с помощью специализированного сигнального видео-процессора, более точных моделей объектов и собственно реальных объектов. Особенно сложной задачей является идентификация хаотично расположенных объектов (т.е. регистрируемых камерой в произвольных ракурсах). Кроме того, необходимо создать базу эталонных образов объектов, которые собственно и необходимо идентифицировать.

Акустооптический спектрометр

Перспективным методом анализа химического состава воды является исследование комбинационного рассеяния оптического излучения молекулами искоемых веществ. Этот метод до настоящего времени применительно к океанологическим исследованиям *in situ* не использовался и соответствующего измерительного канала не существует. Таким образом, для использования метода анализа комбинационного рассеяния оптического излучения необходимо создать соответствующий измерительный канал.

Основные задачи, которые необходимо решить при создании такого измерительного канала:

-создание собственно акустооптического спектроанализатора. Выполнение этой задачи решено поручить Научно – технологическому центру уникального приборостроения РАН, имеющему опыт создания такой аппаратуры.

-проектирование и изготовление прочного глубоководного корпуса (с оптическими иллюминаторами) для спектроанализатора. Эту задачу решено выполнить силами ОКБ ОТ.

С целью определения возможностей акустооптической спектрометрии, проведен обстоятельный анализ имеющегося на сегодняшний день материала по следующим вопросам: по существующим методам и средствам анализа воды; по анализу элементов взвеси в морской воде и химическому составу морской воды. Подготовлено техническое задание на проектирование акустооптического спектроанализатора, систематизированы данные о стандартизованных методиках лабораторных химических анализов воды, подготовлено техническое задание на проектирование специального стенда для отработки исследований химического состава воды с помощью акустооптического спектроанализатора.

Кроме того, в материалах указанного анализа приведены акустооптические устройства и созданные на их основе акустооптические измерительные приборы. В частности, сделан вывод о том, что наиболее подходящим аналогом для создания измерительного канала является портативный рамановский акустооптический спектрометр производства НТЦ УП РАН г. Москва. Основная направленность использования такого прибора заключается в проведении экспресс-измерений методами спектроскопии комбинационного рассеяния и флуоресценции при анализе состава твердых жидких и газообразных образцов. Прибор имеет малые габариты и может использоваться как самостоятельный портативный прибор для внелабораторных исследований, а также встраиваться в контрольно-измерительные системы [17].

Выводы

На основании выполненного анализа возможностей акустооптической спектрометрии для анализа состава морской воды можно сделать следующие выводы:

- Акустооптический спектрометр позволяет производить измерение и спектральный анализ в реальном масштабе времени;

- Акустооптический спектрометр позволяет реализовать свойство «произвольного спектрального доступа» т.е. использовать возможность формирования любой выборки спектральных отсчетов;

- Акустооптический спектрометр позволяет в составе лабораторного стенда произвести серию лабораторных тестов для измерения в составе пробы очищенной воды определенной примеси для получения спектров различных примесей в пробе, а далее посредством увеличения количества примесей в воде выявить рисунок той или иной примеси на общем фоне, т.е. осуществить проведение классификацию спектров по типу примеси;

- Результаты выполненного анализа позволяют сделать вывод о возможности проектирования и изготовления акустооптического измерительного канала в составе создаваемого гидролого-оптико-химического комплекса.

Измерительные каналы электропроводности, температуры и давления.

При обсуждении на НТС в Опытно-Конструкторском Бюро Океанологической Техники (ОКБ ОТ), на основании проведенного анализа уровня имеющихся в нашей стране и за рубежом разработок гидрологических (СТД) зондов, пришли к следующему выводу: существующие измерительные каналы СТД зондов обеспечивают решение поставленных перед проектируемой аппаратурой задач и могут быть использованы без доработки в настоящее время в создаваемом гидролого-оптико-химическом зонде.

Существующие гидрологические зонды условно делятся на четыре класса по уровню точности: 1 - высший, 2 - средний, 3 - минимальный, и 4 - ненормированный. Зонды СТД 1- класса соответствуют уровню, который предполагает проведение океанологических исследований по международным программам [4].

СТД зонды первого (высшего) уровня требуют наличие специального метрологического оборудования, позволяющего обеспечить калибровку измерительных каналов со следующими характеристиками:

Температура – в диапазоне $-2 \dots +36$ 0С с погрешностью 0,001 0С.

Электропроводность - в диапазоне $1 \dots 65$ мСм/см с погрешностью 0,003 мСм/см.

Давление – в диапазоне $0 \dots 6000$ дбар. с погрешностью 0,05 %.

Метрологическое оборудование такого уровня имеется во ВНИРО и ФГУП ОКБ ОТ РАН. Кроме того, при измерениях СТД-зондами температуры, электропроводности и гидростатического давления с приведенными погрешностями измерений, обеспечивают вычисление вторичных параметров: солености, плотности и скорости звука с необходимой точностью [8].

Для целей, сформулированных в ТЗ настоящего договора интерес представляют зонды 2-го класса. 2-й класс - это средний уровень, не требующий наивысших метрологических характеристик.

Таблица 1. Требования к основным характеристикам зондов в соответствии с их классом и масштабом исследуемых процессов (согласно [8]).

Уровень требований (класс)	Погрешность измерений			Глубина, м (макс)
	Температура °С	Электропроводность, мСм/см	Давление МПа·10 ²	
WOCE	0,002	0,001-0,003	3	6000
Высший (1)	0,002-0,005	0,002-0,005	0,42-1,5	3000
Средний(2)	0,005-0,01	0,005-0,01	1-2	2000
Минимальный(3)	0,01-0,05	0,01-0,04	1-3	1000
Ненормированный (4)	0,1-0,2	0,5-1,0%	3	30-200

Также представляется перспективным использование в комплексе измерительных модулей температуры (ОТМ), электропроводности (ОСМ), давления (ОПМ) фирмы FSI.

Эти модули представляют собой измерительные каналы с выходным интерфейсом RS-232, их заявленная точность с запасом обеспечивает выполнение требований ТЗ на комплекс в отношении измерения температуры, электропроводности и давления. Именно такие модули (или подобные им) целесообразно приобрести у стороннего производителя для использования в составе комплекса.

Измерительный канал растворенного в воде кислорода.

Для измерения растворенного в морской воде кислорода в измерительных комплексах традиционно используются электрохимические (полярографические, гальванические,

микроэлектродные) датчики. Однако они имеют ряд недостатков, связанных с необходимостью постоянного притока воды, а также малым сроком службы мембраны и электролита. Кроме того, они требуют частой калибровки.

Хорошей альтернативой электрохимическим датчикам являются флюоресцентно-оптоэлектродные датчики. Принцип действия датчиков основан на активном гашении флюоресценции кислородом. Регистрация флюоресценции осуществляется с помощью особого порфиринового комплекса, запрессованного в газопроницаемую полимерную пленку. Такие флюоресцентные датчики получили название оптодов.

Их преимущества:

оптоды не поглощают кислород, т.е. не требуют постоянного омыва чувствительного элемента

менее подвержены обрастанию

имеют большую временную стабильность, поэтому не нуждаются в частых калибровках

менее подвержены влиянию гидростатического давления

Таким образом, оптоды весьма перспективны для использования в разрабатываемом многоканальном комплексе.

В настоящее время практически единственными коммерчески доступными датчиками являются приборы фирмы Aanderaa instruments A/S (Норвегия).

Программно-математическое моделирование работы комплекса. Моделирование программно-математического обеспечения судовой системы сбора и обработки данных.

В данном разделе приведены результаты работы над первой версией программного обеспечения персонального компьютера судовой системы обработки данных и управления комплекса (программа AQUA). В процессе разработки измерительных каналов и интеграции каналов и модуля управления, сбора и обработки данных, судовой системы сбора и обработки данных программное обеспечение будет окончательно доработано.

Алгоритм работы комплекса выглядит следующим образом: оператор комплекса задает управляющие команды комплексу через экранный интерфейс программы AQUA. Эти команды через интерфейс Ethernet подаются на модуль управления, сбора и обработки данных погружаемого устройства. В обратную сторону поступают данные с измерительных каналов и информация с аварийного контроллера о

потребляемых измерительными каналами токах. Эти данные записываются в файлы персонального компьютера и отображаются программой AQUA или специализированными программами математической обработки.

На данном этапе отрабатывалась первая версия компоновки пользовательского интерфейса и моделирование обмена данными со стандартными программами математической обработки.

Назначение программы

Разработанное программно-математическое обеспечение (в дальнейшем AQUA, ПРОГРАММА или ПРОГРАММА AQUA) предназначено:

Для визуализации экспериментальных данных и дополнительной служебной информации, формируемых аппаратной частью судовой системы сбора и обработки данных (в дальнейшем СИСТЕМА СБОРА), на персональном компьютере;

Для выполнения математической обработки экспериментальных данных, формируемых СИСТЕМОЙ СБОРА, на персональном компьютере;

Для обеспечения возможности файлового обмена между ПРОГРАММОЙ и стандартными программами математической обработки (MathCAD®, Maple® и MathLAB®).

Цели текущего этапа разработки

Целями текущего этапа разработки являлись:

Разработка концепции пользовательского интерфейса ПРОГРАММЫ;

Осуществление экспорта данных ПРОГРАММЫ в файл.

Реализация файлового обмена между ПРОГРАММОЙ и стандартными программами математической обработки;

Спроектировано работоспособное программное обеспечение (программа AQUA), его дальнейшая модификация будет проводиться по мере отладки отдельных частей комплекса.

Заключение

Коллектив лаборатории Методологии и технических средств океанологических исследований ИО РАН приступил к выполнению научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР) «Многоканальный гидролого-оптико-химический комплекс

для проведения океанологических и экологических исследований на подвижных измерительных платформах» в мае 2008 года.

В работе принимали участие также сотрудники ОКБ ОТ РАН: Леденев В.В., Воробьев И.И., Аистов Е.А. – проектирование механических конструкций; Афанасьев В.Н, Опенова Л.Н. – проектирование схемотехники электронных блоков, Ильин И.А. – проектирование схемотехники нормализующего контроллера и программирование интерфейса Ethernet. Кроме того, инженеры: Животовский И.И – проектирование оптических схем и оптико-механических узлов; Пугачев В.В. – программирование встроенных микроконтроллеров измерительного канала показателя ослабления направленного света и центрального контроллера модуля управления, сбора и обработки данных.

Проект входит в Целевую научно-техническую программу «Разработка уникальных научно-исследовательских приборов и оборудования для учреждений РАН», утвержденную Президентом РАН 27.03.2008 г.

Проект запланирован на три года 2008 – 2010 с финансированием 28 млн. рублей, 25 млн. рублей по Программе Президиума РАН и 3 млн. рублей из привлеченных средств Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

В 2008 году в соответствии с планом работ по проекту было выполнено два этапа:

1 Этап Аналитический обзор, исследование и разработка принципов построения подводных гидрооптических комплексов. ЧТЗ на составные части;

2 Этап Эскизный проект, Обзор существующих методов и средств гидрохимических исследований, Разработка и изготовление макета измерительного канала ослабления направленного света. Разработка модуля управления, сбора и обработки данных. ЧТЗ на лабораторный стенд для исследования технических характеристик гидрооптических каналов.

Работы 2008 года были полностью выполнены и руководству Института и Президиума РАН представлены соответствующие отчеты.

В 2009 году финансирование проекта было приостановлено, но работы продолжались при минимальной финансовой поддержке руководством Института.

В настоящее время изготовлен макет модуля управления, сбора и обработки данных, макет измерительного канала показателя

ослабления направленного света. Намечены направления работы по измерительным каналам идентификации элементов взвеси и акустооптического спектрометра, подготовлено частное техническое задание на лабораторный стенд для исследования технических характеристик гидрооптических каналов.

В качестве вывода на сегодняшний день можно сказать следующее:

Работа по созданию принципиально новых измерительных каналов реальна и может быть коллективом лаборатории выполнена в запланированные сроки при условии сохранения финансирования проекта;

Созданная измерительная аппаратура может осуществлять наряду с контролем изменчивости параметров гидрофизических полей измерение и регистрацию *in situ* количественного и качественного состава минеральных и органических частиц взвеси в морской воде, т.е. осуществлять экологический мониторинг контролируемой акватории моря с адресным указанием источников загрязнений;

Новая измерительная техника позволит лаборатории принимать участие в реализации грантов и международных проектов на принципиально новом уровне.

Литература

Войтов В.Н. Обзор результатов исследования прозрачности вод, выполненных в районе работ 5-го рейса НИС "Дмитрий Менделеев" // Гидрофизические исследования в Атлантическом и Тихом океанах. М., Наука. 1974.

Зеленчук В.С. Погружаемые измерители первичных гидрооптических характеристик морской воды и метрологическое обеспечение измерений Автореферат на соискание учёной степени кандидата технических наук, специальность 01.04.05 – оптика, Москва 1992 г.

Иванов А.П. Физические основы гидрооптики. Минск. Наука и техника. 1975.

Левашов Д.Е. «Техника экспедиционных исследований» Москва. Издательство ВНИРО. 2003г. 399стр.

Маньковский В. И., Владимиров В. Л., Афонин Е. И. и др. Многолетняя изменчивость прозрачности воды в Черном море и факторы, обусловившие ее сильное снижение в конце 80-х начале 90-х

годов. – Севастополь. 1996. – 32 с. – (Препринт / НАН Украины. Мор. Гидрофизический институт).

Нелепо Б.А., Смирнов Г.В., Шадрин А.Б. «Интегрированные системы для гидрофизических исследований». Ленинград. Гидрометеоздат. 1990г., 240 стр.

Смирнов Г.В., Спиридонов В.В. «Аппаратура для измерения гидрооптических характеристик». Владивосток, Наука, 1994г., 104 стр.

Смирнов Г.В., Еремеев В.Н., Агеев М.Д., Коротаев Г.К., Ястребов В.С., Мотыжев С.В. Монография «Океанология. Средства и методы океанологических исследований» Москва, Наука, 2005г. 795 стр.

Смирнов Г.В и др. Авторское свидетельство на изобретение «Зондирующий комплекс профиля скоростей течения» №1070484 от 1 октября 1983 года.

Смирнов Г.В и др. Авторское свидетельство на изобретение «Комплекс автономных измерителей течения» от 22 февраля 1985 года.

Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Л., Гидрометеоздат, 1983. 246 с.

Beckman Coulter. RapidVUE® Particle Shape and Size Analyzer. (http://www.beckmancoulter.com/products/instrument/partChar/pc_rapidvue.asp).

Enson Chang, Randall J. Patton and Robert L. Gran A moored optical particle flux instrument SPIE Vol. 2258 Ocean Optics XII (1994)/ 831

Tatsuro Akiba Submersible Microscopes & Image Processing Technologies SEA TECHNOLOGY March 1999 p.61-63

U.S.Patent No.: US6,680,795 UNDERWATER MICROSCOPE SYSTEM

Vladimirov V.L., Mankovsky V.I., Solov`ev M.V., Mishonov A.V. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Sensitivity of North Sea, Baltic Sea and Black Sea to Anthropogenic and Climatic Changes. 1997 Kluwer Academic Publisher p.33.

<http://www.sigma-optic.ru/> - акустооптические спектрометры

«SHARK MARINE» - СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ДЛЯ МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОВЕДЕНИЯ ПОДВОДНЫХ РАБОТ

Хони Дж., Водяная Е., Вортман М.

«Shark Marine Technologies Inc.», Канада, Онтарио;
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН;
ООО «Подводная техника» 117997, Москва, Нахимовский пр., 36

В этом году фирма «Shark Marine» отмечает 25-летие своей деятельности. Фирма «Shark Marine» была основана для того, чтобы обеспечивать оборудованием одно из наиболее быстро развивающихся направлений исследований – морских исследований.

С момента основания компании в 1984 году задачей фирмы было поставлять самое современное, высококачественное, надёжное и доступное океанографическое оборудование.

За эти годы «Shark Marine» добилась огромного успеха и международного признания за разработки в области подводных технологий и опыт в проведении натуральных исследований. Как производитель, фирма достигла значительных успехов в разработке подводного видеооборудования, аппаратов с дистанционным управлением (ROV) и других исследовательских систем.

Значительно расширилась область интересов клиентов фирмы «Shark Marine» и сейчас включает в себя такие направления как разведка нефтяных и газовых месторождений, мониторинг окружающей среды, поисково-спасательные работы, обнаружение затопленных судов и других объектов, обслуживание трубопроводов, коммерческий дайвинг и многое, многое другое, а также магнитометрическая и гидролокационная съёмка. Фирма имеет заказчиков во всех частях света, а поставляемое оборудование работает как в тропических водах, так и в водах Арктики.

Далее приведем примеры некоторого поставляемого фирмой «Shark Marine» оборудования, которое отвечает современным требованиям к методам и средствам исследований океана и морских работ.

Подводные аппараты с дистанционным управлением (ROV)



STEALTH2 ROV

Stealth2 – один из самых многофункциональных аппаратов с дистанционным управлением на сегодняшнем рынке. Он отличается небольшими размерами, однако это не сказывается на его характеристиках и возможностях. Несмотря на небольшой размер, этот ROV обладает всеми возможностями и функциями, которые имеются у значительно больших по размеру аппаратов. Stealth ROV готов к работе с таким дополнительным оборудованием как сканирующий сонар, «рука» манипулятора, донный профилограф и система позиционирования. Такие дополнительные возможности нечасто можно встретить у аппаратов такого размера. Габариты и вес этого ROV позволяют работать с борта небольших лодок или даже надувной лодки, а перевозить этот аппарат можно практически на любом транспорте..



SEAWOLF2 ROV

The Sea-Wolf ROV – многоцелевой, легко адаптируемый аппарат, который несмотря на небольшие размеры, обладает большой тягой. Аппарат комплектуется - 4 двигателями мощностью по 1 л.с., благодаря которым по силе тяги этот аппарат превосходит все другие аппараты, габариты которых лежат в размерном диапазоне 0,9 м X 0,6 м X 0,54 м. Бортовой компьютер обеспечивает вывод на монитор всех данных, а также регистрацию таких параметров как авто-глубина, авто-курс, авто-погружение, он оснащен программным обеспечением вывода на экран комментариев и записи результатов, то есть фактически составляет отчет о работе.



SEA-DRAGON ROV

Sea-Dragon ROV – представляет собой аппарат, состоящий из модулей, что обеспечивает простоту эксплуатации и использования на нем

дополнительного оборудования. ROV оснащен четырьмя двигателями, каждый мощностью 2 л.с., и имеет осветители - 500 W спереди и 250 W сзади. Этот аппарат может быть укомплектован несколькими камерами для контроля движения вперед, назад, для контроля работы манипулятора, для получения 3D изображения и увеличения изображения. Кабель связи - оптоволоконный, благодаря чему он может быть большой длины. Sea-Dragon является платформой для создания самых различных ROV, предназначенных для обслуживания протяженных трубопроводов и может быть укомплектован мощными гидравлическими устройствами.

Дополнительное оборудование для ROV



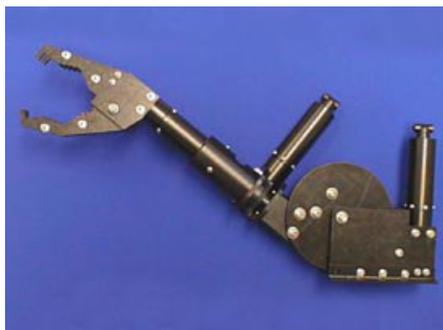
Кабели и Кабельные катушки

Кабельные катушки, изображенные на рисунке, - вариант облегченных катушек с токосъемником. Они могут быть с электрическим или ручным приводом. В дополнительные опции входят монтажная рама и тросоукладчик. Возможно изготовление кабельных катушек больших размеров с различными дополнительными опциями.



Спуско-подъемные устройства - Launch and Recovery System (LARS)

Кроме кабельных катушек и лебёдок, фирма поставляет также спуско-подъемные системы LARS. LARS – мобильная, самоподнимающаяся А-рама, предназначенная для спуска и подъёма Shark Marine Sea Wolf2 и других ROV среднего размера. Системы LARS могут быть или только гидравлическими, или электрогидравлическими - в соответствии с задачами.



«Рука» - Манипулятор

Манипулятор – очень важное дополнение к любому аппарату, так как дает возможность не только брать различные предметы, но и распутывать кабель аппарата. Манипуляторы имеют различные функции: «рука» с одной функцией имеет только открывающийся и закрывающийся захват; с двумя функциями – захват и запястный шарнир; с тремя функциями – захват, запястье и локоть. Есть манипуляторы с устройством для резки троса, а есть такие, в которых это устройство вмонтировано в захват. Кроме того, фирма может изготовить «руки» и захваты для специального применения.



Многолучевые сонары

P450 (частота 450KHz) – прекрасное решение для обнаружения объектов средних размеров, ориентирования и навигации под водой. Многолучевой сонар P450 выдает на дисплей до 10 кадров в секунду, при этом картинка - очень высокого качества.



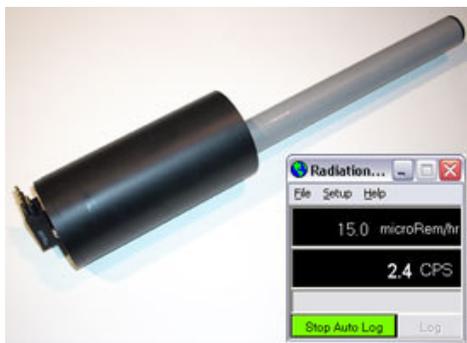
Сканирующие сонары

Сканирующий сонар является непременным атрибутом любого подводного аппарата. Он дает возможность оператору «видеть» за пределами оптической видимости и в мутной воде. Один из сонаров, изображенный на картинке, имеет габариты всего 8см x 18см, однако диапазон его рабочей глубины достигает 200 метров, а его частота может варьироваться от 285kHz до 1.1 MHz. Работает сонар в различных режимах – секторном, круговом и в режиме бокового обзора. Существует и миниатюрный сонар, вес которого в воде не превышает 0,2кг



Устройство для отбора проб осадков

Пробоотборник, устанавливаемый на аппарат Stealth2 ROV – представляет собой устройство с вращающимся модулем, на котором можно разместить до трёх пробоотборников. Существует два вида пробоотборников: единичный – с трубкой диаметром 50 мм. (внутренний диаметр) и тройной – с тремя трубками диаметром 20 мм. (внутренний диаметр). Этот пробоотборник предназначен для мягкого грунта и может отобрать пробу с глубины до 16 см в зависимости от плотности осадков. Пробоотборник легко монтируется и демонтируется на Stealth ROV .



Радиационный Детектор

Shark Marine Radiation Detector – устройство, работающее по принципу "включай и работай" для измерения гамма-излучения. Этот Детектор может быть установлен на передней части Stealth 2 ROV или Seawolf 2 ROV (возможны другие варианты монтажа) Детектор поставляется с программой записи и вывода на дисплей зарегистрированных уровней радиации. Программа может быть запущена на пульте управления самого аппарата или на отдельном компьютере с USB портом.



Системы позиционирования

Существует несколько акустических систем позиционирования: Ultra Short Base Line (USBL), Long Base Line (LBL), Pinger Based Systems (PBS) и другие. Задача всех этих систем – обеспечить оператора информацией о местоположении ROV относительно судна.

Требуемая степень точности определяет вид системы позиционирования. Фирма может предложить наиболее подходящую для ваших задач систему. Сканирующий сонар также может быть использован как система позиционирования при определенных условиях использования ROV.

Магнитометры



SDM-4000 – Цифровой Магнитометр

Предназначенный специально для обнаружения аномалий магнитного поля земли SDM-4000 - превосходный экономичный инструмент для обнаружения металлических (содержащих железо) предметов, лежащих на дне или заглубленных в грунт. Этот магнитометр работает до глубины 1200 м. Депрессор предназначен для принудительного заглубления магнитометра в процессе буксировки, что позволяет значительно уменьшить количество кабеля, необходимое для достижения заданной глубины.



SM-10 Mag-Stick

Shark Marine SM-10 предназначен для обнаружения железосодержащих предметов небольшого размера под землей, под водой или в снегу.

Гидролокаторы бокового обзора



SportScan

Этот цифровой гидролокатор бокового обзора с высоким разрешением. Благодаря высокому качеству, простоте использования, малому весу и небольшим габаритам он пользуется большим спросом. Выпускается в двух вариантах – одночастотном (330 kHz) и двухчастотном (330 и 800 kHz). Рабочая глубина этого сонара – до 30 м, полоса обзора – до 240 м. Работает непосредственно с персональным компьютером. Все, что ему нужно это источник питания 12В, 0,3А.



YELLOW FIN

После огромного успеха ГБО SportScan, была разработана система ГБО, со значительно большим диапазоном рабочих глубин. Такой системой стал трехчастотный гидролокатор YellowFin с высоким разрешением, с рабочей глубиной до 300 м. А длинный кабель (до 1000 м) легко умещается на кабельной катушке в контейнере, как показано на рисунке, что упрощает транспортировку системы.

Кроме представленного оборудования фирма поставляет различные эхолоты, навигаторы, видеокамеры, корпуса для видеокамер, подводные светильники и многое другое.

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ СЕРИЙНЫЕ ОБРАЗЦЫ СИСТЕМ ДЛЯ ОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ СРЕДСТВ

Вельтищев В.В.

Научно-исследовательский институт специального
машиностроения Московского государственного технического
университета им. Н.Э. Баумана (НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана),
107005 Москва, Госпитальный пер. 10, тел./факс (499) 263-61-15

Сейчас на российском рынке практически отсутствуют отечественные серийные образцы подводных систем. В этих условиях при создании обитаемых и необитаемых подводных аппаратов (ПА) приходится или разрабатывать свои конструкции практически всех составных частей или использовать импортные комплектующие. К сожалению, тенденция распространения в РФ зарубежной подводной техники, как на уровне отдельных элементов, так и самих ПА продолжает развиваться. Единственной альтернативой этому процессу будет создание отечественной элементной базы. Естественно, что технические характеристики таких компонентов ПА должны соответствовать всем современным требованиям, а их ценовые показатели должны быть конкурентоспособны с импортными аналогами.

НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана сделал первые шаги в этом направлении. В рамках выполнения Государственного заказа РФ институт разработал серию подводных систем, которые успешно прошли все приемо-сдаточные испытания и в настоящее время уже начали тиражироваться. Хотя все эти системы ориентированы, прежде всего, для использования в составе спасательного обитаемого ПА, они могут быть адаптированы и для установки на тяжелом телеуправляемом необитаемом подводном аппарате.

Одним из разработанных изделий является многофункциональный манипуляционный комплекс УПМУ-1Л (рисунок 1). В состав комплекса входят: два исполнительных устройства (манипулятора) со сменным инструментом, насосная станция, пульт управления. Оба исполнительных органа конструктивно идентичны и имеют семь степеней подвижности. Грузоподъемность каждого исполнительного органа составляет не менее 30 кгс. В конструкции исполнительных органов применены высококачественные комплектующие импортного и отечественного производства, оригинальные безлюфтовые силовые механические передачи типа «рейка – шестерня», что в итоге позволило обеспечить высокую точность обработки задающих воздействий. Управление движением каждого исполнительного органа осуществляется своей многостепенной задающей рукояткой (рисунок 3). Микропроцессорная система управления реализует несколько режимов управления движением исполнительных органов, включая

возможность записи желаемых траекторий движения исполнительного органа в режиме обучения для последующего их многократного программного воспроизведения. Высокоинформативный интерфейс пульта управления (рисунок 2) дает возможность оператору осуществлять контроль всех параметров манипуляционного комплекса и отображение в 3D формате текущей пространственной геометрии исполнительных органов.



Рис.1. Исполнительные органы, установленные на ПА



Рис. 2. Пульт управления



Рис. 3. Задающий орган

Кроме манипуляционного комплекса статус серийного образца имеет подводный видеокомплекс ТАД-1Л. В его состав входят объединенные в единую видеосистему видеокамеры в боксах, устройства отображения и документирования видеоинформации. В зависимости от выполняемой функции видеокамеры с источниками света могут быть установлены на ПА по различным конструктивным схемам:

- неподвижно (рисунок 4);
- на однокоординатное (наклонное или поворотное)

устройство (рисунок 5).

В видеосистеме использованы современные камеры высокого разрешения и эффективные подводные светодиодные светильники. Приводы устройств наклона и поворота видеокамер реализованы на базе вентильных электродвигателей с микропроцессорным управлением. Видеокомплекс имеет встроенную систему самодиагностики по нескольким параметрам, включая величину сопротивления изоляции электрических цепей кабелей.



Рис. 4. Неподвижный видеомодуль



Рис. 5 Поворотный видеомодуль

Рассмотренные выше системы поставляются с полноценным комплектом запасных частей и обеспечиваются гарантийным, а также послегарантийным техническим обслуживанием.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СПАСАТЕЛЬНОГО ГЛУБОКОВОДНОГО АППАРАТА «ПРИЗ»

Голдовский Б.И.

ОАО «ЦКБ «Лазурит»
ул. Свободы, 57, Нижний Новгород, 603003
Тел./факс: (831) 273 23 00
E-mail: CDB@Lazurit.sci-nnov.ru

Assessment of the results of full-scale trials of the prototype upgraded DSRV of Project 18551 with review of problematic issues of equipment development is presented.

Модернизация спасательных глубоководных аппаратов (СГА) «Приз» проекта 1855 предусмотрена директивой командования ВМФ России, подготовленной после аварии АПЛ «Курск» и направленной на укрепление средств поисково-спасательного обеспечения флота.

Главной задачей модернизации была замена физически и морально устаревшего радиоэлектронного оборудования, применение новой системы жизнеобеспечения, повышение эффективности выполнения поисковых и подводно-технических работ, а также спасательных операций.

Первым модернизацию по проекту 18551 прошел головной СГА АС-28, срок службы которого к моменту начала модернизационных работ составил 20 лет, что на 5 лет превысило проектную величину.

Этот аппарат прошел всесторонние натурные испытания в 2008 году и, дополнительно, в 2009 году. Проведенные испытания фактически выявили достигнутый уровень применения современных цифровых технологий на российских обитаемых подводных аппаратах, поскольку оборудование СГА проекта 18551 создавалось на базе прототипов, примененных ранее на автономном глубоководном аппарате проекта 18610 «Русь».

Результаты испытаний подтвердили успешную реализацию новых технических решений по рабочим манипуляторам, телевизионной системе, системе звукоподводной связи и

пеленгования, системе жизнеобеспечения и по оборудованию для спасательных операций.

Манипуляторное устройство УПМУ-1Л, созданное НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана (далее НИИСМ), с семью степенями свободы и электронным управлением, существенно расширяет возможности выполнения подводно-технических работ и повышает их производительность.

Телевизионная система ТАД-1М, созданная тем же институтом, обеспечивает принципиально новое качество наблюдения за окружающей обстановкой. Применение телевизионной системы позволило также отказаться от подводного перископа, который загрождал рабочее место оператора СГА.

Система звукоподводной связи и пеленгования «Структура-СВП», созданная ОАО «НИИ Гидросвязи» «Штиль», позволяет более устойчиво и на больших расстояниях осуществлять связь с надводными судами и ПЛ, а также пеленгование аварийных сигнализаторов и гидроакустических маяков. Система обеспечивает работу также на международных частотах, включая частоты НАТО.

Система жизнеобеспечения (СЖО), созданная с участием ОАО «Росхимзащита», с отдельными подачей кислорода и поглощением углекислоты, обеспечивает поддержание приемлемых параметров дыхания при избыточном давлении в спасательном отсеке аппарата до 0,6 МПа. Для сравнения: применявшиеся ранее регенеративные установки практически были работоспособны только до величины избыточного давления 0,2 МПа. В новую систему СЖО входят также дыхательные маски, что обеспечивает поддержание жизнедеятельности в задымленном отсеке. Следует, однако отметить, что новое оборудование СЖО занимает в спасательном отсеке гораздо больше места, чем прежнее, так что места для спасаемых оказались затесненными. На взгляд проектантов СГА требования заказчика, в соответствии с которыми создавалась новая система жизнеобеспечения, являются несколько завышенными. Во всяком случае, на зарубежных спасательных аппаратах СЖО выглядит проще и занимает меньше места.

Для повышения эффективности спасения подводников на СГА применено новое устройство центрирования и подтягивания, которое может выдвигаться за плоскость стыковочного фланца камеры присоса на величину более 0,5м. С помощью этого устройства, которое представляет собой упрощенный манипулятор, можно подтянуть СГА

проекта 18551 к комингс-площадке аварийной ПЛ на угол до 15 град. Это заметно расширяет возможности посадки аппарата на наклоненную комингс-площадку в условиях подводного течения (рис.1).

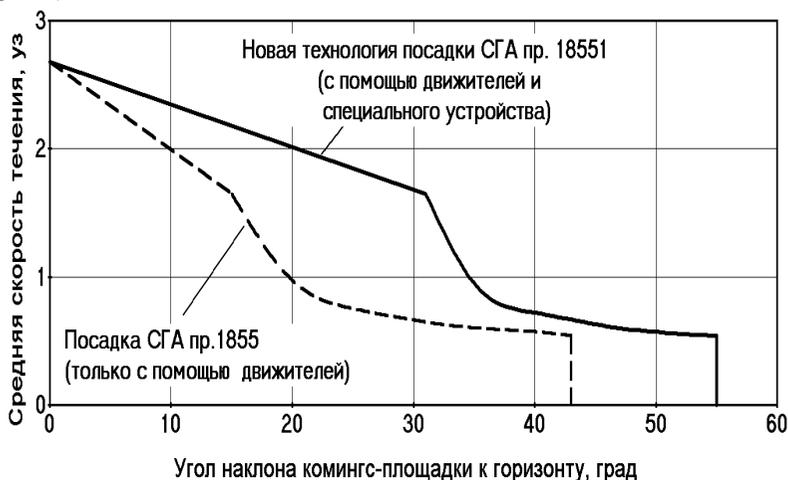


Рис. 1 – Зависимость между средней (по курсовым углам) скоростью течения и углом наклона комингс-площадки к горизонту, при которых возможна посадка СГА

В отличие от рассмотренного выше оборудования работу навигационного комплекса, систем видеонавигации, а также автоматического управления движением аппарата полностью успешной признать нельзя. При использовании серийного навигационного комплекса «Зенит-У», созданного ОАО «ЦНИИ «Электроприбор», выявилось несоответствие параметров гидроакустического лага условиям эксплуатации СГА. Кроме того, заказчики и разработчики этого навигационного комплекса не предусмотрели в его составе инерциальной системы (БИНС), позволяющей достаточно точно определять координаты аппарата в процессе погружения до того момента, когда гидроакустический лаг сможет начать определять абсолютные скорости движения аппарата. Поэтому при переходе СГА в подводное положение фактически происходит потеря координат места, определенных на поверхности с

помощью системы спутниковой навигации. По результатам испытаний комиссия Государственной приемки рекомендовала заменить лаг «Зенит-ГАЛ» на другую модификацию, менее чувствительную к наклонам аппарата и работающую в большем диапазоне глубин.

Для определения параметров движения аппарата вблизи дна или подводного объекта, где гидроакустический лаг навигационного комплекса «Зенит-У» не может работать, на СГА установлена система видеонавигации «СОТИ-С» разработки НИИСМ. Отработка системы началась еще во время испытаний глубоководного аппарата «Русь» и продолжилась при испытаниях СГА АС-28. Режим выдачи величин перемещений аппарата (на основе анализа изменения видеок кадров телевизионной стереопары) реализовать удалось. Не удалось, однако, осуществить режим определения параметров комингс-площадки на основе анализа видеоизображения стандартного белого круга, нанесенного по периметру стыковочного кольца комингс-площадки. Соответственно не удалось также осуществить автоматическую посадку СГА АС-28 на комингс-площадку. Очевидно, задача анализа видеоизображения кольца оказалась слишком сложной.

Проблему автоматической посадки СГА удалось решить с помощью системы видеонавигации, использующей другой принцип: анализа видеоизображения специальных реперных знаков, нанесенных на обтекатель верхней крышки спасательного люка ПЛ. Система автоматической посадки (САП), созданная Институтом космических исследований РАН, прошла успешные испытания в 2008 году на СГА проекта 1855 АС-34.

Цифровая система управления движением и техническими средствами (СУД и ТС) «Флюорит-550», созданная ОАО «НПО «Аврора», заменила на аппарате аналоговую систему «Рутил» (того же разработчика и изготовителя). Поскольку геометрия и энергетическая установка СГА при модернизации не изменялись, ожидалось, что законы управления, примененные в СУД и ТС «Рутил» и отработанные в процессе эксплуатации, будут работать и в системе «Флюорит-550». Это было подтверждено и компьютерным моделированием, выполненным при разработке СУД и ТС. Однако, в ходе натурных испытаний все законы пришлось существенно корректировать. Изменились и параметры работы лаговых движителей в режимах стабилизации курса и/или стабилизации в точке: частота изменения оборотов гребных винтов увеличилась в 2...4 раза по сравнению с СГА, оборудованным системой «Рутил». Выросла и

амплитуда изменения оборотов. Все это заметно ухудшило условия работы экипажа, а также увеличило расход электроэнергии.

Анализ результатов испытаний показал, что причиной выявленного изменения работы двигателей при управлении СУД и ТС «Флюорит-550» явился дискретный характер данных, поступающих от навигационного комплекса (с частотой 1-5 Гц). Очевидно, что традиционная структура законов управления движением подводного аппарата не может применяться без соответствующей предварительной обработки дискретных сигналов, характерных для цифровой электронной техники. Необходимо также при компьютерном моделировании работы системы управления движением обязательно имитировать этот дискретный характер данных, поступающих в систему.

Планировалось также в составе СУД и ТС «Флюорит-550» создать подсистему информационной поддержки оператора при посадке СГА на комингс-площадку в аварийных условиях. Предполагалось по данным о параметрах подводного течения, о проекте ПЛ и о ее положении на грунте обеспечить планирование спасательного рейса и выбор оптимального способа посадки. Все алгоритмы и данные для информационной поддержки были разработаны ОАО «ЦКБ «Лазурит». К сожалению, разработчик СУД и ТС не сумел завершить работу над этой подсистемой, очевидно, из-за сложности задачи.

Следует, однако, отметить, что при создании системы автоматической посадки специалисты ИКИ РАН при минимальном объеме консультаций с проектантом СГА сумели сами разработать алгоритмы посадки и ряд алгоритмов информационной поддержки оператора.

Поскольку пульты радиоэлектронного оборудования создавались каждым разработчиком самостоятельно и в предположении, что его пульт будет находиться напротив оператора, общая компоновка поста оператора получилась не самой удачной. В частности, изображение на дисплее СУД и ТС оказалось слишком мелким, затрудняющим восприятие информации.

Несмотря на отмеченные недостатки, применение нового оборудования, в том числе – цифрового радиоэлектронного вооружения, существенно повысило функциональные возможности СГА «Приз». Особенно – возможности выполнения поисковых и подводно-технических работ.

Анализ результатов модернизации СГА по проекту 18551 позволяет сделать ряд выводов, которые могут быть полезны при проведении аналогичных работ в дальнейшем.

Во-первых, при разработке системы управления движением подводного аппарата необходимо применять специальные алгоритмы обработки входной дискретной информации, снижающие реакцию управляющего сигнала на резкое изменение первой производной. Кроме того, необходимо применять фильтры, учитывающие особенности динамики аппаратов и позволяющие «срезать» выбросы величин изменения скорости, выдаваемых абсолютным лагом, который, как правило, не устойчиво работает на малых скоростях, характерных для режима позиционирования аппарата.

Во-вторых, пост оператора подводного аппарата необходимо формировать как интегральную систему, с оптимизацией видеоинформации, выдаваемой на дисплеи пультов, с учетом решаемых задач и расположения относительно оператора.

Результаты испытаний головного СГА проекта 18551 АС-28 и сделанные на их основе выводы учтены при создании нового СГА проекта 18271, который по существу может быть отнесен к четвертому поколению российских спасательных подводных аппаратов.

Модернизация спасательных глубоководных аппаратов (СГА) «Приз» проекта 1855 предусмотрена директивой командования ВМФ России, подготовленной после аварии АПЛ «Курск» и направленной на укрепление средств поисково-спасательного обеспечения флота.

Главной задачей модернизации была замена физически и морально устаревшего радиоэлектронного оборудования, применение новой системы жизнеобеспечения, повышение эффективности выполнения поисковых и подводно-технических работ, а также спасательных операций.

Первым модернизацию по проекту 18551 прошел головной СГА АС-28, срок службы которого к моменту начала модернизационных работ составил 20 лет, что на 5 лет превысило проектную величину.

Этот аппарат прошел всесторонние натурные испытания в 2008 году и, дополнительно, в 2009 году. Проведенные испытания фактически выявили достигнутый уровень применения современных цифровых технологий на российских обитаемых подводных аппаратах, поскольку оборудование СГА проекта 18551 создавалось на базе прототипов, примененных ранее на автономном глубоководном аппарате проекта 18610 «Русь».

Кратко итоги модернизации можно сформулировать следующим образом:

- успешно реализованы новые технические решения по рабочим манипуляторам, телевизионной системе, системе звукоподводной связи и пеленгования, системе жизнеобеспечения и по спасательным операциям;
- работу навигационного комплекса, систем видеонавигации, а также автоматического управления движением аппарата полностью успешной признать нельзя;
- не удалось реализовать новые предложения по информационной поддержке оператора СГА при посадке на подводную лодку.

Результаты испытаний головного СГА проекта 18551 АС-28 учтены при создании нового СГА проекта 18271, которого можно отнести к четвертому поколению российских спасательных подводных аппаратов.

СОВРЕМЕННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА ААДИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ

Андерс Тенгберг*, Никитин П.А. **

*ААДИ, Берген, Норвегия и Университет Гётеборга, Швеция
Тел. +46 703466372, Факс +47 93378383, anderste@chem.gu.se

**Компания Инфомар, Москва, Россия
Тел,Факс +7 495 940 0565, infomar.ntc@gmail.com

Спровоцированные человеком климатические изменения и возрастающее использование ресурсов Мирового океана увеличили необходимость мониторинга и управления морской среды. В метеорологическом моделировании и прогнозе морские модели должны поддерживаться и верифицироваться натурными данными надлежащего объема и качества. Десятилетиями регулярные наблюдения за состоянием морской среды велись с научных судов по стандартным схемам. Однако, все более очевидной становится недостаточность пространственного и временного охвата таких

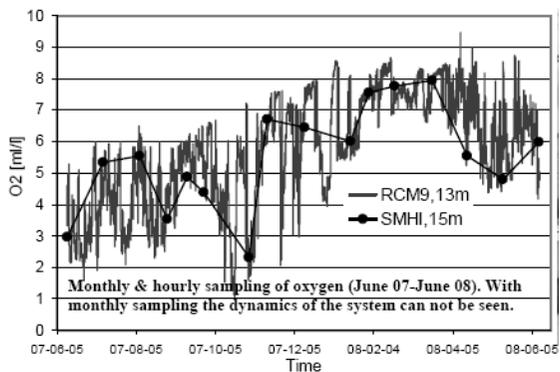
данных. Необходим непрерывный мониторинг и есть инструментальные технологии, позволяющие осуществлять это.

Целью настоящего сообщения является информация о внедрении усовершенствованной измерительной аппаратуры, объединяющей использование акустических, оптических и традиционных датчиков для долгосрочного (несколько лет) автономного мониторинга, а также примеры, когда океанографические и метеорологические измерения осуществляются параллельно и представлены в оперативном режиме. Представляемые в сообщении датчики, приборы и решения разработаны норвежской компанией Aanderaa Data Instruments (AADI) Берген, Норвегия), которую в России представляет Компания ИНФОМАР.

Долгосрочный морской мониторинг с автономными многопараметрическими платформами.

Компания AADI имеет многолетний опыт обеспечения пользователей высокотехнологичным океанографическим и метеорологическим оборудованием. Многие измерители скорости течения, поставленные 30 лет назад, все еще активно используются. Так, впервые произведенные в 1996 г. доплеровские измерители течений типа RCM 9 и RCM завоевали на рынке репутацию приборов высочайшей надежности и точности, а также и простоты в использовании. Тысячи таких приборов используются ведущими исследовательскими институтами для глубоководных (несколько км) постановок, как правило, длительностью 1-2 года, для измерения скорости и направление течения, температуры, солёности и давления.

Например, уже 15 лет экологическая служба в Хельсинборге (Швеция) осуществляет тщательно разработанную программу морского мониторинга в районе пролива Оресунд, которая включает в себя взятие образцов фауны дна (два раза в год), определение химического состава осадков, включая загрязняющие вещества, стойкие токсины в мидиях и стока с континента. С 2005 г. на одной из станций для ежечасных измерений в придонном слое (на глубине 12м) используется RCM9, дополнительно оснащенный датчиком кислород также измеряется ежечасно в донной воде (на глубине 12 м) на одной из станций.



Последнее десятилетие Шведский Метеорологический и Гидрологический Институт (SMHI) проводит ежемесячные измерения на близлежащей станции. Ставшее возможным сравнение ежемесячных и почасовых измерений показывает, что значение ежемесячных данных ограничено, поскольку изменения (в содержании кислорода, температуре и солености) возникают на значительно более коротких периодах (часы-дни).



SEAGUARD® - новый член семьи высококачественных приборов AADI. Эта платформа накопления данных включает в себя новейшую из имеющихся технологий акустических измерений течения ZPulse™, Plug&Play систему подключения датчиков, возможность on-line получения данных. Все эти функции реализованы без потерь простоты использования и надежности. Для получения достоверных данных даже в экстремальных условиях вибраций и больших наклонов, SEAGUARD имеет интегрированный трехосевой твердотельный компас (разрешением 0.01°) и акселерометр для коррекции измерений течения при перемещениях и наклоне акустической головки с горизонтальной апертурой. Такая технология

расширяет границы применения далеко за пределы того, что было доступно ранее. Сравнительные испытания демонстрируют отличные данные SEAGUARD даже при углах наклона в 50° и больших перемещениях, тогда как для других приборов сложности возникают уже при угле наклона в 20°.

Большинство датчиков, доступных для установки на SEAGUARD, являются уникальными в своем исполнении. OxygenOptod

AADI революционизировал измерения растворенного кислорода благодаря своей надежности и многолетней стабильности. Датчик давления имеет разрешение суб-сантиметровое разрешение даже на океанических глубинах и имеет версии измерителя прилива и волнения. Стандартными также являются датчики температуры и проводимости высокого разрешения. Все они являются «интеллектуальными



датчиками» несущими свои калибровочные константы, идентификаторы и многоканальный выход (например, датчик проводимости выдает также температуру, соленость, скорость звука и плотность) и могут подсоединяться непосредственно к ПК.

Для SEAGUARD применена технология промышленной коммуникации CAN-bus, что обеспечивает подключение до 20 датчиков в автоматически конфигурируемой среде. К прибору могут также подсоединяться до 4-х аналоговых датчиков других производителей (например, мутность, хлорофилл, CDOM, pH). При использовании SEAGUARD, как контроллера измерительной гирлянды, пользователь сам решает, где на кабеле должны располагаться разъемы для датчиков, а затем располагает возможностью автоматического конфигурируемого подключения любого типа смарт-датчиков к этим точкам.

Измерительная гирлянда на базе SEAGUARD создана для подводной обсерватории Aquarius мористее Florida Keys. Пары датчиков OxygenOptode, расположены через 30 метров вдоль магистрального кабеля, будут помещены в местах истекания вод в рифтовой зоне Giant Reef Sponge, для определения расхода растворенного кислорода по разнице в концентрациях (Руководитель проекта – д-р Крис Мартенс, Университет Северной Каролины в Чапел Хилл).

Комбинированные ГидроМетео системы с доступом в реальном времени. В настоящее время возрастает потребность в комбинированных MetOcean системах реального времени в исследованиях, мониторинге и для навигационной безопасности. Параметры очевидной важности для навигационной безопасности – это скорость и направление течения, уровень моря и волнение. В большинстве случаев важно знать параметры течения на разных глубинах, поскольку корабли имеют различную осадку и течения влияют на них по-разному. Существует несколько решений для



получения подобной информации. Один вариант – это использование якорных буев с несколькими (например, 2-5) точечными датчиками течения, установленными под бумом на кабеле, и с метеорологическими датчиками над поверхностью. Эти буи обычно располагаются на подходах к портам и служат для предоставления информации судоводителям. Если измерения течения требуются на

больших глубинах и в сочетании с информацией об уровне и волнах, то предпочтительны доплеровские профилометры у которых нет «дрейфа нуля», не требуется периодическая поверка и они имеют низкую чувствительность к обрастанию.

Доплеровский профилометр AADI RDCP-600 используется как в портах, так и для исследовательских целей т.к. имеет высокое регулируемое разрешение по глубине (до 150 уровней) и может оснащаться дополнительными датчиками солености, температуры, кислорода, мутности. Его преимущество состоит также в возможности измерения волнения, уровня и установке точки отсчета горизонтов измерения течений как от прибора, так и от поверхности воды.

Для систем реального времени AADI реализует как кабельные соединения, так и беспроводные телекоммуникационные системы на базе УКВ радиомодемов, GSM/GPRS связи, спутниковых ССПД Iridium и ORBCOM. Частью таких систем является программное обеспечение AADI GeoView на основе СУБД SQL, которое дает пользователю обширные возможности для включения метео, океанографического или другого измерительного оборудования в сетевые решения, обеспечивающее доступ к данным в реальном времени на базе TCP/IP протокола, т.е. через Интернет.

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ЛИНИИ МОЩНЫХ ТПА ГНОМ

Розман Б.Я., Елкин А.В., Мысливец И.В., Шерстов Е.А.

Учреждение ИО РАН Институт океанологии им. Ширшова П.П. РАН,
117997, Москва, Нахимовский пр. 36, тел. (495) 129-20-45, e-mail
brozman@ocean.ru



Рис.1 ТПА СуперГНОМ Про

Идея данной новой линии аппаратов - использование опыта разработок, эксплуатации и производства семейства малогабаритных ГНОМов для создания новых моделей - мощных и современных ТПА различного назначения, способных нести поисковое и исследовательское оборудование, которое несложно интегрировать в информационную систему. Новые модели имеют 10-15-кратно повышенную мощность по сравнению с существующими моделями при габаритах ROV «мини»-класса.

Основа — конструктивные части и система управления, используемая в существующих гномах (с рядом модернизаций), 300-500- ваттные двигатели фирмы Technadyne и кабель длиной 300-400м. Аппараты рассчитаны для работ на глубинах 300-400м, есть проработки аппаратов для работ на больших глубинах.

Всего в новой линии – 5 моделей, оснащенных двигателями Technadyne и двигателями нашей разработки.

Таблица1 Технические характеристики ТПА СуперГНОМ Про

Модель Характерис- тики	PRO-1- 150	PRO-2- 400	PRO-3- 400	PRO-4- 400	PRO- 3000
Рабочая глубина	150	400	400	400	3000
Длина кабеля	200	450	450	450	3000+10 0
Кол-во движите- лей	1 вертикал. 2 маршевых.	1 вертикал. 2 маршевых.	1 вертикал. 2 маршевых. 1 лаговый	1 вертикал. 4 маршевых. (векторно)	1 вертикал. 2 маршевых.
Тип движите- лей	Геснадупе Бескол- лектор.	Геснадупе Бескол- лектор.	Геснадупе Бескол- лектор.	Геснадупе Бескол- лектор.	Геснадупе Бескол- лектор.
Упор	8кг каждый	8кг каждый	8кг каждый	8кг каждый	8кг каждый
Потреб- ляемая мощность (Вт)	1200	1300	1500	2000	3000
Видео камера	CCD, цветная, высокого разреше- ния. 2 камеры -опция				
Освети- тели	LED. Мощ- ность светово- го потока до 2000				

	люмен	люмен	люмен	люмен	люмен
Компас	Цифровой	Цифровой	Цифровой	Цифровой	Цифровой
Датчик глубины	Пьезодатчик давления				
Режим автоглубины	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Режим автокурса	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Датчики положения	3 акселерометра				
Манипулятор	Типа схват				
ГКО	Tritech Micron или аналог				
ГАНС	Tritech MicroNav или аналог				
Альтиметр	есть	есть	есть	есть	есть
Многолучевой сонар высокого разрешения	Опционально. Blue View или Didson				
Цифровая видеочкамера	Опционально.	Опционально.	Опционально.	Опционально.	Опционально.

высокого разрешения					
Интегрированный компьютер	есть	есть	есть	есть	есть
Запись на цифровой носитель информации	есть	есть	есть	есть	есть
Управление по IP протоколу	Опционально.	Опционально.	Опционально.	Опционально.	Опционально.
Устройство видеокоррекции	Опционально. LYYN	Опционально. LYYN	Опционально. LYYN	Опционально. LYYN	Опционально. LYYN
«Гараж»	нет	нет	нет	нет	нет

В конструкции используются детали (корпуса, иллюминаторы, разъемы, электроника), из которых изготавливаются обычные ГНОМы, с необходимыми доработками.



Рис.2 ТПА СуперГНОМ Про с кабельной катушкой

Аппарат выполнен на базе несущей рамы с элементами положительной плавучести. Перемещение подводного модуля осуществляется посредством двух мощных маршевых движителей тягой 8 кг каждый, а также вертикального и лагового движителей.

Аппарат в базовом исполнении (3 движителя Techadune, 2 гориз и 1 верт + лаговый от СуперГНОМа) оснащен видеокамерой с осветителями, манипулятором типа «схват», датчиками глубины и курса, реализован алгоритм удержания по глубине - «автоглубина» и удержания по курсу - «автокурс». Имеется также эхолот-альтиметр (разрабатывается программа поддержания постоянного отстояния от дна).

На аппарат можно устанавливать гидроакустическое оборудование: гидролокатор кругового обзора, многолучевой сонар высокого разрешения (типа BlueView), навигационную систему.

Управление подводным модулем осуществляется одним оператором при помощи джойстика. Видеоизображение с камер и данные телеметрии в режиме телетекста выводятся на экран телевизора или монитора компьютера. Информация с гидроакустического оборудования отображается на дополнительном мониторе.

Система, описанная выше может быть модернизирована для работ на глубинах до 3000 м. При этом подводный модуль опускается под воду в специальном «гараже» со значительной отрицательной

плавучестью, чем достигается более точное позиционирование аппарата относительно судна. В гараже, помимо подводного модуля, установлена мини-лебедка с кабелем порядка 150 м (возможна установка подводной видеокамеры). Гараж опускается с судна на кабель-тросе диаметром 20 мм на глубину до 3000 м.

Так же реализуется система управления аппаратом по IP протоколу. При этом данные (сигналы управления, видео, телеметрия) передаются по 2-х проводному силовому кабелю. Это возможно благодаря использованию специальных модемов для передачи данных по силовой электросети со скоростью до 200 Мбит в секунду.

В настоящее время, критичную роль играет оперативность получения информации с места работ, ее всесторонний анализ и непосредственная корректировка действий дистанционно управляемых роботов. Поэтому внедрение подобной системы управления - это необходимый шаг для создания IP ROV. Т.е. подводного робота, который способен передавать полученные данные непосредственно по сети интернет и выполнять команды удаленных пользователей авторизированных для управления аппаратом.

В рамках реализации данного проекта, предусмотрено создание двухзвенной системы базовый аппарат (СуперГНОМ Про) - аппарат спутник (ГНОМ микро). При этом СуперГНОМ про доставляет ГНОМ микро в зону проведения работ на заданную глубину, что позволяет проникать в труднодоступные места (например внутренние полости затопленных объектов, расщелины) и выполнять их осмотр.

Состав подводного модуля СуперГНОМ Про:

Несущая полипропиленовая рама с блоком обеспечения нейтральной плавучести (пенопласт, синтактик)

Бесколлекторные электродвигатели (от 3 до 5)

Прочные корпуса из анодированного алюминия для размещения электронных компонентов

1(2) CCD видеокамеры камеры с сервоприводом наклона;

Осветители (светодиоды) 8 шт x 5w; Мощность светового потока до 2000 люмен

Сервопривод наклона осветителей

Датчик глубины (с функцией удержания на глубине)

Компас (с функцией удержания по курсу)

3 акселерометра

Сонар кругового обзора Tritech Micron/seaking

Гидроакустическая навигационная система Tritech MicroNav

эхолот-альтиметр (с функцией удержания отстояния от дна)
Многолучевой сонар высокого разрешения (Blue View, Didson)
Манипулятор (захват)
Кабель-трос (нейтральной и (или) отрицательной плавучести)
Блок питания\управления 220В 50-60 Гц
Интегрированный компьютер (на базе Intel Atom)
Видеозапись на цифровой носитель;
Управление по IP протоколу
Технические характеристики СуперГНОМ Про 1-150.

Габаритные размеры:

- длина 450мм;
- ширина 300мм;
- высота 280мм.

Вес подводного модуля/всей системы 10/35 кг.

Двигатели:

- маршевый 2 шт., упор до 8,2 кг каждый;
- лаговый 1 шт;
- вертикальный 1 шт.

Видеокамера - 1(2) видеокамеры, с функцией наклона

Манипулятор. Типа схват, усилие сжатия 5 кг.

Осветители. Кластеры осветителей на базе сверхъярких светодиодов.

Гидролокатор кругового обзора. Tritech Micron или аналог.

Многолучевой сонар высокого разрешения. BlueView или аналог.

Параметры кабеля связи диаметр 12мм, /длина 200м.

Катушка алюминиевая, со скользящим контактом

Скорость движения (узлы):

- маршевая до 3;
- лаговая до 0,5;
- вертикальная до 1,0.

Электропитание Внешнее 220В 50-60Гц.

Потребляемая мощность 1,2 кВт.

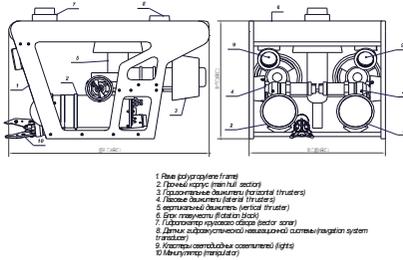


Рис.3 Габаритные размеры ТПА СуперГНОМ Про

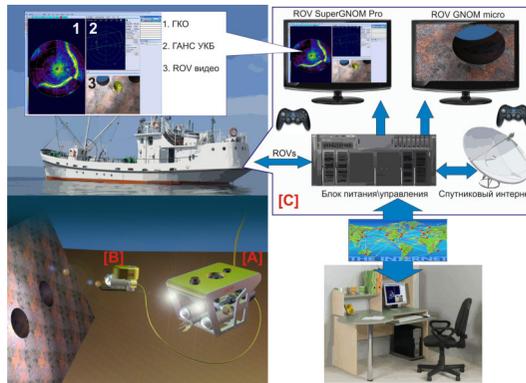


Рис. 4 Структурная схема двухзвенной системы с управлением по IP протоколу

О СОЗДАНИИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОРЕЙ И ОКЕАНИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА РОССИИ НА ОСНОВЕ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПАССИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Карабашев Г.С., Карабашева Э.И.

Учреждение Российской академии наук
Институт океанологии им. П.П. Ширшова

1. Предпосылки

Дистанционное зондирование водоемов (ДЗВ) развивается как эффективное средство изучения и освоения природных ресурсов крупных водоемов и мониторинга последствий хозяйственной деятельности человека с помощью аппаратуры на авиа- или космических носителях. Любой прибор для активного ДЗВ оснащается встроенным источником зондирующего излучения и приемником, регистрирующим часть этого излучения, возвращенную водной средой в сторону носителя. Сочетание источника и приемника излучения в едином комплексе существенно расширяет возможности подхода и минимизирует зависимость результатов наблюдений от внешних условий. Вместе с тем энергопотребление встроенного источника препятствует многим применениям активного зондирования из-за ограниченности энергоресурсов на авиакосмических носителях.

Пассивное ДЗВ свободно от подобного ограничения, т.к. использует самый мощный из доступных источников света – Солнце. Оно облучает гигантские территории, что позволяет получать мгновенные снимки земной поверхности протяженностью более тысячи километров. Поэтому реализация пассивного ДЗВ в спутниковом варианте означала пришествие методов изучения океана, гораздо более адекватных процессам изменчивости водной среды по объемам и темпам получаемой информации сравнительно с спутниковыми методами. В настоящее время используются два подхода к реализации пассивного оптического дистанционного зондирования акваторий – *мультиспектральный и гиперспектральный*.

В первом случае несколько спектральных каналов покрывают видимый спектр, а размеры элементов изображения водной поверхности на местности составляют не менее нескольких сотен метров. Этот подход реализован в виде спутниковых сканеров цвета океана (ССЦО). **Второй подход** предусматривает применение

множества узких спектральных каналов для регистрации квазинепрерывного спектра элементов изображения размером до нескольких метров. Соответствующие приборы называют гиперспектральными визуализаторами. Их спектральное разрешение достаточно для получения спектров отражения различных территорий, тогда как мультиспектральные визуализаторы пригодны для достоверной регистрации спектров сравнительно простой структуры (Рис. 1).

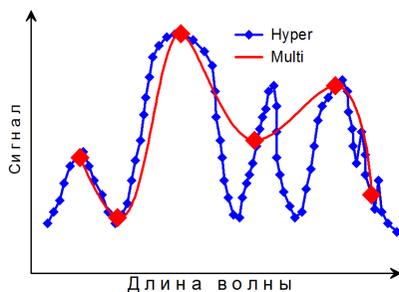


Рис. 1. Потери информации о спектрально сложном участке земной поверхности при переходе от гиперспектральной съёмки (синий) к мультиспектральной (красный). Ромбы обозначают положение спектральных каналов на шкале длин волн.

Гиперспектральный подход реализуют, размещая аппаратуру на авианосителях и спутниках Земли. Он намного информативнее и сложнее мультиспектрального. Оба подхода осуществляют путем сканирования местности с высоты полета носителя (Рис. 2).

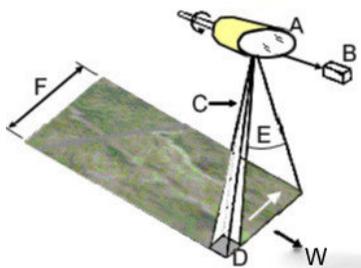


Рис. 2. Формирование изображения путем сканирования местности. А и В – вращающееся зеркало и фотоприемник сканера, С – конус визирования элемента изображения (пикселя) D, E – угол между крайними положениями оси визирования, F – ширина полосы обзора (достигает 1000-1500 км и задается высотой орбиты носителя (около 700 км) и углом E), W – направление полета носителя.

Параметры полета и сканирования согласованы так, что позволяют строить изображение местности по пикселям вдоль пилообразной траектории оси визирования на поверхности Земли.

1.1. Спутниковые сканеры цвета океана

Важность мониторинга природных водных сред как непрерывного слежения за их состоянием была осознана благодаря успехам последних десятилетий в зондировании океана помощью ССЦО. Сигнал сканера говорит о вещественном составе верхнего слоя океана толщиной до 40-50 м. Этим он выгодно отличается от сигналов ИК- и СВЧ-систем, которые формируются на границе раздела вода-воздух и не позволяют судить о явлениях в подстилающей толще, если они не проявляются на указанной границе. В настоящее время действуют несколько систем глобального наблюдения океана с использованием ССЦО, реализованные в США, ЕС, Китае и других странах. Наибольшим спросом пользуются стандартные продукты проектов SeaWiFS и MODIS (США), так как они распространяются бесплатно в беззаявочном режиме через Интернет и позволяют картировать распределения множества экологически важных характеристик морской среды на гигантских акваториях с интервалом до 1-2 суток (рис. 3)

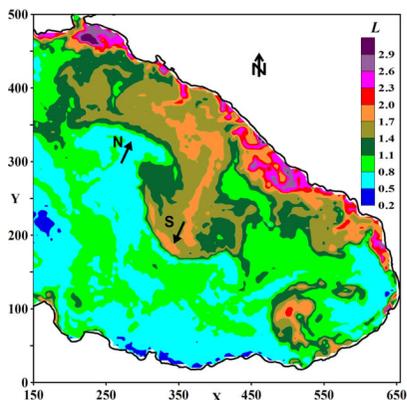


Рис. 3. Нормализованная яркость L на длине волны 490 нм восточной части Черного моря по данным ССЦО SeaWiFS от 11 июня 2001 г. Здесь проявились события водообмена, наблюдавшиеся на протяжении трех недель. Вихревые диполи северного (стрелка N) и южного (стрелка S) направлений двигались навстречу друг другу со скоростью 4-6 км/сутки и занимали верхнюю 10-15-метровую толщу моря. Яркостный контраст диполей обусловлен различиями оптических характеристик вод в их истоках. Подобное событие, уникальное по своим масштабам и экологическим последствиям, может быть обнаружено и обследовано только благодаря синоптичности и регулярности наблюдений посредством ССЦО. (X и Y – расстояния по долготе и широте, км).

Многолетний опыт эксплуатации ССЦО выявил присущие им ограничения.

(а). Достоверность восстановления характеристик водной среды по данным ССЦО существенно ухудшается на океаническом шельфе, во внутренних морях, проливах, мелководьях и прочих акваториях, переходных между сушей и океаном, т.е. там, где мониторинг водной среды предельно востребован.

(б). Указанные спектральные параметры сполна реализуются при размерах элемента изображения на местности до 1x1 км. Некоторые ССЦО допускают более высокое пространственное разрешение, но лишь за счет ухудшения спектральных характеристик аппаратуры. Между тем как спектральное, так и пространственное

разрешения критически важны для мониторинга переходных акваторий в силу особого разнообразия факторов, формирующих изображения водной поверхности.

(в). Облачность и другие атмосферные помехи препятствуют спутниковой съемке водоемов. Российские акватории принадлежат умеренным и высоким широтам с высокой вероятностью подобных помех. Даже на северо-востоке Черного моря доля наблюдавшейся длительности солнечного сияния к возможной меняется от 70-75% в июле-августе до 28-33% в декабре-январе. Судя по собственному опыту обработки черноморских данных ССЦО SeaWiFS и MODIS, перерывы в поступлении доброкачественных данных из-за этих помех могут длиться более десяти суток даже в летние месяцы.

Подобные трудности, известные со времен первого ССЦО (проект CZCS, 1978-1984 гг.), остаются актуальными и для сканеров следующих поколений, что не оставляет надежд на реализацию оптического мониторинга морских акваторий в вышеуказанном смысле, если ограничиться спутниковыми сканерами цвета океана.

1.2. Гиперспектральное зондирование акваторий

Гиперспектральное ДЗВ развивалось параллельно с мультиспектральным преимущественно в самолетном варианте. Ныне действует ряд пилотных проектов спутникового гиперспектрального зондирования океанического шельфа и прибрежий, однако их результаты труднодоступны и не пригодны для массовых применений (спутниковый гиперсканер Nuregion регистрирует яркость в полосе шириной 7 км, что неприемлемо для массовых пользователей). К тому же гиперспектральное сканирование океана с околоземной орбиты не дает никаких преимуществ в том, что касается вышеназванного ограничения (в).

Вместе с тем гиперспектральное ДЗВ полностью решает проблему пространственного и спектрального разрешения при изучении акваторий посредством гиперспектральной аппаратуры на авианосителях. В этом случае атмосферные помехи более или менее незначительны в зависимости от погодных условий и высоты авианосителя. Имеется немало публикаций с результатами натуральных гиперспектральных наблюдений: детальное обследование зоны цветения вредных водорослей в океане, картирование биотопов на литорали, оконтуривание и диагностика разливов нефти, оценка распределений оптически значимых примесей, изучение минеральных

и биологических ресурсов прибрежий, слежение за изменчивостью донного рельефа мелководий и т.д. вплоть до обнаружения подводных объектов (рис. 4).

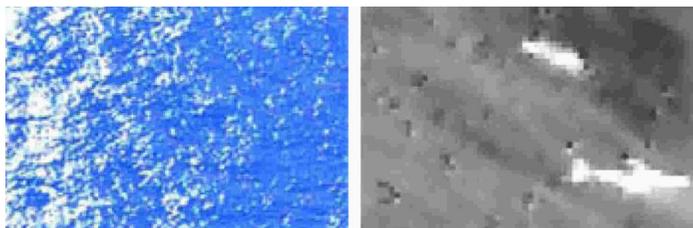


Рис. 4. Слева: исходное изображение поверхности океана, полученное гиперспектральным визуализатором на авианосителе. Справа: контуры двух китов, выявленные благодаря спектральному анализу гиперспектралки, но неразличимые на исходном изображении.

Появление коммерчески доступных гиперспектральных визуализаторов (например, CASI и Нумар), предназначенных для эксплуатации на маломестных авианосителях, подтверждает успехи рассматриваемого подхода подтверждаются. Очевидно, использование подобной техники для постоянного мониторинга акваторий едва ли осуществимо из-за запретительно высоких затрат на эксплуатацию таких носителей. Реалистичнее обратиться к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА).

1.3 Беспилотные авианосители аппаратуры ДЗВ

К настоящему времени в десятках стран, включая РФ, построены и испытаны сотни образцов БПЛА, в том числе в вариантах для изучения и освоения океана. Примером тому служит БПЛА, разработанный в NOC (Национальный океанографический центр, Саутгемптон, Великобритания) (Рис. 5). По-видимому, БПЛА подобного типа могут быть доведены до соответствия требованиям к носителям для мониторинга акваторий методом ДЗВ в масштабах до десятков километров при уровне затрат, близком к верхнему пределу приемлемости для исследовательских целей.



Рис. 5. Посадка БПЛА NOC на судно с помощью палубного взлетно-посадочного устройства в ходе испытаний в феврале 2008 г. БПЛА NOC: дальность более 300 км, полезная нагрузка 2 кг.

В качестве нижнего предела приемлемости можно указать на планер с электроприводом, поставляемый фирмой StopCam (Канада) по цене \$7000. Это радиоуправляемая модель с системой позиционирования GPS, автопилотом и цифровой фото- или ИК камерой (рис. 6). Запуск с рук, полет и посадка в точке запуска в автоматическом режиме. Аналогично ведется съемка местности по заданному маршруту. Каждый снимок привязан по координатам и высоте полета. Основное назначение системы – контроль сельхозугодий протяженностью до нескольких километров. Этим масштабам соответствуют динамически активные акватории прибрежий, приборной полосы и предустьевых районов, представляющие особую трудность как для ССЦО, так и для традиционных методов наблюдений. Возможности системы StopCam применительно к мезомасштабным водным объектам иллюстрирует Рис. 7.



Рис. 6. БПЛА фирмы StopCam. Длина фюзеляжа 1.2 м, размах крыльев 2.4 м, вес 2.7 кг, запаса хода 20 мин, высота полета 120-700 м, разрешение 15 см с высоты 700 м.



Рис. 7. Снимок реки в провинции Британская Колумбия, сделанный системой StopCam с высоты 700 м.

2. Принципы и реализация предлагаемой системы

Цель пилотного проекта "Создание интегрированной системы мониторинга морей и океанического шельфа России на основе новейших технологий пассивного дистанционного зондирования акваторий" состоит в том, чтобы построить систему квазинепрерывного слежения за состоянием природных водных сред, приспособленную к нуждам и возможностям заинтересованных российских природопользователей, научных и властных структур благодаря совместному использованию мульти- и гиперспектральных подходов. Предлагаемые решения позволят максимально полно использовать доступные источники информации о состоянии российских водоёмов и сосредоточить основные затраты на развитие оригинальных технологий в тех направлениях, где еще не найдены надёжные решения ни в РФ, ни за рубежом.

Мультиспектральный компонент (МК) системы должен быть ориентирован на получение, обработку и анализ информации от операторов действующих ССЦО, пригодной для оценки изменчивости

состояния водных бассейнов РФ на периодах от суток до десятков лет и на расстояниях от нескольких до тысяч километров. Имеются в виду прежде всего такие операторы как NASA и ESA. Они обеспечивают сбор и первичную обработку данных ССЦО SeaWiFS, MODIS и Meris на долговременной основе, разрабатывают ССЦО следующих поколений и предоставляют указанную информацию свободно или за весьма умеренную плату. Существенно также, что результаты работы действующих ССЦО прошли основательную проверку по многим практически важным показателям за годы их многолетней эксплуатации. Отечественный ССЦО только проектируется и, видимо, может оказаться сравнимым с зарубежными прототипами не ранее чем через 4-5 лет.

Гиперспектральный компонент (ГК) обеспечивает контроль и обследование локальных явлений и событий в масштабах от метров до десятков километров на периодах от часов до многих суток и опирается на использование гиперспектральной аппаратуры на беспилотных авианосителях, базирующихся близ важнейших водных бассейнов РФ. При этом основные усилия и затраты направляются на развитие аппаратно-методического комплекса ГК и на решение вопросов совместимости продуктов МК и ГК. Специфика ГК в том, что он в принципе нереализуем за счет неотечественных ресурсов по крайней мере по двум причинам: (1) переход от МК к ГК влечет за собой столь значительный рост объема перерабатываемой информации, что едва ли найдутся желающие создавать глобальную систему гиперспектрального зондирования океана со свободным доступом к результатам ее применения; (2) некоторые результаты гиперспектрального зондирования переходных акваторий и прибрежий могут представлять интерес для решения задач оборонного характера, что также несовместимо со свободным доступом к неотечественным данным. Вместе с тем за рубежом не ослабевает интерес к развитию аппаратно-методических решений гиперспектрального зондирования океана. Об этом свидетельствует, в частности, подготовка гиперспектрального визуализатора прибрежной зоны океана (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean, HICO), созданного под руководством Исследовательской лаборатории ВМФ США, к размещению на МКС в 2009 г. (Proc. V Internat. Conf. "Current Problems in Optics of Natural Waters", Nizhny Novgorod, 2009, pp. 17-21).

Наличие малых беспилотных самолетов на вооружении современных армий свидетельствует о реализуемости настоящего

предложения в том, что касается носителя ГК-аппаратуры, способного обеспечить требуемую производительность обследования акваторий при минимальных эксплуатационных затратах. Гиперспектральный визуализатор, пригодный для работы на таком носителе, пока что не создан. Судя по темпам развития гиперспектральной аппаратуры, такой прибор может появиться в ближайшие годы, так что разработка отечественного миниатюрного и экономичного гипервизуализатора для контроля прибрежий была бы убедительной демонстрацией российского инновационного потенциала.

Эксплуатация гиперспектральной аппаратуры на беспилотном авианосителе в связке со спутниковым мультиспектральным зондированием позволит хотя бы отчасти компенсировать неэффективность последнего в присутствии облачности и прочих атмосферных помех. В этом отношении может оказаться целесообразным технически менее сложное создание мультиспектрального авиационного визуализатора. Существенно также, что миниатюрность и экономичность подобных приборов и беспилотных авианосителей позволит использовать их как самостоятельное мобильное средство для обследования больших и малых внутренних водоемов России, многие из которых никак не контролируются на протяжении многих лет.

Другое рациональное упрощение может состоять в том, чтобы реализацию проекта начинать с создания мульти- или гиперспектрального профилографа, регистрирующего спектральную яркость водной поверхности вдоль трассы полета носителя. Разумеется, информативность гиперспектрального профиля яркости намного уступает информативности гиперспектрального изображения водной поверхности, однако при всей своей относительной простоте профилограф достаточен для решения многих задач мониторинга и способен служить средством отработки аппаратурно-методических решений, важных для оптимизации визуализаторов, пригодных для размещения на БПЛА.

Несмотря на обилие публикаций в прессе и сети по проблемам, связанным с составляющими проекта, подход в целом до сих пор никем не реализован, а содержание самих публикаций чаще всего сводится к решению частных задач на уровне демонстрации возможностей. Проект способен дать инвестиционно-привлекательные результаты, если будет осуществлен в достаточно короткие сроки.

МЕДИКО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ГИПЕРБАРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАМКАХ ПРОГРАММЫ «ЧЕРНОМОР»: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Гуляр С.А.

Институт физиологии им. А.А. Богомольца НАН Украины,
Киев, 01024, ул. Богомольца, 4
Тел. +38044-235-83-34; E-mail: gulyar@zepter.ua

Complex experimental researches in underwater labs “Chernomor” and hyperbaric chambers allowed to develop technology and to prove a humane possibility to shelf continental depths. It is developed a characteristic of organism main systems and gas mixture relations under increased pressure, physiological limits in extreme density of breathing medium. It is given a list of main ways to support workability of aquanauts under pressure and after decompression.

Основная трудность освоения человеком глубин шельфа состоит в том, что работа акванавта в водной среде происходит под прямым действием на его организм факторов повышенного давления газовой и водной сред. Медико-физиологические задачи, связанные с обеспечением сохранения здоровья и работоспособности человека на глубинах шельфа, охватывают оценку адаптивных реакций организма, оптимизацию компрессии, газового состава дыхательной среды, декомпрессии, реабилитации и др. Именно физиологические барьеры лимитируют производственные возможности человека под водой. Поэтому в программах исторически первого поколения подводных гипербарических сооружений («Преко́нтинент», «Силаб», «Ихтиандр», «Черномор» и др.), ввиду нерешенности и новизны этой фундаментальной проблемы, сектор, посвященный медицинскому аспекту безопасности акванавтов, всегда имел существенный удельный вес.

Обследования акванавтов и водолазов проведены в морских условиях в подводной лаборатории (ПЛ) «Черномор» (45 м³) и в гипербарических камерах типа ПДК (7 м³) и ГКК (27,9 м³) Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. На разных

этапах в работах принимали участие сотрудники НИИ гигиены водного транспорта МЗ СССР (1968-69), Центральной лаборатории по изучению мозга АН Болгарии (1978, 1988), Института медико-биологических проблем МЗ СССР (1988). Ниже приведены результаты исследований Института физиологии им. А.А. Богомольца НАН Украины, который был в те годы головной медико-физиологической организацией (1971-1988). В 16-ти сериях участвовали 157 человек в возрасте 20-42 лет. Диапазон глубин и давлений составлял 2,5-11 кгс/см² азотно-гелио-кислородной и 21-41 кгс/см² азотно-гелио-неоно-кислородной среды. Экспозиции в большинстве экспериментов сопровождались полным насыщением тканей инертными газами. Многосуточное пребывание при гипербарии составляло от нескольких до 52 сут.

Функциональное состояние организма оценивалось на основании определения в динамике показателей дыхания, кровообращения, кислородных и углекислотных режимов организма, высшей нервной деятельности, умственной и физической работоспособности, внутренней среды и др.

Обобщение результатов позволило сформулировать основные положения, раскрывающие механизмы адаптации к гипербарии и пути оптимизации труда акванавтов.

Газовая среда и организм. Установлено изменение кислородного режима организма (КРО) в ответ на действие умеренно гипероксической азотно-гелио-кислородной среды. Он характеризуется увеличенной скоростью и интенсивностью поступления O₂ в альвеолы, сниженной скоростью и интенсивностью его транспорта артериальной и смешанной венозной кровью, повышенным парциальным давлением O₂ (PO₂) в альвеолах и артериальной крови, сниженным PO₂ смешанной венозной крови. Основными респираторными механизмами регуляции КРО в нитроксе являются увеличение физиологического мертвого дыхательного пространства, снижение доли альвеолярной вентиляции в общей вентиляции легких, уменьшение скорости диффузии O₂ через альвеоло-капиллярный барьер, усиление неравномерности вентиляционно-перфузионных отношений в легких, снижение легочного капиллярного кровотока и возрастание шунтирования крови в легких. К ведущим гемодинамическим механизмам регуляции КРО относятся снижение объемной скорости кровотока, ударного объема и, в меньшей степени, урежение сердечного ритма.

При гипербарии КРО зависит от парциального давления O_2 во вдыхаемой среде и функционального состояния системы дыхания, кровообращения и крови, которое в свою очередь определяется величиной плотности дыхательной среды, скоростью компрессии, свойствами инертного газа, микроклиматом замкнутого пространства и экспозицией. Впервые описан гипербарический гипероксически-гипоксический синдром, возникающий вследствие компрессионного стресса или физической нагрузки.

Повышенное PO_2 в гипербарической среде является причиной реакций, направленных на уменьшение проникновения O_2 к тканям, однако они же одновременно приводят к ухудшению выведения из организма углекислого газа. Дополнительное влияние повышенной плотности дыхательной среды ведет к альвеолярной гипервентиляции, снижению насосной функции сердца и гиперкапнии.

Снижение парциального давления O_2 до нормоксического уровня в дыхательной среде повышенной плотности (до 6, 34 г/л) плотности в условиях относительного покоя ведет к нормализации КРО, которая может служить критерием эффективности коррекции в ней O_2 . Физическая нагрузка в нормоксической среде повышенной плотности сопровождается тенденцией к развитию гипоксического состояния. Впервые получено экспериментальное обоснование биологического метода коррекции PO_2 в дыхательной гипербарической среде.

Адаптация к длительной гипербарии. Исходя из оценки динамики дыхания, кровообращения, кислородных режимов организма, умственной и физической работоспособности при давлениях нитрокса до 5 кгс/см² и гелиокса до 31 кгс/см², установлено, что процесс адаптации человека к гипербарии имеет фазный характер. Различаются фазы начальной и относительно устойчивой адаптации, начальной декомпенсации и реадаптации к постдекомпрессионным нормобарическим условиям. Длительность первой фазы увеличивается с ростом давления нитрокса. Повышение барометрического давления, парциального давления O_2 и инертных газов плотности дыхательной среды, ее температуры оказывает стрессорное действие на организм, проявления которого зависят от скорости изменения давления газовой и охлаждающего действия водной сред стрессорная реакция постепенно ослабевает: функция дыхания нормализуется, однако его резервные возможности остаются сниженными. Параметры гемодинамики стабилизируются на более

низком уровне. Ведущую роль приобретает пролонгированное действие гипероксии, повышенной плотности дыхательной среды и концентрации инертного газа (азота). Близкая к исходной физическая работоспособность поддерживается за счет большого напряжения функции систем дыхания и кровообращения. Умственная работоспособность в условиях субнаркотических концентраций азота имеет тенденцию к снижению. При увеличении экспозиции в гипербарических условиях выраженность физиологических сдвигов в фазе реадaptации и ее длительность определяются интенсивностью воздействия каждого из факторов гипербарической среды.

Физиологические барьеры глубоководных погружений. Выявлен неизвестный ранее респираторный синдром высокой плотности, который возникает на глубинах», эквивалентных 2500 м (по гелиоксу). Экстремально высокая плотность дыхательной среды (до 32,7 кг/м³) создавалась гипербарической неоновой среде под давлением до 41 кгс/см². Установлено, что ведущим феноменом являются осцилляции дыхательных потоков в бронхах. Они возникают на фоне снижения скоростей форсированного дыхания в газовой среде высокой плотности или при искусственном сопротивлении и имеют общий механизм развития, как во время вдоха, так и выдоха. Установлена значительная корреляция между амплитудной модуляцией электромиограмм дыхательных мышц и осцилляциями пневмотахограммы в диапазоне, что соответствует частотам физиологического тремора. Это позволили выдвинуть предположение, что одной из причин возникновения осцилляций является тремор дыхательных мышц, обусловленный действием высокой плотности гипербарической атмосферы или резистивной нагрузки на дыхание. Последующие исследования показали, что «осцилляторный» режим дыхания в таких экстремальных условиях является более выгодным, поскольку помогает поддерживать достаточный уровень легочного газообмена с меньшим расходом энергии. Для практики это значит, что искусственное создание осцилляций газовых потоков у дыхательных аппаратах может обеспечить лучшее смешение газов в альвеолах, ослабить эффекты увеличенного мертвого дыхательного пространства.

Управление резистентностью организма при гипербарии. Экспериментально показано, что облегчение адаптации к длительному пребыванию в ПЛ и барокамерах может достигаться проведением тренировок к гипербарическим факторам, выбором

рационального режима компрессии с замедленной скоростью и экспоненциальным профилем, учетом фазности процесса адаптации к гипербарии: уменьшением объема профессиональной нагрузки перед компрессией и в течение первых 2-3-х суток изопрессии. Для профилактики отрицательных эффектов многосуточной экспозиции целесообразно обеспечение оптимальных условий труда (температура и состав дыхательной среды, теплоизоляция в воде), ежедневная дозированная мышечная нагрузка, предупреждение ретенции CO₂ (снижение сопротивления дыханию, мертвого пространства дыхательного аппарата, поддержание должного уровня физической тренированности), кислородного отравления или голодания, азотного наркоза. Для ослабления астенического синдрома после длительной гипербарии целесообразны поддержание респираторной и иммунной резистентности организма при изопрессии, ослабление кислородной нагрузки во время изо- и декомпрессии. Ускорение насыщения от инертных газов застойных участков тканей и восстановление кислородтранспортной функции крови достигается действием гипобарии и умеренной гипоксии при ступенчатой высокогорной адаптации. Важным методом, позволяющим обеспечить профилактику и лечение заболеваний ЛОР-органов, дыхания, болевых синдромов и повысить местный и системный иммунитет, ослабить электромагнитную депривацию является применение полихроматического поляризованного света (БИОПТРОН-ПАЙЛЕР-свет). Особенностью этой лечебной технологии является ее бесконтактность и отсутствие фармакологических средств, изменяющих свои свойства под повышенным давлением.

В заключение отметим, что исследования возможности адаптации человека к гипербарии, начатые программами первых подводных лабораторий СССР, позволили решить новую научно-техническую проблему. С медико-физиологической позиции удалось раскрыть патогенез основных синдромов, связанных с нарушением массопереноса респираторных газов. Интегральное влияние комплекса факторов гипербарии обобщено понятием «общий синдром высокого давления», компонентами которого являются нервный, респираторный, циркуляционный, обменный и постдекомпрессионный. Это дало возможность обеспечить медицинскую безопасность акванавтов на глубинах шельфа и за их пределами.

Благодарность за содействие работам сотрудникам Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН Н.А. Айбулатову, В.А. Гриневичу, В.П. Николаеву, И.П. Сударкину, О.Н. Скалацкому, В.К. Скудину, акванавтам и участникам экспериментов.

КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА МОРСКИХ АКВАТОРИЙ «АКВАЛОГ»

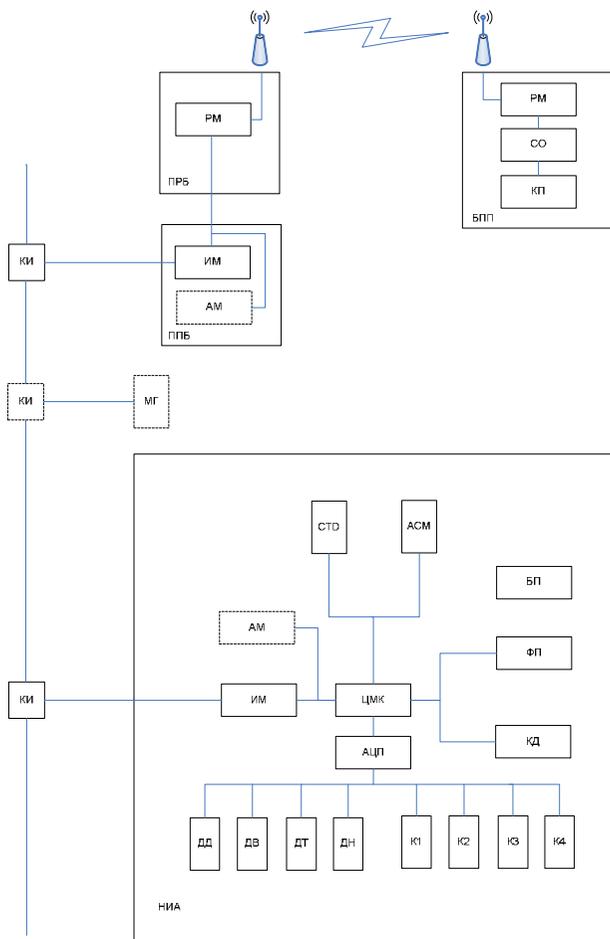
Островский А.Г., Зацепин А.Г., Иванов В.Н., Низов С.С., Соловьев В.А., Тимашкевич Г.К., Швоев Д.А., Цибульский А.Л.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский просп., 36, Москва 117997
Тел.: (499)-1247392, Факс: (499)-1245983, Е-майл: osasha@ocean.ru

В 2006-2008 гг. в Институте океанологии им. П.П.Ширшова (ИО РАН) была осуществлена разработка измерительной аппаратуры «Аквазонд», предназначенной для вертикального профилирования водной толщи на заякоренной буйковой станции (Островский и др., 2008). Был создан прототип морского грузового «лифта» для океанологических измерительных датчиков: акустического доплеровского измерителя течений и зонда электропроводности, температуры и давления с датчиком растворенного кислорода, флуориметром и турбидиметром. Носитель с измерительной аппаратурой по заданной программе передвигался по тросу, натянутому вертикально между подповерхностной плавучестью и донным якорем. В отличие от традиционных буйковых постановок с размещением приборов на фиксированных горизонтах, созданная нами аппаратура позволяла проводить непрерывные измерения вертикальных профилей характеристик морской среды.

Разработки по автоматическому профилированию морской среды на заякоренной буйковой станции, легли в основу НИОКР по созданию нового измерительного комплекса для оперативного мониторинга морской среды в водах шельфово-склоновой зоны. В рамках этой НИОКР аппаратура профилографа «Аквазонд» интегрирована с новейшими техническими средствами передачи

сигналов в водной толще с помощью индуктивных модемов на подповерхностный буй. В новом комплексе, названном «Аквалог», подповерхностная плавучесть связана кабелем с поверхностным бумом, откуда данные измерений передаются по радиоканалу в береговой приемный пункт, что позволяет решить важную научно-практическую задачу оперативного управления мониторингом морской среды. Этой новой разработке и посвящен настоящий доклад.



Блок-схема электронных узлов со структурными связями

Рис. 1. Структурная схема комплекса «Аквалог».

Используя новую авторскую технологию автономного профилирования водной толщи на заякоренной океанологической станции (Островский и др., 2008) и современные технические средства

бесконтактной передачи сигналов в морской воде и в воздухе по радиоканалу, разработан и изготовлен прототип комплекса для автоматического телеуправляемого мониторинга вод шельфово-склоновой зоны моря в режиме реального времени. Комплекс должен в течение длительного времени (до одного года) производить вертикальные зондирования морской среды с измерением гидрофизических и биофизических параметров в диапазоне глубин 5 - 700 м и обеспечивать оперативную передачу данных на расстояние до 12 км в береговой приемный пункт. Потребности в комплексе в первую очередь определяются необходимостью мониторинга распространения загрязнений и прогноза опасных природных явлений.

Функциональное назначение блоков комплекса нижеследующее (структурная схема комплекса показана на рис. 1).

НИА носитель измерительной аппаратуры, основной элемент системы, предназначается для выполнения движения вверх вниз вдоль троса по заданной программе с измерительной аппаратурой.

ПРБ поверхностный радиобуй предназначен для передачи данных с НИА на БПП и передачи команд с БПП на НИА.

ППБ подповерхностный буй плавучесть предназначен для натяжения ходового троса вдоль которого движется НИА и передачи данных через индуктивный модем с НИА на ПРБ.

БПП береговой пост приема и обработки данных предназначен для приема и обработки данных с НИА, а также управлением пользователем НИА.

На НИА размещены следующие функциональные модули:

ЦМК	модуль центрального микроконтроллера;
ФП	модуль ПЗУ flash память;
АЦП	модуль аналогово-цифрового преобразователя;
ДД	датчик давления;
ДВ	датчик влажности / затекания;
ДТ	датчик тока;
ДН	датчик напряжения;
К1-4	аналоговые измерительные каналы;
КД	контроллер двигателя;
БП	модуль питания;
ИМ	индуктивный модем;
КИ	катушка индуктивности;
АМ	акустический модем;

СТД измеритель температуры, электропроводности и давления;
АСМ акустический измеритель скорости и направления течения;
РМ радио модем
СО сервер приема и предварительной обработки данных;
КП компьютер пользователя

ЦМК управляет движением НИА через контроллер КД по заданной программе, сбором и обработкой данных с СТД, АСМ, ДД, ДВ, ДТ, ДН и с К1-4. К каналам К1-4 возможно подключение дополнительных датчиков флюориметра, турбидиметра и т.д.

ЦМК сохраняет данные с датчиков в модуле ПЗУ ФП и по заданной программе выполняет передачу данных через индуктивный модем ИМ и КИ по стальному несущему тросу на ПРБ или опционально через акустический модем.

На ППБ размещен индуктивный модем и опционно акустический модем. По индуктивному или акустическому каналу выполняется передача данных от НИА и далее по кабель тросу по интерфейсу RS-485 на ПРБ.

На ПРБ размещен радио модем РМ. По радиоканалу выполняется передача данных от НИА к БПП и управление от БПП к НИА.

Важнейшей задачей на этапе технического проектирования стал поиск таких конструкторских решений, которые обеспечивают минимизацию энергопотребления носителя с целью максимального увеличения ресурса его автономной работы. Эта цель достигается благодаря следующим особенностям конструкции:

- а) электроприводу, имеющему высокий КПД;
- б) применению магнитной муфты, передающей момент на приводной ролик электропривода;
- в) приводному ролику, обеспечивающему надежное сцепление с ходовым тросом;
- г) минимизации плавучести носителя;
- д) обтекателю, обеспечивающему наименьший коэффициент сопротивления при наклонном движении в горизонтальном течении.

Литература

Островский А.Г., А.Г. Зацепин, В.А. Деревнин, С.С. Низов, С.Г. Поярков, А.Л. Цибульский, Д.А. Швояев // Заякоренная автоматическая

измерительная система «Аквазонд» для вертикального профилирования морской среды. Океанология. 2008. Т. 48. № 2.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ (ГЛУБОКОВОДНЫХ) ОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Смирнов Г.В., Беленький В.Н., Фендриков А.Н.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997 г. Москва, Нахимовский пр.36, тел.(0495) 7190370
e-mail: bnersesov@yandex.ru .

В статье представлены результаты работ по созданию систем: Комплексного обзора внешней (подводной) обстановки ОПА; Динамического позиционирования ОПА над объектом работ; Расширения функциональных возможностей манипуляционно-технологического комплекса ОПА в экспедиционных условиях. Работы выполнены с элементами новизны и защищены двумя патентами на изобретения.

В докладе «Анализ современного состояния и тенденций развития обитаемых подводных аппаратов для комплексных океанологических исследований», опубликованном в материалах VIII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» 2003 года, дан анализ современной методологии экспериментальных исследований в океане с обоснованием роли и места в ней обитаемых подводных аппаратов (ОПА). Кроме того, в докладе рассмотрены основные тенденции развития подводных обитаемых аппаратов базирующиеся на результатах науки и техники в области создания новых источников энергообеспечения, материалов и конструкций, систем навигации, средств вычислительной техники и радиоэлектроники [1].

Приведенные материалы по развитию ОПА, к сожалению, не затрагивают вопросы технического оснащения аппаратов

позволяющих решить проблемы: комплексного обзора внешней (подводной) обстановки аппаратов; динамического позиционирования ОПА над объектом работ; расширения функциональных возможностей манипуляционно-технологического комплекса обитаемых подводных аппаратов в экспедиционных условиях. Решение поставленных вопросов позволит существенно расширить спектр подводно-технических и научно-исследовательских работ с использованием подводных обитаемых аппаратов.

Комплексный обзор внешней (подводной) обстановки ОПА.

Комплексным обзором внешней обстановки ОПА можно назвать процесс целенаправленного обследования определенной области пространства (толщи воды, придонного пространства) для получения информации об обследуемом пространстве и объектах, находящихся в зоне обследования подводной обстановки.

Комплексная система освещения подводной обстановки решает следующие задачи:

- обеспечение безопасного плавания ОПА у дна и в толще воды;
- поиск и обнаружение объектов на дне и в толще воды;
- подводный осмотр и документирование на фото- и видеоаппаратуру обнаруженных объектов;
- картографирование морского дна;
- макросъемки структур осадочных пород и инженерные геологические съемки;
- научные и археологические исследования.

Состав средств комплексной системы освещения подводной обстановки зависит от поставленных задач перед ОПА, его тактико-технических характеристик и назначения.

В их состав могут входить:

- оптические средства наблюдения за окружающей обстановкой – иллюминаторы с системой наружного освещения;
- подводные фототелевизионные установки – черно-белые, цветные телевизионные камеры, фотоаппаратура с системой наружного освещения;
- гидроакустические станции – станции секторного, бокового и кругового обзора, многолучевые эхолоты, профилографы;
- дистанционные модули - привязные необитаемые подводный аппараты.

При этом необходимо отметить, что все имеющиеся средства и способы освещения внешней обстановки ОПА не обеспечивают решение всего комплекса поисково-обзорных задач, что обусловлено отсутствием системного подхода к организации освещения подводной обстановки.

Для увеличения поисковой производительности ОПА, достоверности классификации объектов поиска, их наблюдения, исследования и в целях повышения безопасности проведения подводно-технических работ ОПА разработана новая технология и структура многоуровневой системы наблюдения (освещения подводной обстановки), являющаяся составной частью стационарного оборудования ОПА.

Комплексная система освещения подводной обстановки по заданию оператора решает весь комплекс задач по поиску, обнаружению, слежению и выдаче целеуказаний в трех зонах дальности: дальней (I), средней (II) и ближней (III). Структурная схема комплексной системы приведена на рис. 1.

В состав средств освещения подводной обстановки дальней зоны входят: низкочастотный тракт гидроакустической станции секторного обзора (1); низкочастотный тракт гидроакустической станции бокового обзора (2). Данные технические средства обеспечивают освещение подводной обстановки прямо по курсу, по бортам и в нижней полусфере.

В состав средней зоны освещения подводной обстановки входят:

высокочастотный тракт гидролокационной станции секторного обзора (4); высокочастотный тракт гидролокационной станции бокового обзора (5); гидролокационная станция кругового обзора (6); многолучевой эхолот (3); профилограф (7); лазерная система телевизионного зрения (8).

Средства средней зоны обеспечивают освещение подводной обстановки прямо по курсу, по бортам и в нижней и верхней полусферах.

В состав средств ближней зоны освещения подводной обстановки входят:

средства звуковидения (9); телевизионные средства дальнего поиска с лазерной подсветкой (10); телеуправляемый или привязной подводный аппарат (11); средства ближнего поиска и наблюдения на базе цветных телевизионных камер (12); иллюминаторы (13). Работа

оптико- телевизионных средств обеспечивается системой наружного освещения (14).

Основным элементом комплексной системы освещения подводной обстановки ОПА является специальное вычислительное устройство - ЭВМ (15), обеспечивающее обработку информации в реальном масштабе времени и вывод информации на унифицированный пульт управления всей комплексной системы освещения подводной обстановки (16), выдачу целеуказаний для оператора (18) и выдачу данных в системы движения и навигации (17).

Методика работы по освещению подводной обстановки в заданном районе морского дна обитаемого подводного аппарата заключается в следующем:

После прихода ОПА в район проведения работ, производится обзорно-поисковое обследование заданного района гидроакустическими средствами дальней зоны и гидроакустическими средствами средней зоны с точностной навигационной привязкой.

В процессе обследования обнаруженные объекты автоматически вводятся в память и данные по обнаруженным объектам выводятся на электронный планшет подводной обстановки.

Полученная информация представляется оператору в виде трехмерной карты района с нанесенными данными о нахождении объектов в данном районе [5].

Оператор ОПА принимает решение об обследовании обнаруженных объектов. Очередность поиска задается оператором. Поиск осуществляется по данным полученным в ходе обзорно-поискового обследования морского дна с помощью средств освещения подводной обстановки средней зоны. Одновременно, по решению оператора, информация выдается в систему движения обитаемого подводного аппарата для передачи контакта с объектом средствам наблюдения ближней зоны освещения подводной обстановки.

В ходе поиска информация от технических средств поступает в вычислительную машину, обрабатывается и выводится на мониторы для первичной классификации обнаруженного объекта. Одновременно происходит корректура информации, полученной в ходе обзорно-поисковых действий, после чего эта информация выводится оператору в виде уточненной трехмерной карты морского дна. При этом координирование движения обитаемого аппарата производится по данным обзорно-поискового обследования морского дна.

С обнаружением объекта, контакт передается от средств средней зоны освещения средствам ближней зоны освещения подводной обстановки с последующим выходом на визуальный контакт для детального обследования обнаруженного объекта.

При положительном результате поиска оператор визуально убеждается в правильности найденной цели и приступает к предусмотренным в данном погружении работам или наблюдениям на искомом объекте.

Созданная технология позволяет: сократить время поиска объекта исследования, упорядочить процесс поиска и в определенной степени гарантировать результат поиска.

Система динамического позиционирования ОПА над объектом работ.

Динамическое позиционирование объекта – его стабилизация в заданной точке пространства – широко используется на надводных научно-исследовательских, буровых и судоподъемных судах.

Развитие метода стабилизации судов на море позволило совершать операции по бурению (повторный ввод бурового инструмента на глубинах до 6000 м), судоподъем части подводной лодки у Гавайских островов, стабилизации осветительного комплекса на глубинах до 6000 м над заданным районом с целью кино съемки затонувшего германского корабля «Бисмарк».

При этом необходимо отметить, что самым неразвитым и не интегрированным в общий комплекс обитаемых подводных аппаратов (ОПА) оказались системы стабилизации ОПА над объектом работ. Единственным опытом в создании системы динамического позиционирования ОПА в Российской Федерации является ее реализация на ОПА «ОСА», да и то на уровне макетного образца. На широко известных аппаратах «МИР», систем динамического позиционирования над объектом работ не существует [6]. Огромные средства, потраченные на создание обитаемых и необитаемых ПА, не дают ожидаемого эффекта, так как аппараты остаются наблюдательными платформами и на них затруднительно выполнять даже простые технологические операции.

На данный момент времени существуют инженерные проработки по созданию систем динамического позиционирования ОПА. Для реализации динамического позиционирования необходимы две системы: развитая система активных движителей и система

информации о линейных и угловых перемещениях ОПА относительно заданной точки на дне.

Для решения проблемы стабилизации необходимо решить вопрос – синтез движительного комплекса ОПА, который был бы способен обеспечить формирование суммарного вектора упора в полной сфере пространства, что требует избыточности движительного комплекса. Обитаемый подводный аппарат, как объект положение которого в пространстве определяется шестью степенями свободы, должен иметь для формирования названного пространственного вектора суммарного упора не менее 6-ти движителей, расположенных таким образом, что каждая пара движителей контролирует одно линейное и одно угловое перемещение ОПА. Однако из-за ряда функциональных и конструктивных причин 6 движителей сложно расположить на ОПА так, чтобы они контролировали любые перемещения аппарата в пространстве. Необходимо установить большее их количество, что и определяет избыточность движительного комплекса.

Для теоретической возможности выявления и анализа роли каждого из движителей, контроля его влияния и степени участия в формировании результирующего вектора упора и скорости движения ОПА вводится базовая и дополнительная системы координат.

Базовая система координат помещается началом в центре ОПА. Дополнительные системы координат помещаются началом в точках приложения вектора упора каждого движителя. Эта процедура позволяет выделить каждый движитель, создаваемый им упор и контролировать его величину по модулю и по направлению. Математическая модель такой движительной системы позволяет сформировать управление упором каждого движителя и теоретически решать задачу адаптации системы к изменяющимся условиям. На Рис. 2 приведены базовая и дополнительная системы координат. [2.7.8.9.].

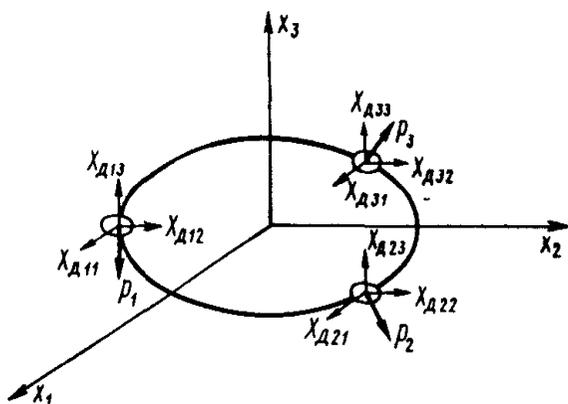
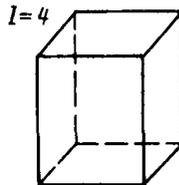
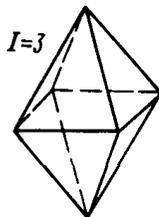
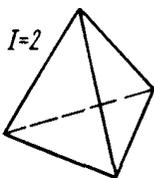


Рис.2. Базовая и дополнительная система координат.

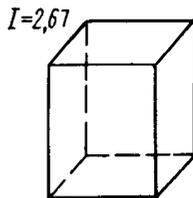
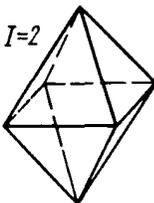
И.П.Чубаренко был предложен оригинальный обобщенный подход к выбору структуры движительного комплекса ОПА в виде выпуклых правильных многогранников (тетраэдр, куб, октаэдр, додекаэдр) [6]. В вершинах многогранников находятся движители. При подобном подходе проектируемый подводный аппарат в зависимости от числа и расположения движителей может быть представлен соответствующей объемной фигурой, что упрощает теоретическое решение задачи по компоновке движительного комплекса ОПА.

На Рис 3. представлены варианты движительных комплексов и приведены значения коэффициента их избыточности для каждого случая. Уровень техники в данном направлении характеризуют теоретические проработки компоновки движительного комплекса ОПА.

Движители поворотные в двух плоскостях



Движители поворотные в одной плоскости



Неподвижные движители



Рис 3. Представлены варианты движительных комплексов и приведены значения коэффициента их избыточности для каждого случая.

Для решения задачи расширения фронта работ, которые могут быть выполнены с борта обитаемого подводного аппарата (ОПА), сокращения времени необходимого для выполнения работ, повышения безопасности проведения работ за счет динамического позиционирования ОПА т.е. придания ему на время выполнения работ качества неподвижной платформы в условиях действия на него внешних возмущений вызванных природными явлениями или работой манипуляционно-технологического комплекса предлагается следующая система динамического позиционирования ОПА над объектом работ, являющаяся составной частью его навигационной системы. На рис.4. приведена структурная схема системы динамического позиционирования ОПА над объектом работ.

Из средств обеспечения динамического позиционирования ОПА над объектом работ скомплектованы две подсистемы:

подсистема контроля положения ОПА в пространстве над объектом работ по акустическим маякам и движительная подсистема.

Подсистема контроля положения ОПА над объектом работ является частью навигационной системы ОПА и включает в себя акустические маяки (1.1, 1.2,..... 1.n), которые устанавливаются в районе работ блок предварительной обработки информации анализирующий отклонение от заданного положения ОПА

Движительная подсистема включает в себя шесть винтовых движителей (2.1, 2.2, 2.n) расположенных в вершинах октаэдра и двенадцать подруливающих движителей (3.1, 3.2, 3.n), построенных на принципе позволяющем использовать морскую среду, в которой движется судно как рабочее тело, в соответствии с законом Лоренца [6]. В выбранных подруливающих движителях отсутствует механическая ступень в передаче энергии движителя окружающей среде (винт судна), они имеют максимальное согласование параметров источника энергии (электрического) с нагрузочными характеристиками устройств потребления (привода), органично встраиваются в движительную подсистему ОПА.

Подруливающие движители располагаются по две штуки в непосредственной близости с каждым винтовым движителем с двух сторон в одной плоскости, положение которой определяется при швартовых испытаниях ОПА в начале работ или после переоборудования ОПА изменившего его внешнюю конфигурацию. Подруливающие движители осуществляют корректировку направления вектора упора винтового движителя.

Созданная система динамического позиционирования ОПА позволяет обеспечить требуемое быстродействие для отработки возникающих сигналов рассогласования – отклонение от заданного положения т.е. адаптации движительного комплекса ОПА к внешним возмущающим воздействиям со стороны внешней среды так как ее подсистемы обладают определенной избыточностью.

Основным элементом системы динамического позиционирования ОПА является центральная ЭВМ (7), обеспечивающая вывод информации блока предварительной обработки информации, анализирующего отклонение от заданного положения ОПА над объектом работ (9), на пульт управления всей системой (5), выдачу информации на пульт оператора (6), и, по команде оператора через локальную линию связи (4), в блок управления движительной системой (8), обеспечивающей

динамическое позиционирование, т.е. удержание ОПА в состоянии неподвижной платформы в заданном оператором положении над объектом работ, а район работ предварительно оборудуется акустическими маяками.

Созданная система динамического позиционирования обитаемого подводного аппарата (ОПА) над объектом работ по заданию оператора решает весь комплекс работ по приданию и удержанию ОПА в состоянии неподвижной платформы в заданном оператором положении над объектом работ..

В состав подсистемы контроля положения ОПА в пространстве над объектом работ входят акустические маяки (1.1, 1.2, 1.3 1.n), блок предварительной обработки информации анализирующий отклонение от заданного положения ОПА в районе работ предварительно оборудованном акустическими маяками.

В состав движительной подсистемы входят шесть винтовых движителей расположенных в вершинах октаэдра (2.1, 2.2, 2.6) и двенадцать подруливающих движителей (3.1, 3.2, 3.12) которые располагаются по две штуки в непосредственной близости с каждым винтовым движителем и блок управления движителями изменяющий величину и направление вектора их воздействия по команде центральной ЭВМ.

Методика проведения подводно-технических работ обитаемым подводным аппаратом оснащенным системой динамического позиционирования заключается в том, что в районе нахождения объекта работ оператор обитаемого подводного аппарата выполняет съемку рельефа дна, расставляет акустические маяки, устанавливает ОПА в положение удобное для производства работ, дает команду системе динамического позиционирования запомнить положение ОПА по отношению к маякам и осуществлять удержание ОПА в заданном положении при внешних воздействиях вызванных природными явлениями или работой устройств манипуляционно-технологического комплекса ОПА.

Обитаемый подводный аппарат, оснащенный предложенной системой динамического позиционирования, приобретает качества неподвижной платформы над объектом работ и позволяет экипажу выполнять различные виды подводно-технических работ [10].

Расширения функциональных возможностей манипуляционно-технологического комплекса обитаемого подводного аппарата в экспедиционных условиях.

Многообразие задач при проведении подводно-технических и научно-исследовательских работ с борта обитаемого подводного аппарата (ОПА) требуют большого количества технологического оборудования и измерительных приборов.

Известны работы по созданию манипуляторов, буровых установок, проботборников грунта и придонной воды, телевизионных камер, осветительной техники, океанологических измерительных приборов и другого оборудования обитаемых подводных аппаратов [7,8,9].

Имеющиеся механизмы, приборы и устройства позволяют выполнять разнообразные виды работ при проведении глубоководных исследований с использованием обитаемых подводных аппаратов. При этом необходимо учесть, что для выполнения каждого вида подводно-технических или научно-исследовательских работ необходимо в заводских условиях производить монтаж приборов и оборудования манипуляционно-технологического комплекса. Одновременная установка на ОПА большого количества приборов и оборудования не представляется технически возможным. [2].

Решение задачи расширения функциональных возможностей манипуляционно-технологического комплекса обитаемого подводного аппарата (ОПА) в экспедиционных условиях направлено на сокращение времени необходимого для проведения запланированного объема работ и повышения безопасности при выполнении разнообразных подводно-технических и научно-исследовательских работ.

В таблице 1 приведен ориентировочный перечень научно-исследовательских и подводно-технических работ выполняемых с использованием обитаемых подводных аппаратов и примерный состав оборудования и океанологических измерительных приборов необходимых для их выполнения [2].

Перечень задач, решаемых с обитаемых подводных аппаратов и используемое при этом оборудование, механизмы и приборы.

Таблица 1

Перечень задач исследования океана и выполнения подводно-технических работ с борта обитаемого подводного аппарата.	Оборудование обитаемых подводных аппаратов							
	Манипулятор	Драга	ПТА	Пробоотборник	Телекамера	СТД измеритель	Оптические каналы	Радиационные, химические каналы
1. Исследования водной толщи и придонного пространства Мирового океана		*		*		*		
2. Разведка и освоение минеральных и биологических ресурсов океана		*		*		*		
3. Поиск, обнаружение и обозначение мест затонувших объектов.					*			
4. Обследование затонувших или находящихся на грунте объектов и обеспечение работ по их подъему.					*			
5. Разбор завалов и разрушение преград.			*		*			

6.Выполнение работ по установке, монтажу, демонтажу, обследованию и ремонту подводных сооружений.			*		*			
7.Разведка и разработка подводных месторождений нефти, газа и других полезных ископаемых.		*	*		*	*		
8.Монтаж и эксплуатация подводных буровых установок		*	*		*			
9.Выполнение операций подводной сварки и резки объектов			*					
10.Выполнение съемки рельефа дна.					*			
11.Визуальный и технический контроль труднодоступных объектов и территорий.			*		*			
12.Выполнение радиационной, химической и бактериологической разведки акваторий и		*	*					

объектов .								
13.Отбор проб воды, грунта и т.д.		*						

Для реализации предлагаемого подхода разработана структурная схема комплекса многофункционального манипуляционно-технологического оборудования и океанологических измерительных приборов обитаемых подводных аппаратов, приведенная на Рис.5.

Обитаемые подводные аппараты рассматриваются как глубоководные подвижные платформы обладающие необходимыми мореходными качествами, мощной энергетической установкой и большой автономностью.

Структурная схема с учетом приведенных в таблице 1 материалов включает в себя: центральную вычислительную машину (1), блок обработки информации устройств манипуляционно-технологического комплекса, автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) и океанологических измерительных приборов, входящих в оборудование обитаемого подводного аппарата (2), центрального пульта управления (13), включающего в себя рабочее место оператора манипуляционно-технологическим комплексом (6) и рабочее место оператора автономным необитаемым подводным аппаратом (7), блок управления манипуляционно-технологическим комплексом (4) и блок управления автономным необитаемым подводным аппаратом (5). Заборная часть структурной схемы комплекса включает в себя: автономный необитаемый подводный аппарат (8); штатное оборудование обитаемого подводного аппарата: манипулятор, пробоотборник, драгу, телекамеру, фотокамеру, светильники и акустический гидролокатор (9); штатные измерительные приборы обитаемого подводного аппарата: измерительные каналы температуры, электрической проводимости и гидростатического давления заборной воды, измерительные каналы скорости и направления вектора скорости течения (10); сменное оборудование: сварочное, механической резки металлов, монтажный инструмент, пробоотборник придонной воды и ила, пробоотборник биологических объектов (11); сменные измерительные приборы гидрохимических, гидрооптических и радиационных параметров (12).

Приборы и оборудование, приведенные в таблице 1, изготавливаются в соответствии с требованиями стандартизации, т.е.

они имеют унифицированные посадочные места, унифицированные разъемные механические и электрические соединения и унифицированную разводку электрических разъемных соединений.

Основой многофункционального манипуляционно-технологического комплекса обитаемого подводного аппарата является штатный комплект приборов и оборудования, который используется практически при проведении всех работ. Вариант штатного оборудования обитаемого подводного аппарата приведен на Рис.5. под номерами (8,9, 10). Дополнительно многофункциональный манипуляционный комплекс может быть укомплектован сменным оборудованием: сварочным, механической резки металлов, монтажным инструментом, пробоотборниками придонной воды и ила, пробоотборниками биологических объектов (11).

В состав сменного оборудования входят измерительные приборы: гидрохимических и гидрооптических параметров заборной воды, радиационные измерительные приборы (12). Сменные приборы и оборудование манипуляционно-технологического комплекса выполнены с учетом требований по стандартизации.

Монтаж сменного оборудования и сменных измерительных приборов предназначенных для решения конкретных исследовательских и подводно-технических задач осуществляется в экспедиционных условиях.

Оснащение обитаемых подводных аппаратов многофункциональным манипуляционно-технологическим оборудованием в соответствии с разработанной структурной схемой комплекса многофункционального манипуляционно-технологического оборудования и океанологических измерительных приборов обитаемых подводных аппаратов позволяет выполнять широкий комплекс научно-исследовательских и подводно-технических работ выполняемых обитаемыми подводными аппаратами,

Материалы таблицы 1, в которой приведен перечень задач решаемых с использованием обитаемых подводных аппаратов, свидетельствуют о том, что приборы и оборудование, которыми оснащается подводный аппарат задействуется при решении отдельных задач частично и устанавливаются на ОПА перед выполнением определенных задач или класса задач.

Учитывая, что приборы и оборудование манипуляционного комплекса выполнены с учетом требований по стандартизации, формируем рабочую схему при установке сменного рабочего оборудования с унифицированной системой управления, используя обитаемый подводный аппарат, как единую базовую транспортную систему.

Методика проведения подводно – технических работ обитаемым подводным аппаратом оснащенным манипуляционно-техническим комплексом заключается в том, что в районе нахождения объекта работ оператор обитаемого подводного аппарата выполняет рекогносцировочное погружение на аппарате оснащенном штатным оборудованием и штатными измерительными приборами для детального определения характера и объема работ, которые необходимо выполнить на данном объекте. Одновременно оператор ОПА определяет состав приборов и оборудования манипуляционно-технологического комплекса который необходим для выполнения данных работ.

Обитаемый подводный аппарат поднимается на борт судна-носителя ОПА, где непосредственно в экспедиционных условиях производится установка необходимых приборов и оборудования манипуляционно-технологического комплекса позволяющих выполнить полностью или частично объем подводно-технических работ на объекте. При этом может быть заменена часть штатного оборудования и установлено сменное оборудование. Операция по замене приборов и оборудования манипуляционно-технологического комплекса может быть проведена неоднократно по мере необходимости для выполнения всего объема работ на объекте. Все работы по изменению состава манипуляционно-технологического комплекса ОПА выполняются в экспедиционных условиях, что позволяет значительно сократить экспедиционное время и стоимость выполнения работ на объекте

Литература

1.Беленький В.Н., Борнусов Д.В., Владимиров Ю.В., Нерсесов Б.А., Смирнов Г.В., Фендриков А.Н. «Анализ современного состояния и тенденций развития обитаемых подводных аппаратов для комплексных океанологических исследований» в материалах VIII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» 2003 г. Москва.Стр.205-228.

2. Войтов Д. В. «Подводные обитаемые аппараты» – М.: ООО «Издательство АСТ»: ООО«Издательство Астрель», 2002.-303с., 16 л. ил.

3. Парамонов А.А. Сторожев П.П. Телефото комплекс для глубоководного обитаемого аппарата «Консул» Материалы VI Международной научно-технической конференции « Современные методы и средства океанологических исследований» Москва 2000 г. с 195-198.

4. Беленький В.Н. « Анализ современных средств освещения подводной обстановки обитаемых подводных аппаратов» Материалы VI Международной научно- технической конференции « Современные методы и средства океанологических исследований» Москва 2003 Г с 46-51.

5. Смирнов Г.В., Беленький В.Н. Патент на изобретение № 2314229 от 10 января 2008 г. «Способ комплексного освещения внешней (подводной) обстановки обитаемых подводных аппаратов».

6. Г.В. Смирнов, В.Н. Еремеев, М.Д. Агеев, Г.К. Коротаев, В.С. Ястребов, С.В. Мотыжев «Океанология, Средства и методы океанологических исследований» Наука, Москва 2005 795 стр.

7. Хэкмен Д., Коди Д. «Подводный инструмент»: Пер. с англ.-Л.-Судостроение, 1985.-128с.

8. Ракидин И.Я. «Подводные робототехнические системы» – М.:2002.191с.

9. Морские технологии, под общей редакцией академика М.Д. Агеева, Вып.3, «Подводные роботы и их системы», Дальнаука, Владивосток, 2000.

10. Смирнов Г.В., Дозоров Т.А. Патент России № 2271302, кл. В63Н 19/00 (2006.01) Способ перемещения тела в морской среде и устройство для его реализации.

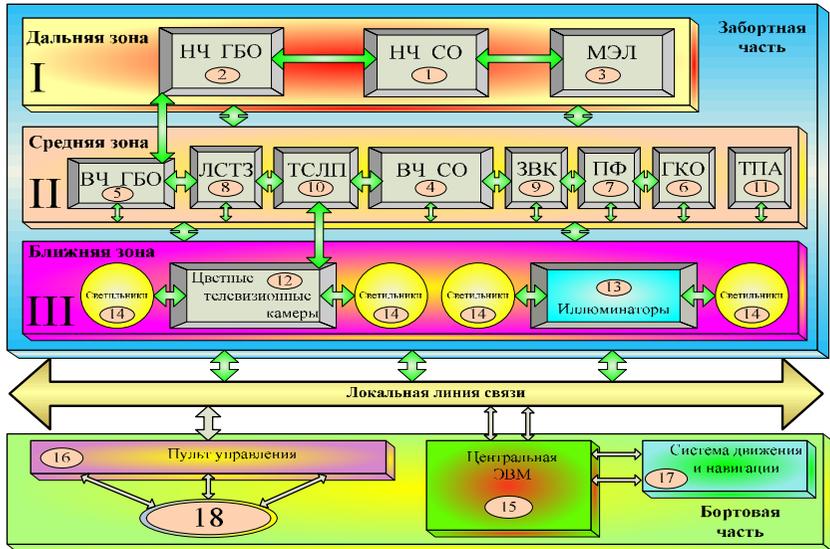


Рис. 1. Структурная схема комплексной системы освещения подводной обстановки

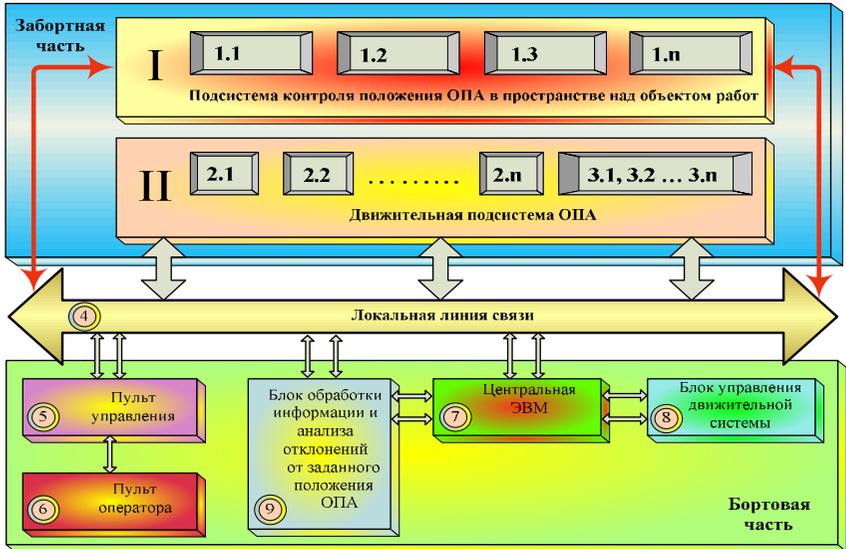


Рис. 4. Структурная схема системы динамического позиционирования ОПА

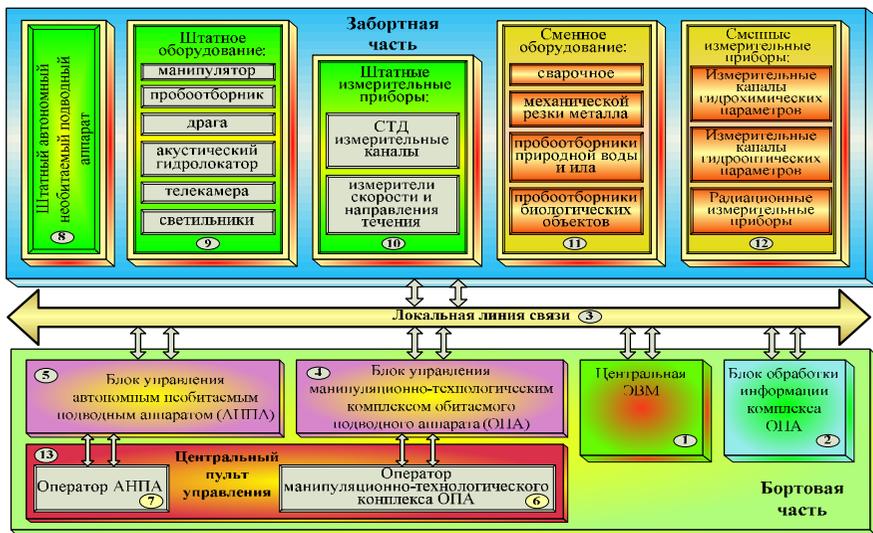


Рис. 5. Структурная схема манипуляционно-технического комплекса ОПА

ГАНС С УЛЬТРАКОРОТКОЙ БАЗОЙ ДЛЯ БУКСИРУЕМЫХ, АВТОНОМНЫХ И ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Носов А.В., Леденев В.А., **Парамонов А.А.**, Русак Ю.С., Сычев В.А., Римский-Корсаков Н.А.

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва, Нахимовский пр. 36, т. 124-85-09, факс 124-85-09, gbo@mail.ru
 Федеральное Государственное Унитарное Предприятие Опытнo – Конструкторское Бюро Океанологической Техники РАН, Москва, ул. Летняя, 1 Тел/факс 8-495-350-26-12, www.edboe.ru

Сообщается о разработке гидроакустической навигационной системы с ультракороткой базой нового поколения, выполненной в 3 базовых модификациях, предназначенных для использования на глубинах до 6000 м, 2000 м и 200 м, соответственно. Приведены основные технические характеристики системы.

В течение многих лет для позиционирования буксируемых, телеуправляемых и автономных подводных аппаратов (ПА) относительно судна обеспечения используются гидроакустические навигационные системы с ультракороткой базой (ГАНС УКБ). Разработкой таких систем за рубежом занят целый ряд фирм, которые поставляют на рынок широкий спектр ГАНС УКБ, удовлетворяющих самым различным требованиям потребителей [1-6].

В то же время многолетний опыт эксплуатации в ИОРАН различных подводных аппаратов, таких как обитаемые подводные аппараты «Мир», буксируемые аппараты «Звук» и «Мезоскан-М» и телеуправляемые аппараты «Гном», показывает, что для их позиционирования относительно судна обеспечения целесообразно создание специализированной ГАНС-УКБ, приспособленной для работы с указанными аппаратами.

Указанные обстоятельства обусловили актуальность разработки интегрированной ГАНС-УКБ нового поколения, содержащей широкий спектр унифицированных модулей, обеспечивающих проведение работ с указанными типами аппаратов в любых районах Мирового океана, включающих, прежде всего, шельф и прилегающие к нему районы экономической зоны.

Результатом настоящей работы является создание ГАНС-УКБ, выполненной в трех модификациях [7]:

- ГАНС-УКБ для определения координат глубоководных ПА (типа «Звук-6», «Мир») на глубинах до 6000 м и дальности до 8000 м;
- ГАНС-УКБ для определения координат ПА (типа «Мезоскан-М») на глубинах до 2000 м и дальности до 3000 м и
- ГАНС-УКБ для определения координат ПА (типа «Гном») на глубинах до 200 м и дальности до 500 м.

В состав ГАНС-УКБ входят:

-комплект судовых гидроакустических приемо-передающих антенн (СГППА), обеспечивающих излучение сигналов запроса и приема сигналов от маяков – ответчиков различной модификации, включающий гидроакустическую антенну СГППА-L, предназначенную для работы с глубоководными ПА типа «Звук-6» и «Мезоскан-М», и судовую гидроакустическую антенну СГППА-S, предназначенную для работы с шельфовыми и мелководными ПА типа «Микросанд» и «Гном»;

- комплект датчиков курса, крена и дифферента, обеспечивающих определение угловых и пространственных координат СГППА-L и СГППА-S;

- средства крепления СГППА-S на судне (НИС «Рифт» и НИС «Профессор Штокман») при работе в дрейфе;

-судовой электронный блок (СБЭ), устанавливаемый на НИС и непосредственно связанный с СГППА;

- комплект гидроакустических маяков, устанавливаемых на ПА различного класса, содержащий несколько модификаций маяков-ответчиков (ГМО-6000, ГМО-2000, ГМО-200 и МО-Д) для работы в глубоководных районах, на мелководье и на шельфе;

- автоматизированное рабочее место (АРМ) сбора, обработки и отображения навигационной информации, представляющее собой программно-аппаратный комплекс на базе ПК и

- программное обеспечение АРМ ГАНС, обеспечивающее контроль и управление работой ГАНС УКБ, ввод навигационной и вспомогательной информации, ее обработку, отображение на экране монитора и запись на накопителе.

Основные технические характеристики ГАНС-УКБ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики ГАНС-УКБ.

Наклонная дальность действия:	
- при работе с ПА типа «Звук-б» и «Мир»	до 8000 м
- при работе с ПА типа «Мезоскан-М»	до 3000 м
- при работе с ПА типа «Гном»	от 20 до 500 м
Диапазон рабочих глубин МО:	
- ГМО-6000	до 6000 м
- ГМО-2000	до 2000 м
- ГМО-200	до 200 м
- МО-Д	до 6000 м

Диапазон рабочих частот:	
- для дальности до 500 м	30-50 кГц
- для дальности до 8000 м	7-14 кГц
Погрешность определения ПА относительно места установки антенны GPS	не более 1,0 % от наклонной дальности
Точность измерения угла пеленгации сигналов МО	не менее 1,0 ⁰
Число МО, местоположение которых может определяться одновременно	не менее 2
Автономность МО в режиме молчания	не менее 365 суток
Количество ответов МО	не менее 10 ⁵
Масса МО:	
- ГМО-6000 и - ГМО-2000	10 кг
- ГМО-200	0,2
- МО-Д	20

Внешний вид судового электронного блока и маяка – ответчика ГМО-6000 представлен на рис. 1 и 2, а вид окна на экране навигационного ПК в одном из режимов отображения навигационной информации представлен на рис. 3.

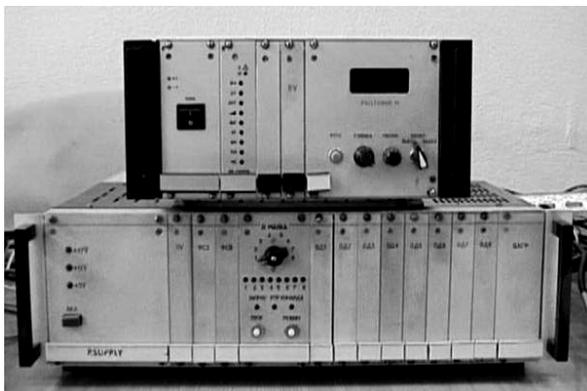


Рис. 1. Судовой электронный блок ГАНС-УКБ.



Рис. 2. Гидроакустический маяк-ответчик ГМО-6000.

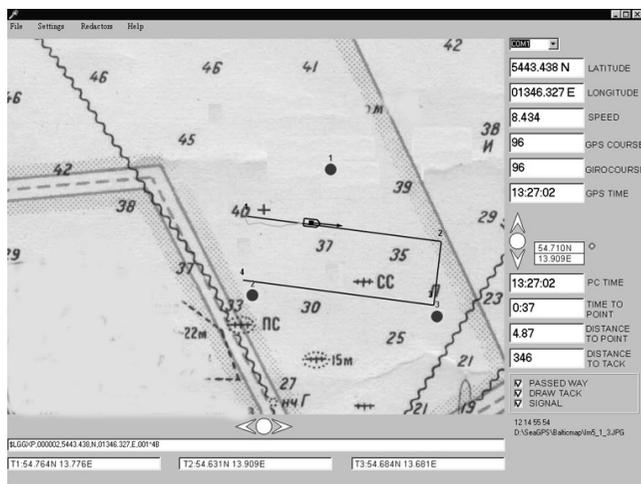


Рис. 3. Изображение на экране монитора навигационного ПК, на котором отображается (в цвете) батиметрическая карта района работ, маршруты судна и ПА.

Предварительные натурные испытания ГАНС-УКБ подтвердили перспективность ее использования на судах ИО РАН для позиционирования различных типов ПА. В настоящее время система проходит натурные испытания в Атлантическом океане на НИС «Академик Иоффе»

Литература

1. <http://sonardyne.co.uk/Products/PositioningNavigation/>
2. <http://www.ixsea.com/en/products/>
3. <http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/FF57C18363FAD917C1256A7E002B9F2F?OpenDocument>
4. <http://www.link-quest.com/html/intro2.htm>
5. http://www.tritech.co.uk/products/products-micron_nav.htm
6. <http://www.sea.co.uk/swathplus.aspx?nav=products>
7. <http://www.edboe.ru/>

МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС МНОГОЦЕЛЕВОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА РАБОЧЕГО КЛАССА ROSUB-6000 И ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ

Суконкин С.Я.

ОКБ океанологической техники РАН

Острая нужда Индии в доступных и долгосрочных собственных ресурсах, заставила ее наращивать капиталовложения в разработку как шельфовых, так и глубоководных удаленных морских зон.

Еще в 1998 г. Управление полиметаллических конкреций (PMN) Департамента освоения океана (DOD) правительства Индии, впоследствии преобразованного в Министерство наук о Земле (MoES), настоятельно рекомендовало разработать отечественный глубоководный комплекс многоцелевого телеуправляемого подводного аппарата рабочего класса с глубиной погружения до 6000 м.

Для создания такого комплекса, отвечающего потребностям Департамента и Индии в целом, в качестве ведущего заказчика с индийской стороны был выбран Национальный Институт Океанских Технологий в Ченнае (NIOT). Российским контрагентом стало московское Федеральное Государственное Унитарное Предприятие Опытнo-Конструкторское Бюро Океанологической Техники (ФГУП ОКБ ОТ РАН).

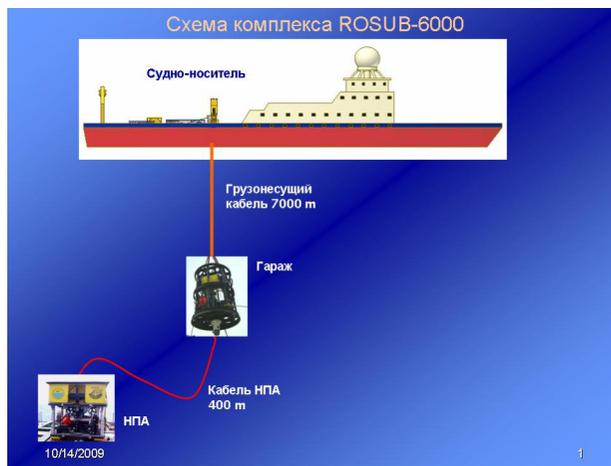
Проект был включен в Комплексную долгосрочную программу научно-технического сотрудничества (КДП НТС) между Россией и Индией. Это крупнейшая двусторонняя научно-техническая программа, которую Индия проводила с какой-либо из стран. КДП НТС поддерживается Департаментом науки и технологии правительства (DST) Индии с одной стороны и Российской академией наук (РАН) с другой. Соглашение по КДП НТС было подписано 3 июля 1987 года Михаилом Горбачевым, тогда президентом Советского Союза, и премьер-министром Индии Радживом Ганди. Бессменным сопредседателем с нашей стороны совместного Совета КТП НТС до прошлого года был академик Г.И. Марчук.

В рамках этой комплексной программы ФГУП ОКБ ОТ РАН совместно с НИОТ осуществило проект мобильного комплекса многоцелевого необитаемого подводного аппарата (НПА) рабочего класса с глубиной погружения до 6000 м, предназначенного для выполнения различных научно-исследовательских и подводно-технических работ.

Комплекс может быть использован для решения научных и инженерно-технических задач, таких как

- Обеспечение работ по разведке и добыче нефтяных и газовых месторождений,
- Обеспечение работ по разведке и добыче газогидратных месторождений,
- Обеспечение работ по разведке и экспериментальной добыче рудных месторождений, конкреций и т.п.
- Проведение подводно-технических работ на платформах, подводных трубопроводах, кабелях и др. подводных объектах.
- Проведение аварийно-спасательных работ, и т.п.

Схема комплекса ROSUB-6000 представлена на [Рис. 1](#)



Комплекс НПА включает в себя:

1. НПА.
2. Гараж.
3. Палубное оборудование:
 - 3.1. Спуско-подъемное устройство.
 - 3.2. Транзитная лебедка.
 - 3.3. Накопительная лебедка с 7 км грузонесущего силового высоковольтного и оптоволоконного кабеля.
 - 3.4. Контейнерный пульт управления.
 - 3.5. Контейнерная система энергоснабжения.
 - 3.6. Контейнер хранения и обслуживания НПА и гаража.

Комплекс ROSUB-6000 может быть размещен на судне, буровой платформе, гидротехническом сооружении и т.п.



Рис.2 НПА.

НПА, представляет собой свободноплавающий аппарат с 6-ю степенями свободы.

В состав НПА (Рис.2) входят:

1. Двигательный комплекс, состоящий из семи типовых, взаимозаменяемых электрических двигателей и системы управления.
2. Электропреобразовательный силовой блок.
3. Электروهидравлический силовой блок.
4. Навигационный комплекс, включающий в себя инерциальную навигационную систему, эхолот, гидролокатор и гидроакустическую навигационную систему с длинной и ультракороткой базами.
5. Бортовой вычислительный комплекс.

6. Манипуляторный комплекс с семистепенным и пятистепенным манипуляторами.
7. Телевизионный комплекс со светильниками.

Гараж предназначен для развязки НПА от влияния 7-километрового грузонесущего кабеля и судна-носителя, а также обеспечения НПА возможности свободного перемещения на кабеле нейтральной плавучести.

Кроме того, гараж обеспечивает жесткую фиксацию к нему НПА при спуско-подъемных операциях.

В состав гаража входят:

1. Лебедка кабеля НПА.
2. Кабель НПА.
3. Электросиловой блок.
4. Гидрогидравлический блок
5. Телекамеры.
6. Светильники.
7. Стыковочное устройство НПА.
8. Стыковочное устройство СПУ.

Палубное оборудование состоит из

1. Спускоподъемного устройства (СПУ) гидроприводного типа с активным компенсатором качки обеспечивает операции спуска-подъема сцепки НПА-гараж при состоянии моря до 5 баллов.
2. 7 км грузонесущего высоковольтного с оптоволоконными жилами кабеля на палубной накопительной лебедке.
3. Пульты управления операторов НПА.
4. Энергетической установки, состоящая из дизель-генератора (при отсутствии соответствующего бортового питания), частотного преобразователя, повышающего трансформатора, и защитно-регулирующего распределителя.

Рис.3, 4, 5. НПА и гараж. Погружение



Рис.3



Рис.4.

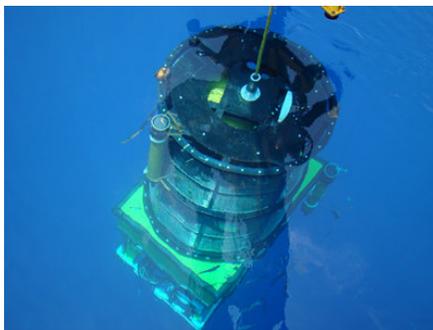


Рис.5.

Некоторые технические данные комплекса ROSUB-6000
НПА (рабочего класса)

Рабочая глубина	6000 м
Габаритные размеры	2530x1800x1700
Вес в воздухе	3080 кГ
Вес в воде	-20 кГ
Упор вертик.	600 кГ
Упор марш.	400 кГ

Упор лаг.	400 кГ
Установленная эл. мощность преобразователей	50 кВт
Напряжение питания	6 кВ

Гараж

Рабочая глубина	6000 м
Габаритные размеры	d 2500x3000
Вес в воздухе	3000 кГ
Вес в воде	2200 кГ
Запас кабеля НПА на лебедке	400 м
Установленная эл. мощность преобразователей	10 кВт
Напряжение питания	6 кВ

СПУ

Тип привода	гидравлический
Грузоподъемность	15 т
Максимальный вылет	5 м
Миним. высота стыковки с гаражом/НПА	-4,5 м
Компенсация качки	активная

Грузонесущий кабель

Рабочая глубина	6000 м
Запас кабеля НПА на лебедке	7000 м
Диаметр кабеля	37,5 мм
Рабочая нагрузка	8 т
Разрывное усилие	60 т
Грузонесущая и защитная оболочки	Арамид + полиэстер
Рабочее напряжение	6 кВ
Число жил	3x6 кв мм +2x1 кв мм Cu 12 оптоволокон (125 μm) одномод.
Вес в воздухе	1450 кГ/км
Вес в воде	290 кГ/км

Кабель НПА

Рабочая глубина	6000 м
Запас кабеля НПА на лебедке гаража	400 м
Диаметр кабеля	42 мм
Рабочая нагрузка	1 т

Рабочее напряжение

Число жил

Вес в воздухе

Вес в воде

6 кВ

3х1,5 кв мм Cu

12 оптоволокон , 125

µm, одномод

480 кг/км

90 кг/км



Рис.6. Пульт управления.
Состоит из 3-х консолей: 1-й пилот, 2-й пилот, бортинженер

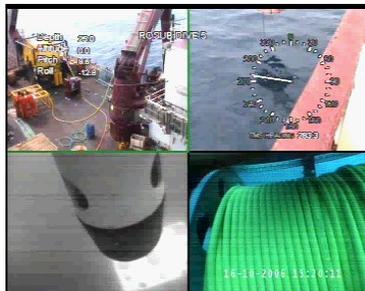


Рис.7. Мультиэкранный режим на пульте пилота. Вверху изображение с палубных видеокamer, внизу – с камер гаража: подготовка к стыковке



Рис.8. 5-ти степенной манипулятор

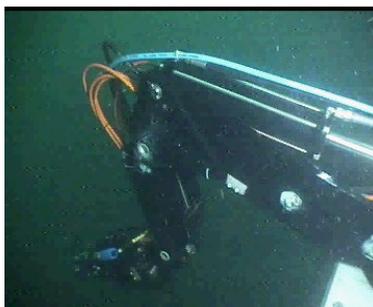


Рис.9. 7-ти степенной манипулятор

В настоящее время комплекс ROSUB-6000 установлен на океанское НИС Сагар Нидхи, имеющим систему динамического позиционирования (ДП), обеспечивающим точность позиционирования 1,8 м.

С 29 марта по 14 апреля 2009 г. в акватории Индийского океана были проведены глубоководные испытания многоцелевого

мобильного комплекса, в ходе которых брались пробы воды и грунта с глубин до 3500 м. В начале 2010 года планируется проведение российско-индийской экспедиции для выполнения комплексных совместных работ по исследованию депозитов газогидратов в районах Индийского океана с применением пассивной сейсмики, телеуправляемой глубоководной буровой системы и комплекса ROSUB-6000. Комплекс ROSUB-6000 обеспечит точную расстановку донных сейсмостанций на полигонах, а также необходимое обеспечение испытательных работ глубоководной буровой системы.



Рис.10. Глубоководная буровая система

Рис.11. Донные сейсмостанции

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНЖЕНЕРНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

**Ананьев Р.А., Дмитриевский Н.Н., Левченко О.В., Мерклин Л.Р.,
Мутовкин А.Д.**

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский проспект, 36
Тел.: (499) 1248540, E-mail: merklin@ocean.ru

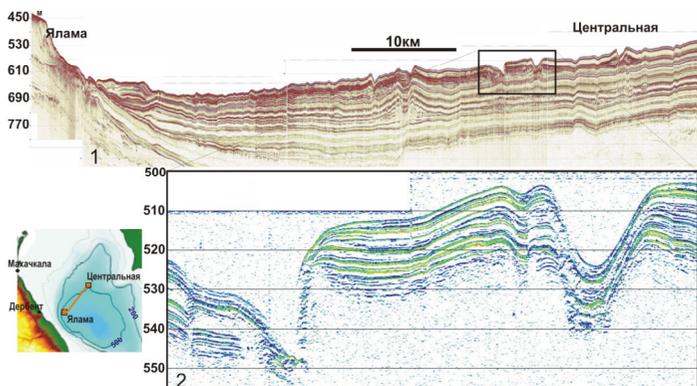
Начиная с 2004 года ИО РАН проводит инженерно-изыскательские работы в Каспийском море с использованием высокоразрешающих сейсмоакустических технологий, которые обеспечивают наивысшую разрешающую способность при картировании дна и структуры донных осадков как на мелководном

шельфе Северного Каспия, так и в глубоководной акватории Среднего Каспия. В соответствии с требованиями СНиП 11-02-96 и СП 11-114-2004 в комплекс инженерных изысканий на площадках строительства разведочных и эксплуатационных платформ, а также трасс нефтегазопроводов входят следующие виды сейсмоакустических работ: батиметрия, гидролокация бокового обзора, двухчастотное сейсмоакустическое профилирование. В этих видах работ нами использовались следующие технологии:

Батиметрия – узколучевое и многолучевое эхолотирование. В качестве узколучевого эхолота нами применялся параметрический эхолот-профилограф SES-2000-standard (частота 100 кГц, ширина луча 1.8°, рабочая глубина моря до 1000 м, точность определения глубины 2 см + 0.02% от глубины моря). В качестве многолучевого эхолота мы применяли эхолот RESON 8111 (частота 100 кГц, глубина моря до 3-1200 м, ширина полосы картирования 150°, точность определения глубины 0.5% от глубины).

Гидролокация бокового обзора. ГБО «Мезоскан» (частота 240 кГц, дальность – 300 м, глубина буксировки – до 2 км, разрешение по дальности 30 см.). ГБО «Klein-3000» (разрешение по дальности 10 см на частоте 75 кГц и может буксироваться на глубинах до 1500 м.), ДГБО «Неман - 240/500» (частота 240 и 500 кГц, дальность 100 и 300 м, разрешение по дальности 2.5 и 1 см).

Двухчастотное сейсмоакустическое профилирование. Сейсмопрофилограф «Геонт-Шельф» с электродинамическим (бумер) и электроискровым (спаркер) излучателями и одноканальной буксируемой приёмной антенной. Основные параметры профилографа - (мощность бумера/спаркера 0.2/0.6 кДж, аналоговая или цифровая сейсмокоса длиной 3м и 20м, диапазон частот 700-3000 / 200-1500 Гц, проникновение до 50/300 м под дном, разрешение 0.5-1.0 / 2-3 м, скважность 1-2 сек).. Для обеспечения наиболее высокого разрешения вместо одноканального сейсмопрофилирования с бумером мы, как правило, использовали бортовой узколучевой параметрический эхолот-профилограф SES-2000-standard (разностная частота тонального импульса выбирается в диапазоне 6-15 кГц, ширина луча 1.8°, проникновение под дном до 10-50 м в зависимости от типа донных осадков и глубины моря, разрешающая способность 5-15 см, компенсация вертикальных перемещений антенны с использованием датчика MRU-Z, скважность - до 50 излучений/сек).



Сравнительная оценка эффективности профилографов: в качестве примера приведён региональный сейсмический профиль, выполненный на НИС «Рифт» в Среднем Каспии между структурами Ялама-Самур и Центральная, демонстрирующий разрешающую способность сейсмопрофилографа «Геонт-Шельф» с электроискровым излучателем (1) около 2 м при проникающей способности около 300 м на глубинах моря до 600 м, а также пример записи профилографа SES-2000-standard (2) с разрешающей способностью менее 20 см и проникновением до 20 м под дном на тех же глубинах моря.

ГИДРОФИЗИКА,
ПОДВОДНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И
КОМПЛЕКСЫ, МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ
ОКЕАНА

**ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПОДВОДНЫХ СРЕДСТВ
ПОИСКОВОЙ МАГНИТОМЕТРИИ**

Нерсесов Б.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997 г. Москва, Нахимовский пр.36, тел.(0495) 7190370

Магнитометрические системы широко используются в дистанционных системах поиска подводных объектов (ПО), а также на измерительных стендах контроля магнитных полей кораблей, в неконтактных взрывателях донных мин и торпед, средствах морской геомагнитной съемки. Основные этапы развития подводных магнитометрических средств (ММС) представлены на табл.1.

С незапамятных времен судовая навигация осуществлялась с использованием магнитных компасов. Поэтому измерения региональных особенностей магнитного поля Земли (МПЗ), позволяющих повысить навигационную точность судовождения, проводились с использованием средств, осуществляющих геомагнитную съемку различных акваторий Мирового океана.

В начале Второй мировой войны на вооружение поступили донные мины, неконтактные взрыватели которых реагировали на магнитное поле (МП) объекта поражения (корабля, судна, подводной лодки).

Необходимость борьбы с неконтактными минами потребовала разработки средств снижения магнитных полей кораблей, а также создания контрольно-измерительных стендов, регистрирующих эффективность средств размагничивания.

Но особенное развитие магнитометрические системы получили в связи с актуальностью решения проблемы поиска подводных объектов.

Отметим, что поисковые магнитометры являются пассивными (скрытными) и надёжными средствами обнаружения ферромагнитных подводных объектов в условиях естественной (илистый грунт, донная флора, складки рельефа дна) маскировки.

Табл. 1. *Основные этапы развития подводных ММС*

Функция ММС <i>(область применения)</i>	Измеряемый параметр магнитного поля	Тип датчика магнитного поля
<i>Измерение вариаций геомагнитного поля.</i> <i>(Навигация по МПЗ).</i>	Вертикальная составляющая вектора МПЗ. Градиент МПЗ первого порядка.	Однокомпонентный датчик. Система двух однокомпонентных датчиков.
<i>Регистрация МП надводных и подводных объектов.</i> <i>(Неконтактные взрыватели подводного</i>	Ортогональные составляющие вектора МП объекта регистрации и градиент его МП.	Трехкомпонентный датчик. Система двух однокомпонентных датчиков

<p><i>(Системы поиска ПО).</i></p>	<p>магнитного момента ПО</p>	
--	------------------------------	--

Анализ данных, приведенных в табл.1, позволяет отметить определенную тенденцию научно-технического развития ММС – повышение порядка измеряемого параметра магнитного поля – скаляр, вектор, градиент первого порядка, тензор второго порядка, позволяющий определить расстояние до объекта и величину его магнитного момента.

Приоритетной задачей поисковой магнитометрии является повышение помехозащищённости ММС с целью увеличения дальности обнаружения подводного объекта. Выполнение поставленной задачи предполагается за счет компенсации: помех ферромагнитных масс и вихревых токов носителя, помех от его линейных перемещений и геомагнитных вариаций. При этом необходима разработка новых алгоритмов, учитывающих модели комплексных помех.

Общим недостатком всех поисковых ММС является относительно малая дальность действия, определяемая величиной магнитного момента ферромагнитного объекта, а также чувствительностью и помехозащищённостью датчика магнитного поля.

Поэтому требования, предъявляемые к магнитометрическим средствам нового поколения, предполагают разработку эффективных методов обработки информации и создание информационно-

измерительных устройств, обеспечивающих достаточную помехозащищённость и предельную дальность обнаружения ПО.

В зависимости от тактико-технических требований ММС подразделяются на средства обнаружения ПО бортового (на судах и подводных аппаратах) и стационарного (в буях, на льду или берегу) базирования.

При этом повышение дальности обнаружения и ширины зоны поиска подводных объектов буксируемыми или телеуправляемыми магнитометрическими средствами является актуальной задачей.

На протяжении последних десятилетий в качестве эффективных средств подводного поиска с успехом применялись ММС, буксируемые на кабель-тросе. Выбор данного метода использования средств магнитометрического обнаружения позволяет значительно снизить уровень воздействия помех судна на магниточувствительный датчик (МЧД), а также повысить его чувствительность. Однако недостатком буксируемых ММС является их громоздкая конструкция и низкая мобильность поиска подводных объектов.

Буксируемые ММС судового базирования можно разделить на два класса. Первый - однокомпонентные магнитометры чувствительностью до 0,01 нТл. Второй - магнитоградиентометры чувствительностью до 0,02 нТл/размер базы.

Для ММС первого класса буксировка осуществляется на глубинах до 200 метров и скорости 5 -14 узлов. Дальность действия таких средств колеблется от 100 до 800 метров (соответственно полоса обнаружения – 200 – 1600 метров).

Как правило, в буксируемых магнитометрах в качестве МЧД используется протонный датчик с дальностью обнаружения не более 400 метров. В настоящее время разработан квантовый магнитометр, позволяющего вдвое увеличить дальность обнаружения подводного объекта.

Для ММС второго класса, буксировка за судном может осуществляться несколькими способами. Первый - на глубинах до 50 метров с разведением датчиков на 50 метров в обе стороны от кильватера. В этом случае база является гибкой, но (за счет гидродинамических свойств буксировщика и гидроакустической системы позиционирования) можно достаточно точно определить величину базы.

Второй – буксировка за кораблем происходит на одном кабель-тросе, но с жесткой базой (до 1,0 – 1,5 метра). В этом случае высокая чувствительность квантового магнитометра приобретает решающее значение.

Преимуществом таких приборов является отсутствие влияния вариаций МПЗ на пороговую чувствительность, что очень важно для повышения помехозащищенности особенно в зонах повышенной активности МПЗ (например, морей Арктического бассейна).

Эффективное и безопасное проведение разнообразных подводных работ (поиск и обнаружение; охрана и инспектирование подводных объектов; аварийно-спасательные и специальные работы) требует создания нового класса магнитометрических средств, расположенных на необитаемых подводных аппаратах (ПА).

В отличие от буксируемой, бортовая ММС должна функционировать в условиях помех, создаваемых корпусом и электродвигателями подводного аппарата. Поэтому необходима разработка его корпуса из немагнитных материалов, а также бортовой системы управления движением ПА, не создающих помех магнитометру (немагнитные двигатели, электропитание на переменном токе, компенсаторы помех и т.д.).

Интересным конструктивным решением может быть расположение магнитометров на специальных пилонах, удаленных от

корпуса на 0, 25 – 0,5 м. При этом упрощается задача проектирования градиентометрической системы измерения магнитного поля с малой базой.

Отметим, что при этом значительно повышается помехозащищенность (на фоне аномалий геомагнитного поля), но снижается дальность обнаружения ПО.

В Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН в 2003-2006 г.г. разработан и прошел испытания макетный образец подводного микроаппарата (ПМА) нового поколения «Краб» с бортовым магнитометрическим каналом поиска подводных объектов, не имеющий аналогов у нас в стране и за рубежом (рис.1).



Рис. 1. Внешний вид ПМА с бортовым магнитометром.

В отличие от отечественных средств магнитометрического поиска, американские конструкторы фирмы «JW Fishers» разработали различные модификации металлоискателей в буксируемом «PULSE 12» и бортовом «RMD -1» вариантах.

Разработанные металлоискатели являются активными индукционными средствами обнаружения, для которых (при определении дальности обнаружения) существенным является не магнитный момент (масса материала с выраженными магнитными свойствами), а контраст проводимости среды и эффективная (обращенная к рамке) площадь металлического объекта.

Сравнительный анализ эффективности бортовых средств отечественной и зарубежной магнитометрии показал, что индукционные системы (металлоискателя) значительно проигрывают в дальности обнаружения ПО.

Разработка бортовой магнитометрической системы позволит (по сравнению с буксируемым вариантом) значительно повысить оперативность поиска ПО. Для выполнения поставленной задачи – создания магнитометра, пригодного для эксплуатации на борту телеуправляемого ПМА использована ММС повышенной помехозащищенности и малых габаритов.

В качестве датчика магнитного поля бортовой ММС - использован феррозондовый магнитометр, обеспечивающий чувствительность не менее 0,1 нТл (по градиенту поля до 0,02 нТл/м) в полосе частот более 20 Гц.

Исходя из технических и эксплуатационных требований (достаточно высокая чувствительность при малых габаритах), из компонентных магнитометров для применения в подводном микроаппарате также могут быть рекомендованы опτικο-

механический магнитометр, а из скалярных – ядерно–прецессионный, называемый обычно протонным.

Разработанный в ИО РАН макетный образец магнитометрического канала, в состав которого входят макеты блока магниточувствительных датчиков, электронного блока и блока питания, предназначен для поиска и обнаружения подводных объектов в дальней зоне (20-400 м).

Актуальным и качественно новым направлением поисковой магнитометрии является разработка пассивного магнитолокатора с использованием (в качестве приемного устройства) пространственно - распределенной системы датчиков магнитного поля, а также программного обеспечения методов пеленгации, локации и классификации подводных объектов.

В основе этих методов лежит возможность аппроксимировать магнитное поле локальных объектов, обладающих собственным магнитным моментом, на расстояниях превышающих их размеры, магнитным полем точечного диполя. При этом местоположение объекта обнаружения определяется вектором магнитной индукции и его пространственными производными в некоторой точке окружающего пространства. Измерение и этих характеристик магнитного поля и соответствующая обработка результатов измерения позволяют определить координаты и элементы движения подводного объекта. При этом дальность действия ММС определяется магнитными характеристиками объекта поиска (величиной магнитного момента, зависящего от его ферромагнитной массы), помеховой обстановкой в районе поиска, а также чувствительностью датчика магнитного поля.

Таким образом, использование тензорных магнитометрических систем позволяет определить не только пеленг, но и координаты подводного объекта, а также параметры его движения.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ
ПО СОЗДАНИЮ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ
АНТИТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ АКВАТОРИЙ**

Нерсесов Б.А.

Учреждение Российской академии наук Институт океанологии
им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д.36,

Тел. 8(495) 7190370, e-mail: bnersesov@yandex.ru .

Многочисленные факты террористических нападений на корабли НАТО во время нахождения их в арабских портах, а также опыт противодиверсионной охраны отечественных кораблей и судов при нахождении в нейтральных водах, подтверждают необходимость обеспечения их безопасности.

Комплексная система антитеррористической защиты обеспечивает охрану надводных и подводных объектов: портов (причальных сооружений, пришвартованных судов), береговых объектов повышенной экологической опасности (АЭС, топливных терминалов), судов (на внешнем рейде, в нейтральных водах и иностранных портах), а также подводных трубопроводов.

Эту функцию может выполнить быстроразвертываемый комплекс стационарных и мобильных средств обнаружения

подводных объектов, в том числе осуществляющих несанкционированное проникновение подводных объектов в охраняемую акваторию. Продолжительность непрерывной работы системы антитеррористической защиты не ограничена.

При этом данные о подводной обстановке поступают подводному кабелю на береговой или судовой пост управления, а программное обеспечение позволяет идентифицировать движущийся подводный объект и включить сигнал тревоги. Дальность линии связи может достигать 1000 м

Участие оператора в процессе принятия решения позволяет повысить качество охраны надводных и подводных объектов.

Применение комплексной системы антитеррористической защиты акватории рекомендуется в следующих режимах:

1. **Стационарном** - с использованием рубежных систем охраны акватории на базе буйковых (или донных) гидролокаторов (или магнитометров), а также систем объектовой охраны (судна) с помощью опускаемого гидролокатора.

2. **Мобильном** - с использованием поисковых систем гидролокации или магнитометрии, расположенных на катере или подводном аппарате.

Основными элементами комплексной системы антитеррористической защиты акватории являются гидролокаторы кругового обзора - ГКО, благодаря высоким рабочим частотам (310 и 675 кГц) которых, обеспечиваются требуемые тактико-технические характеристики: необходимая дальность обнаружения подводного диверсионного средства (150- 300 м) и небольшая масса (1,5 -3 кг).

Так система из четырех ГКО может контролировать акваторию до 320000 кв.м. (При этом граница ее охраны может быть легко совмещена с географической конфигурацией).

Эффективность комплексной системы антитеррористической защиты акватории может быть повышена за счет использования стационарных магнитометрических средств обнаружения, которые (в отличие от гидролокаторов) не реагируют на «ложные цели» естественного происхождения (косяки рыб, валуны, бревна и т.п.).

Кроме того, при рубежном и объектовом режиме охраны (в случае обнаружения подводного объекта) для его поиска и идентификации могут быть использованы подводные микроаппараты, оснащенные гидролокатором, магнитометром и видеокамерой. Значительное снижение массогабаритных характеристик поисковых подводных аппаратов (3 и 10 кг), а также возможность их использования с маломерных плавсредств (катеров и надувных лодок, необорудованных подъемными устройствами) повышает мобильность комплекса.

передачей информации о подводной обстановке в контролируемой акватории) позволит осуществлять эффективную антитеррористическую охрану значительной акватории.

Стоимость стационарной системы подводного наблюдения, состоящей из 1 притопленного буя с гидролокатором кругового обзора (ГКО), кабелем связи (1000 м) и компьютером поста контроля составляет 2-3 млн. руб. В случае использования 3-4 буюв с ГКО – 8-10 млн. руб. Стоимость ПМА, оборудованного ГКО, составляет 1 млн. руб. Необходимое время изготовления макета системы охраны – 6 месяцев.

**АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛНОГО ПРОФИЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ЗВУКА
НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЕГО ФРАГМЕНТА**

Машошин А.И., Соловьева О.Б.

ОАО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор", 197046, г. Санкт-
Перербург, ул. Малая Посадская, 30, т. (812) 499-78-71, факс
(812) 232-33-76, amashoshin@eprib.ru

Использование современных гидроакустических средств военного назначения предполагает широкое использование оперативных гидроакустических расчетов, которые выполняются в интересах прогноза дальности действия этих средств в различных режимах их работы, а также для адаптации реализованных в этих средствах алгоритмов обнаружения, классификации и определения координат целей к текущим гидроакустическим условиям.

Основной (но не единственной) исходной информацией для проведения оперативных гидроакустических расчетов является вертикальное распределение скорости звука (ВРСЗ) от поверхности до дна моря в районе плавания. Наиболее естественным путем получения ВРСЗ является его непосредственное измерение при помощи измерителя скорости звука (ИСЗ). Однако подводные лодки и надводные корабли ВМФ, как правило, оснащены ИСЗ, позволяющими проводить измерения в ограниченном интервале глубин (в частности в интервале глубин погружения подводной лодки). Ввиду этого актуальной является задача формирования полного профиля ВРСЗ (т.е. от поверхности до дна моря) на основе измерения его фрагмента.

Целью доклада является изложения результатов разработки и оценки эффективности нового алгоритма построения ВРСЗ от поверхности до дна моря на основе измерения его фрагмента с использованием созданной по результатам многолетних наблюдений проблемно ориентированной базы данных (БД), содержащей статистическое описание ВРСЗ в различных районах Мирового океана в различные сезоны года.

При обращении к данной БД с указанием географических координат места корабля и текущего месяца года она возвращает набор характерных для указанных района и месяца года типовых ВРСЗ от поверхности до дна моря. Каждое i -е типовое ВРСЗ $C_i(H)$

получено методом опорных точек и является статистическим объединением отдельных замеров ВРСЗ, сделанных в данной точке и в данное время года и попадающих в рукав $C_i(H) \pm \Delta C$, где ΔC - константа.

В докладе приводится описание алгоритма формирования полного профиля ВРСЗ и результаты оценки его эффективности. При этом в качестве критерия эффективности предложенного алгоритма выбрана ошибка прогноза дальности действия гидроакустического средства с использованием полного профиля ВРСЗ, сформированного с его использованием. При этом за истинную дальность действия принимается дальность, рассчитанная с использованием истинного ВРСЗ.

Приводятся зависимости ошибки прогноза дальности действия гидроакустического средства от гидроакустических условий и размера измеренного фрагмента ВРСЗ.

**СТРУКТУРА БАЗЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АЛГОРИТМОВ
КЛАССИФИКАЦИИ ЦЕЛЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ КООРДИНАТ ПО
ИНФОРМАЦИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Зайченко К.В.¹⁾, Лободин И.Е.¹⁾, Машошин А.И.²⁾

1) НИЦ радиоэлектронного вооружения ВМФ – филиал ФГУ "24 ЦНИИ МО РФ"

2) ОАО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор", 197046, г. Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30, т. (812) 499-78-71, факс (812) 232-33-76, amashoshin@eprib.ru

Одной из основных особенностей современных алгоритмов классификации и определения координат целей по данным гидроакустических средств является корректный учет текущих гидроакустических условий (ГАУ) в районе плавания, который реализуется использованием результатов оперативных измерений параметров морской среды, а также базы гидрологических данных (БГД), содержащей результаты многолетних наблюдений за акустической погодой в конкретной акватории Мирового океана.

Целью доклада является изложение результатов обоснования структуры БГД.

Проведенные исследования показали, что к БГД предъявляются следующие требования:

- полнота, которая подразумевает присутствие в ней всех значимых параметров, влияющих на подводное распространение акустического сигнала;
- учет вероятностного характера ГАУ;
- учет частотного диапазона гидроакустического средства, в котором используется БГД.

Полное описание текущих ГАУ включает совместное вероятностное описание следующих параметров:

- глубины района и вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ);
- волнения поверхности;
- угловой и частотной зависимости коэффициентов отражения акустического сигнала:
 - от поверхности моря, свободной ото льда;
 - от нижней кромки льда;
 - от дна моря;
- угловой и частотной зависимости коэффициентов рассеяния акустического сигнала:
 - поверхностью моря, свободной ото льда;
 - нижней кромкой льда;
 - дном моря;
- частотной зависимости коэффициента пространственного затухания;
- частотной и глубинной зависимости коэффициента объемного рассеяния;
- частотной зависимости шумов удаленного судоходства.

Рассмотрение различных вариантов формирования БГД привел к выводу, что структура БГД должна удовлетворять следующим требованиям:

- каждый из перечисленных выше параметров должен быть представлен в БГД в виде его вероятностного описания в функции географических координат, времени года и частотного диапазона;
- для привязки описания параметров к географическим координатам весь Мировой океан разбивается на крупные акватории (моря либо части океанов) с однородным акустическим климатом внутри каждой акватории. Каждая акватория для каждого из перечисленных выше параметров, в свою очередь, разбивается на акустические районы, которые представляются совокупностью элементарных географических районов, имеющих вид прямоугольников со сторонами $\Delta\varphi^\circ$ и $\Delta\lambda^\circ$, параллельными параллелям и меридианам. Размеры элементарного географического района выбираются достаточно малыми (порядка

- 0,5...1 град), чтобы изменчивостью акустической погоды внутри него можно было пренебречь;
- для привязки описания параметров к времени года год для каждой акватории разбивается на несколько акустических сезонов с однородной акустической погодой внутри каждого сезона. Каждый сезон описывается несовместной (непересекающейся) совокупностью календарных месяцев;
 - для придания формируемой БГД универсальных свойств, позволяющих применять ее в различных гидроакустических средствах, БГД должна формироваться для частотных поддиапазонов, в совокупности охватывающих весь значимый частотный диапазон гидроакустических средств различного назначения. Проведенный анализ выявил целесообразность разбиения всего частотного диапазона на 4 поддиапазона:
 - частотный поддиапазон для низкочастотных (до 500 Гц) позиционных и корабельных ГАС;
 - частотный поддиапазон для среднечастотных (0,5...8 кГц) корабельных ГАС (трактов ГАС);
 - частотный поддиапазон для высокочастотных (8...30 кГц) корабельных ГАС (трактов ГАС);
 - частотный поддиапазон для высокочастотных (30...60 кГц) ГАС специального назначения.
 - анализ современных алгоритмов классификации и определения координат целей привел к выводу, что наиболее целесообразной формой вероятностного описания параметров, характеризующих ГАУ, является дискретная форма, при которой для каждого акустического района, каждого сезона и каждого частотного поддиапазона перечисленные выше зависимости каждого параметра представляются набором возможных вариантов, каждому из которых приписывается своя вероятность (встречаемость).

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

В ОКЕАНИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Левченко Д.Г. ¹, Левченко В.Д. ², Закиров А.В. ²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Тел: 499-124-87-01,
levch35@mail.ru

²Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН,
Миусская пл., 5, Москва, Россия

Введение

В настоящее время интерес к изучению естественных сейсмоакустических сигналов в океанической среде значительно возрос. Одной из причин является необходимость повышения производительности и улучшения качества морской сейсморазведки при существенных экологических ограничениях на мощность искусственных источников сигналов. Другая причина состоит в поисках путей использования естественных полей непосредственно для целей структурного анализа континентальной и океанической среды. Источниками таких полей являются как слабые сейсмические явления в океаническом дне, так и морские поверхностные волны (штормовые микросейсмы). Однако теоретические исследования и результаты экспериментов не позволяют выявить всех особенностей

распространения микросейсм в океанической среде и их трансформации на континентальных склонах, в частности, в случае сложной модели с наклонным дном, наличием слоя осадков, затухания в средах, разнообразия океанической и континентальной коры. В связи с этим существенного внимания заслуживает проведение численных экспериментов в этой области. Численное моделирование получило к настоящему времени существенное развитие в области исследования распространения акустических сигналов более высоких частот в различных океанических волноводах, в том числе и на мелкой воде.

Необходимо, однако, отметить существенные особенности проведения численного эксперимента по распространению низкочастотных микросейсм в океаническом волноводе дно — поверхность воды. На рассматриваемых частотах (0.01-1 Гц) океан представляется мелким по сравнению с длиной волны $\lambda = 150 - 1.5$ км. При средней глубине океана 5 км критическая частота для первой моды составляет около 0.1 Гц. В данном частотном диапазоне можно ограничиться рассмотрением только нескольких первых мод. Волнение поверхности воды и ее неоднородность можно не учитывать. Неровностями дна в районах абиссальных равнин и холмов можно пренебречь, а такие области занимают около 80% поверхности дна океанов и морей. Вместе с тем необходимо учитывать непрерывную часть поля, распространяющуюся в донном массиве (нулевую моду), так как она существенно влияет на трансформацию мод в нерегулярном волноводе на границе с континентом. Фактически следует рассматривать единое сейсмоакустическое поле, распространяющееся в воде и дне.

Дальнее распространение сейсмических волн в дне происходит только при условии малой амплитуды колебаний в пределах упругих деформаций среды, поэтому при моделировании

следует использовать линейную теорию колебаний. Для учета затухания в реальных средах следует рассматривать упруго-вязкую модель и применять обобщенный закон Гука. При моделировании преобразования поля микросейсм на континентальном склоне необходимо учитывать взаимодействие мод, отражение части поля и ответвление его в дно, поэтому нельзя использовать упрощенные модели в виде параболического приближения, при котором теряется отраженное поле и имеются большие ограничения по источнику сигнала. Поскольку микросейсмы представляют собой в общем случае случайные слабонестационарные поля их удобно моделировать с помощью импульсных источников с заданными временными и пространственными характеристиками. В связи с изложенным за теоретическую основу моделирования следует принимать не обычно используемое волновое уравнение Гельмгольца, а полноволновое дифференциальное уравнение гиперболического типа. Численное решение дифференциальных уравнений в рассматриваемой области удобно производить с помощью сеточных моделей наиболее близких к физическим условиям распространения полей.

Дальнее распространение в рассматриваемом волноводе возможно только для нормальных волн, угол скольжения которых меньше критических углов для продольных и поперечных волн в дне. В этом случае вдоль дна волновода распространяется поверхностная волна типа Релеевской без существенных потерь. Глубину проникновения поверхностных волн в донный массив можно принять равной длине волны, т.е. на рассматриваемых частотах глубина модели по вертикали должна быть не менее 100 км. Поскольку низкочастотные микросейсм в районах абиссальных равнин и континентальных склонов распространяются на большие расстояния длину модели следует выбирать порядка 300 - 1000 км.

Методы и средства численного моделирования волноводного распространения сейсмоакустических полей

Исходные уравнения. Система уравнений упругости записывается в виде, удобном для построения эффективных (как по производительности, так и по точности аппроксимации) численных схем (Ландау, Лифшиц, 1987, 1988; Справочник геофизика, 1966). В общем случае трехмерной области это система девяти уравнений в частных производных относительно компонент вектора скорости смещений v_i , нормальных σ_i и касательных τ_i компонент тензора напряжений $\hat{\sigma}$, а также нормальных ε_i и касательных δ_i компонент тензора удлинений $\hat{\varepsilon}$ соответственно.

Система дополняется определяющими уравнениями, вид которых зависит от выбранной модели среды. В качестве такой модели мы будем рассматривать линейную упругую неоднородную изотропную среду с учетом вязких потерь λ' и μ' (описываемую обобщенным законом Гука). Коэффициенты λ' , μ' выражаются через коэффициенты объемной ζ и сдвиговой η вязкости следующим образом: $\lambda' = \zeta - 2\eta/3$, $\mu' = \eta$. Пространственный коэффициент затухания волны γ с частотой ω , волновым числом k и скоростью c можно оценить так: $\gamma = k(\lambda' + 2\mu')\omega/2rc^2$. Неоднородность среды означает, что упругие коэффициенты Ламе λ , μ , вязкие коэффициенты λ' , μ' , также как и плотность ρ являются заданными функциями координат. С использованием определяющих уравнений, получаем следующую основную систему уравнений упругости ($G_i = \rho g$ - объемная сила):

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial v_1}{\partial t} &= G_1 + \frac{\partial \sigma_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_3}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_2}{\partial x_3}, \\ \frac{\partial \sigma_1}{\partial t} &= (\lambda + 2\mu) \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \lambda \frac{\partial v_2}{\partial x_2} + \lambda \frac{\partial v_3}{\partial x_3} + \frac{\partial}{\partial t} \left[(\lambda' + 2\mu') \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \lambda' \frac{\partial v_2}{\partial x_2} + \lambda' \frac{\partial v_3}{\partial x_3} \right], \\ \frac{\partial \tau_1}{\partial t} &= \mu \left(\frac{\partial v_3}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_3} \right) + \mu' \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial v_3}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_3} \right). \end{aligned}$$

Для простоты здесь записаны выражения только для первой тройки компонент. Оставшиеся шесть уравнений получаются циклическим сдвигом индексов координат ($1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$). Задача моделирования решается как задача Коши с начальными и граничными условиями. В качестве начальных задаются тривиальные условия $v_i = \sigma_i = \tau_i = 0$ во всей области моделирования. На дневной поверхности задаются отражающие граничные условия, на границах

области моделирования обеспечиваются специальные условия идеально–согласованного слоя, гасящего падающее на него сейсмическое поле. Дополнительно на одной из границ задается источник внешнего сигнала с заданными параметрами.

Модель среды. За основу выбрана двумерная модель, предложенная Прессом и Юингом (Press, Ewing, 1948) для плоских гармонических волн в слое воды над однородным упругим полупространством. Первый вариант модели включает участок плоского океанического волновода с толщиной слоя воды 5 км, участок линейного континентального склона и участок суши. Длина океанической части составляет около 100 км, длина континентального склона изменяется от 50 км до 500 км, расчетная глубина массива 100 км. Второй более сложный вариант модели океанической среды содержит дополнительно, слой осадков толщиной 0,5 км, слой базальта - 10 км и участок континентальной коры толщиной 30 км (рис.1).

На основании обобщенной скоростной модели дна Атлантического океана приняты следующие основные параметры проростой модели: плотность воды и донного массива соответственно $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_1 = 2500 \text{ кг/м}^3$, скорости волн в воде $c = 1500 \text{ м/с}$ и в дне $c_l = 6500 \text{ м/с}$, $c_t = 3700 \text{ м/с}$. Для сложной модели: плотности и скорости волн для осадков $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$, $c_l = 4500 \text{ м/с}$, $c_t = 2500 \text{ м/с}$, для базальта $\rho = 3000 \text{ кг/м}^3$, $c_l = 6500 \text{ м/с}$, $c_t = 3700 \text{ м/с}$, для континентальной коры $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$, $c_l = 5500 \text{ м/с}$, $c_t = 3000 \text{ м/с}$, нижнего полупространства $\rho = 3000 \text{ кг/м}^3$, $c_l = 8000 \text{ м/с}$, $c_t = 4600 \text{ м/с}$. Индексы l и t для поперечных и продольных волн соответственно. Коэффициент затухания γ принимался одним и тем же для твердых сред, равным $0.1f$ ($1/\text{Гцм}$) для продольных волн и $0,2f$ ($1/\text{Гцм}$) для поперечных, потерями в воде пренебрегали. Для исключения краевых эффектов на нижней и правой границах модели помещены поглощающие слои. Оси координат – горизонтальная «x» направлена вправо, вертикальная «y» направлена вниз.

Источник микросейсм. По современным представлениям источниками штормовых микросейсм являются участки

взволнованной поверхности моря, возбуждающие не затухающее с глубиной акустическое поле (Лонге-Хиггинс, 1951; Бреховских, Гончаров, 1969; Табулевич, 1986). Такие участки можно охарактеризовать в рамках теории случайных процессов при условии нормальности функций распределения пространственным и временным моментами корреляции. В данной работе для наглядности представления полей микросейсм и сокращения расчетов использовался импульсный детерминированный источник, расположенный на водной поверхности, параметры которого могут быть связаны с моментами корреляции. Источник, задавался в виде импульсной объемной звуковой волны давления с несущей частотой f_0 , амплитудами огибающих во времени и пространстве в виде гауссоид с экспоненциальной полушириной T_{SRC} и R_{SRC} и заданным в вертикальной плоскости углом распространения.

Организация вычислений. В используемой сеточной модели параметры дискретности по пространству и времени выбирались из условия обеспечения необходимого разрешения: $\Delta x = c_{\text{РМин}} / 30f_0 \sim 50\text{м}$, $\Delta t = \Delta x / 1,73 c_{\text{РМакс}} \sim 5 \cdot 10^{-3}$ с.

При общей длине волновода 1000 км, глубине массива 100 км и данной дискретности сложность модели составляет около $6 \cdot 10^{12}$, что накладывает существенные ограничения на выбор алгоритмов расчета и вычислительных средств. Так в известной системе моделирования «Tesseral Pro» (Канада), применяемой для сейсморазведки, максимальная сложность равна 10^8 . Под максимальной сложностью понимается допустимый объем вычислений, при котором моделирование производится достаточно эффективно для данного типа алгоритмов и вычислительных средств., т.е. за приемлемое время. Следует отметить, что указанная сложность модели соответствует одному варианту набора ее параметров. В рассматриваемой задаче для несущей частоты f_0 задавалось 20 значений в интервале от 0,05 до 1 Гц. Для длины континентального склона задавалось 8 значений в интервале от 5 км до 500 км. Всего для двух вариантов модели среды обрабатывалось 320 наборов параметров.

Для каждого шага по времени и для всех ячеек сети вычислялись компоненты тензоров напряжений и деформаций, вертикальная V_y и горизонтальная V_x составляющие мгновенной скорости частиц среды, нормальные напряжения S_{yx} и сдвиговые напряжения S_{yz} . Периодичность сохранения результатов расчетов по времени $T_{drop} = 1024 \Delta t$, при расстоянии между сечениями $L_{sect} = 1024 \Delta x$. Общий объем первичных результатов составил около 500ГБ.

Вычислительные средства и алгоритмы. В связи со сложностью модели и большим объемом вычислений потребовалось применение специальных алгоритмов и вычислительных средств. В данной работе использованы быстродействующие программы SUR/Geo-Prime (локально-рекурсивные, нелокально-асинхронные параллельные алгоритмы), разработанные в Институте прикладной математики РАН им. М.В. Келдыша для моделирования процессов в плазме. В настоящее время эти алгоритмы адаптируются для моделирования геофизических полей. Для расчетов использована вычислительная система, состоящая из двух компьютеров на основе 8-ми ядерных процессоров Xeon-5320 Intel с быстротой счета 10^{11} операций в секунду, оперативной памятью 8 ГБ и дисковой памятью 8 ТБ. Применение указанных программ и вычислительной системы позволили сократить общее время вычислений по сравнению с использованием программы «Tesseral Pro» и современного двух-ядерного компьютера примерно в тысячу раз (48 часов вместо 5,5 лет).

Основные результаты моделирования

Визуализация результатов. На основании полученных первичных результатов были построены мгновенные картины распространения полей микросейсм в заданных сечениях среды в последовательные моменты времени. Построены частотные спектры микросейсм и синтетические сейсмограммы для ряда характерных точек среды (поверхности и дна акватории, поверхности суши). Исследовались влияние несущей частоты, наклона диаграммы направленности источника, крутизны континентального склона. Рассматривался модовый состав полей микросейсм и преобразование мод вдоль континентального склона.

На рис.1 изображены мгновенные картины поля через 227 с после включения источника, при угле наклона источника 60° (меньше критических углов). Волновод отмечен тонкой линией вверху и состоит из плоского участка моря длиной 150 км и глубиной 5 км, континентального склона длиной 200 км и участка суши длиной 150 км. Представлены компоненты скорости частиц V_x , V_y и напряжение сдвига S_{yz} (сверху вниз). Происходит интенсивное распространение поля вдоль волновода. Поскольку частота сигнала равна 0,3 Гц в горизонтальной части волновода формируется 2-я мода. При уменьшении глубины на континентальном склоне 2-я мода переходит в 1-ю. Следует отметить, что в дне интенсивно распространяется нулевая мода, опережая волну в волноводе. Сдвиговая волна S_{yz} распространяется только в донном массиве.

При исследовании влияния угла наклона диаграммы направленности источника было установлено, что при углах близких к нормальному (больших критических углов скольжения) в волноводе не образуются бегущие волны из-за проницаемости дна. Для указанных параметров среды критические углы составляют для продольных ($\theta_{крР} = 77^{\circ}$) и поперечных ($\theta_{крS} = 66^{\circ}$) волн. Распространялись только объемные волны в донном массиве.

С целью количественных оценок результатов численного моделирования для ряда характерных точек волновода и разных частот источника сигнала были вычислены их спектры. Таким образом определялись «коэффициенты преобразования» волновода и сравнивались с теоретическими и экспериментальными данными. На рис.2 представлены зависимости коэффициентов передачи от частоты для параметра V_y поля в ряде точек вертикального сечения плоской части волновода на расстоянии 200 км от источника. Из рассмотрения рисунка можно сделать следующие выводы. Ниже частоты 0,09 Гц сигналы в волноводе не распространяются. Максимум на частоте 0,1 Гц можно объяснить прохождением основной 1-й моды. Имеется ряд минимумов, которые можно связать с критическими частотами определенных мод. Расчетные критические частоты для трех первых мод волновода с указанными выше параметрами равны: $F_1 = 0,08$ Гц,

$F_2 = 0,25$ Гц, $F_3 = 0,41$ Гц, что практически совпадает с результатом моделирования.

Моделирование со сложной моделью проводилось с целью установить влияние слоистого строения донного массива и континентальной коры на распространение полей микросейсм на границе океан-континент. Проверялась возможность распространения микросейсм в слое осадков или базальта без участия водного слоя. Для этого задавалась частота источника сигнала $F = 0,06$ Гц ниже критической для простой модели волновода с таким же слоем воды ($F_{кр1} = 0,1$ Гц), при длине склона 1000 км, угле скольжения волны 60° (меньше критических углов). В этом случае поле практически не распространяется в волноводе, а уходит в донный массив в виде объемных волн.

При распространении микросейсм в сложной модели было обнаружено интересное явление, состоящее в раздвоении сейсмического поля на границе океан-континент: часть поля, как и для простой модели, выходила на поверхность в виде волны Релея, а другая часть распространялась под континентальной корой вдоль ее границы с базальтовым слоем. На рис. 3 представлены результаты моделирования для этого случая.

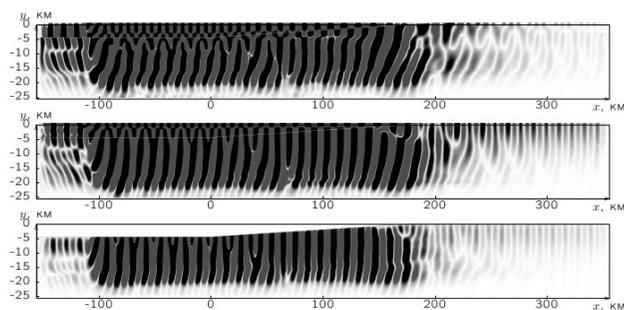


Рис.1. Распространение микросейсм по океаническому волноводу и на границе океан-континент.

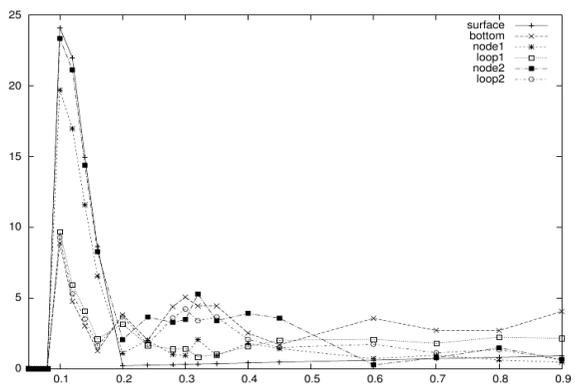


Рис.2. Частотные спектры в сечении волновода на расстоянии 200км от источника сигнала.

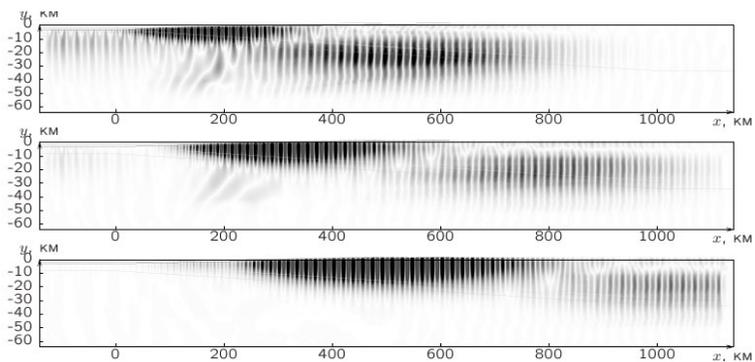


Рис.3. Распространение микросейсм в сложной модели океанической среды.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АКУСТООПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧАСТИЦ ВЗВЕСИ В МОРСКОЙ ВОДЕ

Шаповалов И.С.

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН 117997, г. Москва,
Нахимовский проспект, д.36

e-mail: nimnadne@gmail.com

Введение

In this article analyzed capability of using AOS (acousto-optic spectrometer) for measuring of parameters of water suspension elements and examined a few already working prototypes of acousto-optic devices. On the base of carried out investigation, estimated the capability of creating the measuring channel “in situ” with data processing in real time.

В последние годы все большую актуальность приобретает проведение анализа во внелабораторных условиях – измерение параметров водной среды in situ. Это связано с тем, что в большинстве

случаев требуется весьма большой промежуток времени, чтобы доставить пробу воды в специализированную лабораторию.

Одним из самых эффективных методов анализа проб воды является метод, основанный на применение спектрометров. В связи с расширением области применения спектрометрии возникает необходимость в новых средствах и методах спектрального анализа, позволяющих производить работы во внелабораторных условиях. Именно к такому классу приборов относятся акустооптические спектрометры (АОС). К преимуществам АОС относится компактность, светосильность, отсутствие перемещающихся или юстируемых элементов [8].

В рамках данной работы предполагается проанализировать возможность использования АОС для измерения параметров взвеси морской воды. На основе проведенного исследования предполагается оценить возможность создания измерительного канала *in situ* с обработкой материала в реальном масштабе времени.

Акустооптика

Акустооптика - область в которой изучается взаимодействие электромагнитных волн со звуковыми и разрабатываются основы применения этих явлений в технике. Акустооптические устройства позволяют управлять амплитудой, частотой, поляризацией, спектральным составом светового сигнала и направлением распространения светового луча.

Под действием механических деформаций, переносимых звуковой волной, возникает пространственная модуляция оптических свойств среды, обусловленная упруго-оптическим, или фотоупругим, эффектом. Оптические свойства среды меняются во времени с частотой звуковой волны, т. е. значительно медленнее и по сравнению

с периодом электромагнитных колебаний в световой волне, и по сравнению со временем прохождения светового луча через звуковой пучок. В зависимости от соотношения между поперечным размером падающего оптического пучка d и длиной звуковой волн λ распространение света в такой среде сопровождается явлениями либо акустооптической рефракции, либо дифракции света на ультразвуке. Дифракция света происходит не только на вводимой извне звуковой волне, но и на коллективных возбуждениях среды - акустических фонах, в результате чего возникает рассеяние света со сдвигом частоты вверх и вниз на величину частоты фона (Мандельштам-Бриллюэна рассеяние). В спектре рассеянного излучения появляются пары сдвинутых по частоте компонент Мандельштам-Бриллюэна, отвечающих рассеянию света на продольных и поперечных акустических фонах.

Акустооптическое взаимодействие сводится к эффектам оптической рефракции и дифракции лишь при низких интенсивностях оптического излучения. С повышением интенсивности света все возрастающую роль начинают играть нелинейные эффекты воздействия света на среду. Из-за электрострикции и эффектов нагревания среды оптическим излучением в ней возникают переменные упругие напряжения и генерируются звуковые волны с частотами от слышимых до гиперзвуковых - т. н. оптоакустические или фотоакустические явления.

В поле мощного оптического излучения в результате одновременного протекания процессов дифракции света на ультра звуке (далее УЗ, 20кГц и выше) и генерации УЗ-волн вследствие электрострикции происходит усиление светом УЗ-волны. В частности, при распространении в среде интенсивного лазерного излучения наблюдается т. н. вынужденное рассеяние Мандельштам-Бриллюэна, при котором происходит усиление лазерным излучением тепловых

акустических шумов, сопровождающееся нарастанием интенсивности рассеянного света. К оптоакустическим эффектам относится также генерация акустических колебаний периодически повторяющимися световыми импульсами, которая обусловлена переменными механическими напряжениями, возникающими в результате теплового расширения при периодическом локальном нагревании среды светом [9].

На основе оптоакустической генерации звука создан метод фотоакустической спектроскопии для получения спектров оптического поглощения веществ в различных физических состояниях. В этом методе коэффициент поглощения света измеряется по интенсивности звуковых колебаний, возбуждаемых периодически прерываемым светом. Например, при периодическом нагреве газа в нем возникают звуковые колебания с амплитудой, пропорциональной поглощенной световой энергии. Меняя длину волны падающего света, можно получить фотоакустический спектр вещества - полный аналог спектра поглощения, измеряемого обычными методами. Достоинство фотоакустической спектроскопии в высокой чувствительности метода, позволяющего получать спектры оптического поглощения в широком диапазоне световых длин волн, включающем в себя как области сильного поглощения, так и области прозрачности; кроме того, этим методом измеряется только та часть энергии падающего излучения, которая действительно поглощается веществом, а рассеянное излучение никакого вклада не дает. Это позволяет исследовать спектры поглощения образцов с плохим качеством поверхности: порошков, рыхлых, пористых материалов, биологических объектов.

Акустооптические устройства. На основе эффектов дифракции и рефракции света на УЗ создаются активные оптические элементы, позволяющие управлять всеми параметрами светового луча, а также обрабатывать информацию, носителем которой являются как

световая, так и звуковая волны. Основу таких устройств составляет акустооптическая ячейка (АОЯ), состоящая из рабочего тела (твёрдотельного образца или кюветы с жидкостью), в объёме которого происходит взаимодействие света с УЗ-волной, и излучателя УЗ (обычно пьезоэлектрического преобразователя). В зависимости от назначения имеется несколько типов акустооптических приборов: дефлекторы, модуляторы, фильтры, процессоры и др [6].

Акустооптические дефлекторы и сканеры - устройства для управления направлением светового луча в пространстве. Сканеры предназначены для непрерывной развертки луча; в дефлекторе имеется набор фиксированных направлений, по которым должен отклоняться световой луч [1].

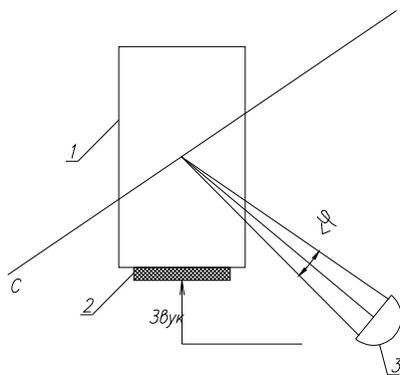


Рис.1. Схема акустооптического дефлектора:
 1 - акустооптическая ячейка;
 2 - излучатель ультразвука;
 3 - фотосерийное устройство;
 ψ - максимальное угловое перемещение пучка;

Акустооптические модуляторы - приборы, управляющие интенсивностью световых пучков на основе перераспределения световой энергии между проходящим и дифрагированным светом.

Обычно используется модуляция дифрагированного света, т. к. 100%-ная модуляция проходящего излучения требует значительных акустических мощностей. Акустооптический модулятор представляет собой АОЯ, в которой распространяется амплитудно-модулированная звуковая волна. Падающий на АОЯ свет частично дифрагирует, и отклоненный луч принимается фотоприемным устройством. В модуляторах используется как брэгговская дифракция, так и дифракция Рамана-Ната (дифракция, при рассеяние света на звуковых волнах с частотами от нескольких десятков МГц и ниже). Быстродействие модулятора определяется временем прохождения звукового сигнала через поперечное сечение светового пучка и оказывается $\sim 10^{-6} - 10^{-7}$ с. Акустооптические модуляторы при максимальной простоте конструкций позволяют осуществлять такие сложные операции, как параллельная обработка информации в акустооптических процессорах.

Акустооптические фильтры - устройства, позволяющие выделить из широкого спектра оптического излучения достаточно узкий интервал длин световых волн, удовлетворяющих условию Брэгга (Условие Вульфа-Брэгга определяет направление возникновения дифракции максимумов упруго рассеянного на кристалле рентгеновского излучения. Имеет вид: $2d \cdot \sin \theta = n\lambda$, где d - межплоскостное расстояние, θ - угол скольжения падающего луча, n - порядок отражения, λ - длина волны). Изменяя частоту звука, можно выделяемый интервал перемещать по оптическому спектру в широких пределах.

Как правило, в акустооптических фильтрах используется анизотропная дифракция в двулучепреломляющих кристаллах (рис. 2).

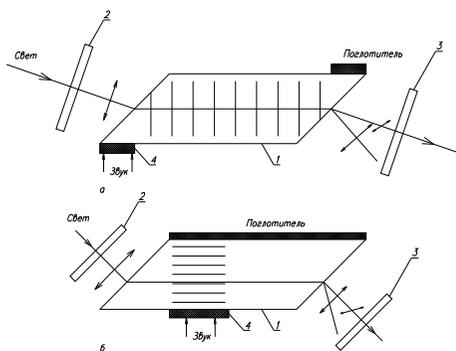


Рис.2. Схема акустооптических фильтров на основе коллинейрной (а) и неколлинейрной (б) дифракции

На АОЯ 1 падает плоскополяризованный свет, степень поляризации которого контролируется поляризатором 2. В АОЯ в результате анизотропной брэгговской дифракции в узком спектральном интервале возникает оптическое излучение другой поляризации. Наличие его определяется анализатором 3. Монохроматический звук создается электроакустическим преобразователем 4. Эффективность фильтров увеличивается с ростом длины взаимодействия света со звуком L , поэтому в них используется, как правило, коллинейрная дифракция, при которой направления распространения света и звука совпадают (рис. 2, а), хотя известны акустооптические фильтры и с неколлинейрными взаимодействиями (рис. 2, б).

Ширина полосы пропускания фильтра $\Delta\lambda_0$ (где λ_0 - длина волны света в вакууме) определяется спектральной шириной излучения, возникающего в результате брэгговской дифракции. Для коллинейрной

дифракции $\Delta\lambda_0 = \frac{\lambda_0^2}{2 \cdot |n_1 - n_0| \cdot L}$, где n_0 - показатель преломления

падающего света, n_1 - дифрагированного. В реальных устройствах ширина полосы пропускания зависит, кроме того, от расходимости как светового, так и акустического пучков и спектрального состава акустического сигнала. Величина $\Delta\lambda_0$ существенно зависит от выбора участка электромагнитного спектра; в видимом диапазоне для

современных акустооптических фильтров она не превышает нескольких \AA . Эффективности имеющихся фильтров составляют 50-100% при интенсивности звука $I_{\text{ак}} \sim 1 \text{ Вт/см}^2$ и L порядка нескольких сантиметров. Диапазон оптической перестройки определяется шириной полосы частот электроакустического преобразователя и частотной зависимостью поглощения УЗ. Как правило, он достаточен для перекрытия всего оптического диапазона [5].

Акустооптические устройства используются как для внешнего управления световым лучом, так и для управления процессом генерации и параметрами когерентного излучения внутри оптического квантового генератора. Помещенная внутри оптического резонатора АОЯ модулирует его добротность и отклоняет лазерный луч для вывода его из резонатора. Использование акустооптических фильтров в лазерах с широким спектром генерации позволяет получать узкие линии излучения, перестраиваемые внутри диапазона генерации изменением акустической частоты. Введение акустической волны непосредственно в активную среду позволяет осуществлять распределенную обратную связь, при которой переотражения светового излучения возникают в результате дифракции его на УЗ-волне. Распределенная обратная связь обеспечивает высокую спектральную селективность и позволяет управлять интенсивностью генерируемого света, меняя эффективность обратной связи за счет изменения амплитуды звуковой волны.

Акустооптические процессоры. Акустооптические приборы, рассмотренные выше, служат основой для создания устройств обработки сверх высоко частотных сигналов (далее СВЧ, $\lambda < 1 \text{ м}$, $\nu > 300 \text{ МГц}$) - так называемых процессоров, которые, в отличие от цифровых вычислительных машин, позволяют производить обработку информации в реальном масштабе времени. В акустооптическом процессоре переменный во времени электрический сигнал преобразуется электроакустическим преобразователем в УЗ-волну, которая, распространяясь в АОЯ, создает пространственное звуковое изображение сигнала. При дифракции света на звуковом сигнале в дифрагированном излучении возникает оптическое изображение сигнала, которое затем обрабатывается с помощью различных оптических элементов: линз, зеркал, диафрагм, транспарантов и др. Обработка сигнала осуществляется путем одновременного считывания всей запасенной в звуковом импульсе информации. Акустооптические процессоры осуществляют быстрое, в реальном масштабе времени,

Фурье-разложение СВЧ-сигнала, частотную фильтрацию сигнала, нахождение функции корреляции исследуемого сигнала с заданным и другие операции.

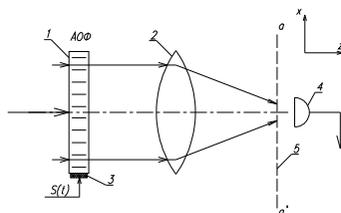


Рис.3. Акустооптический анализатор спектра, работающий в режиме дифракции Рамана-Ната

Действие процессоров, предназначенных для анализа спектра или частотной фильтрации СВЧ-сигнала, основано на преобразовании частотного спектра звукового сигнала в угловой спектр дифрагированного света. По угловому распределению его интенсивности можно получить спектральную характеристику СВЧ-сигнала. Помещая на пути световых лучей оптические транспаранты с переменной прозрачностью, изменяют угловое распределение интенсивности дифрагированного света и тем самым получают на выходе фотоприемного устройства фильтрованный электрический сигнал.

В процессоре для фурье-разложения сигнала с использованием дифракции РаманаНата (рис. 3) монохроматический свет падает на АОЯ 1, в которой распространяется звуковой сигнал, являющийся пространственным изображением электрического сигнала $S(t)$ на входе АОЯ.

В результате в фокальной плоскости aa' линзы 2 возникает распределение интенсивности света I , которое как функция расстояния x до оси линзы определяется спектральной характеристикой $S^{\sim}(\omega)$ вводимого сигнала:

$$I(x) \sim \left| S^{\sim} \left(\frac{kx}{F} \right) \right|^2$$

где $S^*(\omega)$ - фурье-образ СВЧ-сигнала $S(t)$,

k - волновое число световой волны,

F - фокусное расстояние линзы 2.

Распределение фототока, измеренное фотодетектором 4 в плоскости aa' , дает спектральное распределение входного сигнала $S(t)$. Структурная схема процессоров, использующих брэгговскую дифракцию, отличается только способом ввода светового пучка в АОЯ. Поскольку при дифракции Брэгга угол падения светового луча строго задан, то для осуществления дифракции на всех частотах, входящих в спектр звукового сигнала, необходимо освещение АОЯ расходящимся световым пучком.

Акустооптические процессоры используются для сжатия радиоимпulses с линейной частотной модуляцией (рис. 4).

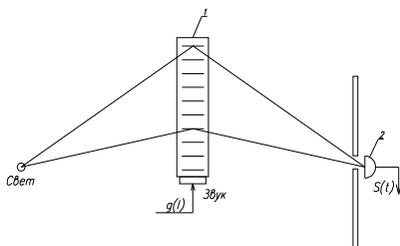


Рис.4. Процессоры для сжатия импульсного сигнала с линейной частотой модуляции на основе дифракции Брэгга: 1 - акустооптическая ячейка, 2 - фотодетектор.

Такой сигнал создает в АОЯ акустическую волну, длина которой меняется вдоль направления распространения, поэтому при дифракции Брэгга углы отклонения света на различных участках звукового импульса будут различны. Сжатие импульса обусловлено тем, что световые лучи, отклоняемые отдельными участками звукового импульса, попадают на фотодетектор одновременно.

Акустооптический коррелятор предназначен для нахождения функции корреляции двух сигналов исследуемого $S(t)$ и опорного $r(t)$:

$$\varphi(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(\tau - t)r(\tau)d\tau$$

Действие коррелятора основано на оптическом перемножении изображений этих сигналов. Свет в акустооптическом модуляторе, дифрагируя на звуковой волне, модулированной сигналом $S(t)$, формирует оптическое изображение этого сигнала. Далее дифрагированный свет проходит через пространственный фильтр, пропускание которого меняется по закону $r(x)$ и собирается на фотоприемном устройстве, на выходе которого возникает сигнал, пропорциональный функции корреляции $\varphi(t)$. В качестве пространственного фильтра может использоваться второй акустооптический модулятор, в котором УЗ-волны модулируются сигналом $r(t)$. В акустооптических корреляторах используется как дифракция Рамана-Ната, так и брэгговская дифракция (рис. 5).

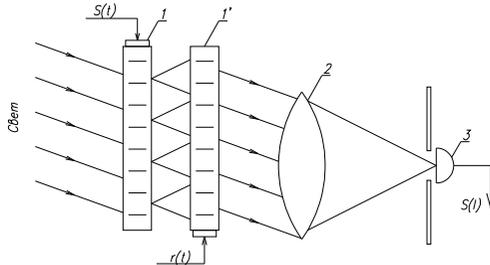


Рис.5. Акустооптический коррелятор

Если в модуляторах 1 и 1' распространяются одинаковые акустические сигналы, то световые лучи, прошедшие через них, будут параллельны падающему лучу. Свет фокусируется линзой 2 на фотодетекторе 3, сигнал с которого в этом случае будет максимальным. Если же сигналы S и r неодинаковы, то сигнал на

выходе фотодетектора будет пропорционален функции взаимной корреляции.

Процессоры на основе различных акустооптических устройств могут работать в широком диапазоне частот, вплоть до 10 ГГц. Они применяются в различных системах обработки информации, особенно там, где имеются ограничения по габаритам, весу и энергопотреблению аппаратуры.

Акустооптическое взаимодействие в оптических волноводах. В оптических волноводах, представляющих собой тонкий слой прозрачного материала на поверхности подложки (т. н. планарные волноводы), возникает взаимодействие оптических волноводных мод с поверхностными акустическими волнами (ПАВ), обычно рэлеевскими. В результате появляется свет, распространяющийся вдоль плоскости волновода, но отклоненный от своего первоначального направления. Для эффективной дифракции необходимо, чтобы в плоскости волновода световые лучи падали на пучок ПАВ под соответствующим брэгговским углом. Поскольку даже в изотропной волноводной системе скорости распространения разных оптических мод отличны друг от друга, то при различных углах падения светового пучка возможна как дифракция света без изменения номера моды, аналогичная обычной брэгговской дифракции, так и дифракция, при которой падающий и дифрагированный свет принадлежит к разным волноводным модам. В последнем случае законы дифракции аналогичны закономерностям анизотропной дифракции, возникающей при взаимодействии объемных волн в двулучепреломляющей среде. В волноводных системах распределение как электромагнитных полей для оптической моды, так и поля деформации в ПАВ неоднородно в поперечном сечении волновода. Эффективность акустооптической дифракции в оптическом волноводе сильно зависит от степени перекрытия этих полей. Она максимальна, когда глубины проникновения света и звука в волноводный слой одного порядка [2]. Волноводы применяются для уменьшения расхождения волн в стороны.

Приведенные акустооптические устройства находят широкое применение при создании принципиально новых измерительных приборов и устройств различного назначения.

Портативный рамановский акустооптический спектрометр
Рамановский акустооптический спектрометр производится

организацией НТЦ УП РАН г. Москва. Внешний вид прибора представлен на рисунке 6.

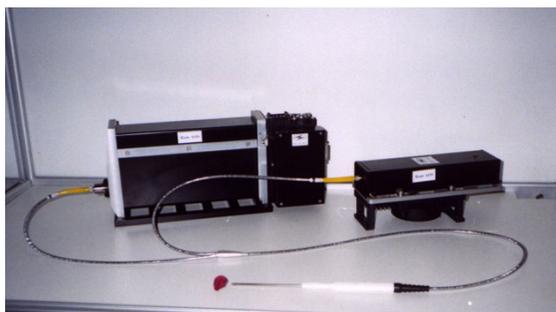


Рис.6

Спектрометр включает лазер, оптический блок, блок управления и волоконно-оптический зонд и управляется от персонального компьютера. Оптический блок содержит программно управляемый двойной акустооптический (АО) монохроматор и высокочувствительный ФЭУ с термоэлектрическим охладителем, работающий в режиме счета фотонов. Двойная фильтрация излучения обеспечивает высокую степень подавления вне полосы пропускания, что позволяет регистрировать линии комбинационного рассеяния (КР), начиная от 100 см^{-1} сдвига оптической частоты. При использовании твердотельного лазера с удвоением частоты (532 нм) рабочий диапазон достигает 5500 см^{-1} , а для диодного лазера 785 нм – до 1700 см^{-1} .

Основная направленность использования такого прибора заключается в проведение экспресс-измерений методами спектроскопии комбинационного рассеяния и флуоресценции при анализе состава твердых жидких и газообразных образцов. В

соответствии с тем, что прибор имеет малые габариты может использоваться как самостоятельный портативный прибор для внелабораторных исследований, а также встраиваться в контрольно-измерительные системы. А значит использоваться для экспресс-анализа *in situ* [11].

Медицинский газоанализатор на лазерах и фотоприемниках ближнего ИК-диапазона

Газоанализатор производится организацией ГУП «Научно-производственное объединение «Орион», г. Москва. Особенностью данного газоанализатора является разработка неохлаждаемого варианта высокочувствительного лазерно-спектроскопического газоанализатора. Для регистрации газов используются аналитические линии на основе составных частот. Применены фотоприемники и лазерные диоды ближнего ИК-диапазона в районе 1,7 мкм [12]. Внешний вид устройства представлен на рисунке 7.

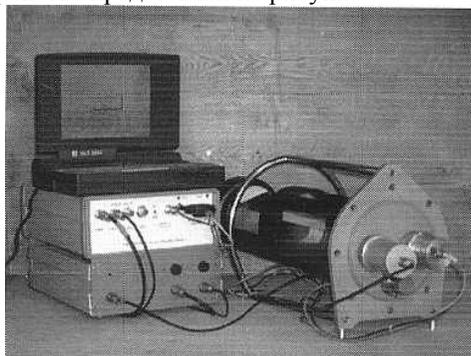


Рис.7

Источник излучения	Диодный лазер GaInPAs
Температура работы лазера	Комнатная (15-30°)
Полоса излучения диодного лазера	10-3 см ⁻¹
Частота излучения	6000-6080 см ⁻¹ (соответственно по длине волны - 1,645-1,666 мкм)

Мощность излучения лазера	3 мВт
Пороговый ток	50 мА
Режим работы	импульсный
Длительность импульса и частота	1 мс
Частота импульса	500 Гц

Лазер работает в импульсном режиме с длительностью импульса около 1 мс и с частотой около 500 Гц. В пределах каждого импульса осуществляется развертка частоты излучения ДЛ при помощи тока в диапазоне около 2 см^{-1} . Настройка диапазона частоты излучения лазера производится настройкой и стабилизацией температуры ДЛ. Для этой цели ДЛ смонтирован на элементе Пельтье, позволяющего варьировать температуру в диапазоне $0-50^\circ\text{C}$. Для стабилизации температуры ДЛ в приборе используются термодатчики, расположенные вблизи лазера симметрично. Долговременная стабильность температуры ДЛ составляет 10^{-2} град.

ДЛ излучает в двух противоположных направлениях, что используется в конструкции данного прибора. Излучение лазера в одном направлении направляется в перестраиваемую многопроходную оптическую кювету, на выходе которой расположен фотоприемник; этот канал называется аналитическим. Излучение лазера в другом направлении дважды проходит через закрытую реперную кювету (заполненную метаном определенной концентрации) и попадает на другой фотоприемник; этот канал называется реперным. Фотоприемники сделаны на основе германиевых фотодиодов. В качестве аналитической многопроходной кюветы применяется виброустойчивая матричная система Чернина-Барской базовой длины 0,5 м с перестройкой длины оптического пути от 1 до 100 м.

Акустический лазерный спектрофлюориметр

Акустический лазерный спектрофлюориметр предназначен для применения в следующих областях: спектроскопия, флюоресцентные измерения в медицине биологии, биотехнологиях [10]. Внешний вид устройства представлен на рисунке 8.



Рис.8

В таблице представлены технические характеристики прибора:

Спектральный диапазон	440..800 нм.
Спектральное разрешение	2 нм. @ 532 нм
Входная апертура	24 мм x град.
Время измерения в одной спектральной точке	20 мс.
Контраст монохроматора	не менее 10^5
Возможна установка «notch» фильтра	

Заключение

На основании выполненного анализа возможностей акустооптической спектрометрии для идентификации частиц взвеси в морской воде можно сделать следующие выводы:

- Анализ технических характеристик имеющихся акустических приборов: дефлекторов, модуляторов, фильтров, процессоров и др. позволяет сделать вывод о возможности применения акустооптической спектрометрии для определения качественного и измерения количественного состава частиц взвеси в морской воде;
- Акустооптический спектрометр позволяет производить измерения и спектральный анализ в реальном масштабе времени;
- Акустооптический спектрометр позволяет реализовать свойство «произвольного спектрального доступа», т.е. использовать возможность формирования любой выборки спектральных отсчетов;
- Акустооптический спектрометр позволяет в составе лабораторного стенда произвести серию лабораторных тестов для измерения в составе пробы очищенной воды определенной примеси для получения спектров различных примесей в пробе, а далее посредством увеличения количества примесей в воде выявить рисунок той или иной примеси на общем фоне, т.е. осуществить проведение классификации спектров по типу примеси;
- Акустооптический спектрометр не содержит в своей конструкции перемещающихся деталей, что делает его особенно приспособленным для измерений на больших глубинах.

Список использованной литературы

1. Акустооптические методы обработки информации, сб. статей под ред. Карбукова Г. Е. и Кулакова С. В., — Л.: Наука 1978
2. В. И. Балакший В. Н. Парыгин Л. И., Чирков Физические основы акустооптики.
3. Бритов А.Д., Надеждинский А.И. Медицинский газоанализатор на лазерах и фотодетекторах для ближнего ИК-диапазона. Москва.
4. Воробьева С.В. Динамическая геология. Оренбург, 2002
5. Кулаков С. В., Акустооптические устройства спектрального и корреляционного анализа сигналов, — Л.: Наука, 1978
6. Магдич Л. Н., Молчанов В. Я., Акустооптические устройства и их применения, — М.: Сов. радио, 1978
7. Пересыпкин В.И. Состав органического вещества донных отложений // В. кн. Океанологические исследования фронтальной зоны Гольфстрима: Полигон «Титаник» / Отв. ред. А.М. Сагалевич, Ю.А. Богданов, М.Е. Виноградов. М.: Наука, 2002. С. 213-235.
8. Пожар Витольд Эдуардович. Методы акустооптической спектрометрии : Дис. д-ра физ.-мат. наук: 01.04.01 Москва, 2005 189 с.
9. <http://www.astronet.ru/db/msg/1172384> - акустооптика
10. <http://www.sigma-optic.ru/> - акустооптические спектрометры
11. <http://www.sigma-optic.ru/fluorimetr.html> - акустооптические спектрометры
12. <http://www.vimi.ru/applphys/appl-99/99-2/99-2-2r.htm> - медицинский газоанализатор.
13. http://unc.ssu.samara.ru/book3/1_2.html - методики анализа воды.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ

Шаповалов И.С., Оленин А.Л.

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН 117997, г. Москва,
Нахимовский проспект, д.36

e-mail: nimnadne@gmail.com; olenant@hotmail.com.

In this article analyzed capability of using AOS (acousto-optic spectrometer) for measuring of parameters of water suspension elements and examined a few already working prototypes of acousto-optic devices. On the base of carried out investigation, estimated the capability of creating the measuring channel “in situ” with data processing in real time.

Введение

В Мировой океан ежегодно сбрасывают более 30 000 различных химических соединений. Среди этих соединений есть устойчивые загрязняющие вещества, которые, попав в водную среду, могут сохраняться и циркулировать в среде на протяжении десятков или даже сотен лет [2].

Прибрежные воды, составляющие всего 10% общей площади Мирового океана, испытывают основную нагрузку от антропогенных воздействий. Главными источниками таких воздействий на прибрежные акватории являются: поступление с суши различных веществ, применяемых в жилищно-коммунальном хозяйстве; захоронение в водной среде отходов производства; утечки различных веществ в процессе судовых операций; аварийные сбросы с судов или утечки из подводных трубопроводов; разработка полезных ископаемых на континентальном шельфе; сброс промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод (дампинг) по заглубленным трубопроводам. Последний источник оказывает наиболее сильное влияние на экосистемы прибрежных акваторий.

В настоящее время объем и интенсивность загрязнений Мирового океана достигли чрезвычайно высокого уровня. Актуальным становится снижение антропогенных воздействий и организация мониторинга загрязнений морей, океанов и прибрежных акваторий.

Для успешного решения задач мониторинга и охраны окружающей среды в акваториях морей и океанов необходимо проводить комплексные измерения различных океанологических характеристик с использованием дистанционных и контактных средств [1].

Одним из методов получения экспериментальных данных является анализ химического состава воды. В классическом виде процедура анализа параметров воды состоит из отбора пробы воды и анализа пробы в лабораторных условиях на специальном оборудовании.

В последние годы все большую актуальность приобретает проведение анализа во внелабораторных условиях – измерение параметров водной среды *in situ*. Это связано с тем, что в большинстве

случаев требуется весьма большой промежуток времени, чтобы доставить пробу воды в специализированную лабораторию.

Методы анализа воды

Классические фотометрические и спектрофотометрические методы, основанные на образовании определяемыми компонентами окрашенных соединений с разнообразными реагентами, издавна и широко применяются для целей мониторинга окружающей среды. В последние десятилетия все большее значение приобретают также атомно-абсорбционная и эмиссионная (флуоресцентная) спектрометрия, методы, позволяющие определить большое число химических элементов в неорганических матрицах с крайне низкими пределами обнаружения (при абсолютных содержаниях приблизительно 10-14 нг). Повышению чувствительности определений этими методами способствуют простейшая предварительная пробоподготовка или концентрирование (экстракция, упаривание проб воды и т.п.).

Хроматографические методы незаменимы для идентификации и количественного определения органических веществ со сходной структурой. При этом наиболее широко используемыми являются газовая и высокоэффективная жидкостная хроматография [6].

Газохроматографический (ГХ) анализ в питьевой и сточных водах сначала основывался на использовании насадочных колонок, позднее распространение получили и кварцевые капиллярные колонки. Газохроматографические детекторы часто подразделяют на универсальные, откликающиеся на каждый компонент в подвижной фазе, и селективные, реагирующие на присутствие в подвижной фазе определенной группы веществ со сходными химическими характеристиками. К универсальным относятся пламенно-ионизационный, атомно-эмиссионный, масс-спектрометрический детекторы и инфракрасная спектрометрия. Селективными детекторами, используемыми в анализе воды, являются электронно-захватный (селективен к веществам, содержащим атомы галогенов), термоионный (селективен к азот- и фосфорсодержащим соединениям), фотоионизационный (селективен к ароматическим углеводородам), детектор по электролитической проводимости (селективен к соединениям, содержащим атомы галогенов, серы и азота).

Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) является идеальным методом для определения большого числа термически неустойчивых соединений, которые не могут быть проанализированы с помощью газовой хроматографии. Высокоэффективная жидкостная хроматография имеет блестящие перспективы в плане автоматизации пробоподготовки.

Электрохимические методы, которые обычно применяют в анализе воды для определения неорганических компонентов, часто уступают по чувствительности методам газовой и жидкостной хроматографии, атомно-адсорбционной спектрометрии. Однако здесь используется более дешевая аппаратура, иногда даже в полевых условиях. Основными электрохимическими методами, применяемыми в анализе воды, являются вольтамперометрия, потенциометрия и кондуктометрия. Наиболее эффективными вольтамперометрическими методами являются дифференциальная импульсная полярография (ДИП) и инверсионный электрохимический анализ (ИЭА). Методы ДИП и ИЭА в прямом варианте, а также в сочетании друг с другом используют для анализа загрязненности воды ионами тяжелых металлов, различными органическими веществами. При этом часто способы подготовки проб являются гораздо более простыми, чем в спектрометрии или газовой хроматографии.

Потенциометрия с применением различных ионоселективных электродов (ИСЭ) используется в анализе воды для определения большого числа неорганических катионов и анионов. Концентрации, которые удается определить таким способом, $100 \cdot 10^{-7}$ моль/л. Контроль с помощью ионоселективных электродов отличается простотой, экспрессностью и возможностью проведения непрерывных измерений. В настоящее время созданы ионоселективные электроды, чувствительные к некоторым органическим веществам (например, алкалоидам), поверхностно-активным веществам (ПАВ) и детергентам. В анализе воды используются компактные анализаторы типа зондов с применением современных ионоселективных электродов.

Кондуктометрия – метод применяют при анализе сточных вод, при определении концентраций синтетических удобрений в оросительных системах, при оценке качества питьевой воды. В

дополнение к прямой кондуктометрии могут быть использованы косвенные методы, в которых определяемые вещества взаимодействуют перед измерением со специально подобранными реагентами, и регистрируемое изменение электропроводности вызывается только присутствием соответствующих продуктов реакции. Кроме классических вариантов кондуктометрии применяют и ее высокочастотный вариант (осциллометрию), в котором индикаторная электродная система реализуется в кондуктометрических анализаторах непрерывного действия [8].

Вода представляет собой сложный объект исследования. В настоящее время контроль качества воды осуществляется в соответствии с действующими нормативными документами (СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», ГОСТ 6709-72 «Вода дистиллированная технические условия»).

Как видно из вышеописанного большинство современных методов анализа состояния воды основаны на методике отбора проб и дальнейшего анализа пробы. Не всегда представляется удобным осуществлять анализ пробы по ряду причин, основной из которых является удаленность лаборатории от места взятия пробы.

В связи с этим далее рассмотрим автоматизированные лабораторные методы анализа состояния воды.

Анализ элементов взвеси

Морская взвесь - твёрдые частицы, взвешенные в морской воде.

В состав морской взвеси входят минеральные и органические частицы, имеющие различное происхождение. А именно:

- терригенное - продукты размыва горных пород суши,
- биогенное - фрагменты тел и экскременты морских организмов,

- вулканогенное - обломочный материал вулканических извержений,
- хемогенное - продукты химических реакций,
- космогенное - космическая пыль.

Некоторое количество взвешенных веществ попадает в море со сточными водами, такими как городской сток, сток воды с полей (сельскохозяйственные удобрения), промышленный сток [8].

Преобладающее значение имеют терригенная и биогенная морские взвеси. Концентрация морской взвеси колеблется в широких пределах (от сотых долей $г/м^3$ в водах открытого океана до нескольких $кг/м^3$ в приустьевых районах мутных рек). Морская взвесь является исходным материалом при образовании донных осадков. Зональное размещение основных типов океанических осадков в разных климатических зонах зависит от происхождения состава морской взвеси. От содержания и свойств взвеси зависят оптические свойства морской воды (прозрачность, цвет, поглощение и рассеяние света). Органическая взвесь служит пищей морским животным. [5]

Химический состав морской воды

Современный состав морской воды, скорее всего, сформировался примерно 1 млрд. лет назад. В настоящее время морская вода состоит на 96,5% из воды и 3,5% примесей. Молекула воды содержит 1 атом кислорода и 2 атома водорода. В природе встречаются 9 различных видов молекул воды — это оксиды обычного водорода H^1 и его изотопа — дейтерия H^2 [3].

Обычная вода — H_2O . Смесь остальных оксидов — тяжелая вода. Довольно часто этот термин употребляется в более узком смысле, относясь только к оксиду дейтерия $H_2^2O^{16}$, образованный обычным кислородом. Свойства тяжелой воды наиболее сильно отличаются от свойств обычной. Она угнетающе действует на живые организмы и в больших дозах вызывает их гибель. Тяжелая вода является хорошим замедлителем нейтронов и теплоносителем для ядерных реакторов. Содержание ее невелико: на 6800 молекул обычной воды $H_2^1O^{16}$ приходится 1 молекула воды $H_2^2O^{16}$ [3].

Как уже говорилось, морская вода является многокомпонентной системой, включающей в себя молекулы воды, анионы и катионы солей, а также множество примесей. Общая масса растворенных солей в Мировом океане составляет огромную величину — $49,2 \cdot 10^{18}$ кг. В морской воде растворены практически все химические элементы периодической системы Менделеева, однако на долю 11 элементов, называемых главными компонентами, приходится более 99,9993%.

Катионы	% содер- жания	% солевого состава	Анионы	% содер- жания	% солевого состава
Натрий Na ⁺	10,752	30,61	Хлор Cl	19,345	55,04
Калий K ⁺	0,39	1,10	Бром Br	0,066	0,19
Магний Mg ⁺⁺	1,295	3,69	Фтор F	0,0013	0,004
Кальций Ca ⁺⁺	0,416	1,16	Сульфат SO ₄ ²⁻	2,701	7,68
Стронций Sr ⁺⁺	0,013	0,04	Борная кислота H ₃ BO ₃	0,027	0,07
			Бикарбонат HCO ₃ ⁻	0,145	0,41

Постоянство солевого состава является замечательным свойством океанических вод, оно проявляется в стабильности соотношения между растворенными в морской воде веществами для различных регионов Мирового океана. Из таблицы видно, что 85% растворенных в морской воде минеральных солей составляют натрий и хлор. Натрий и хлор в виде поваренной соли получают из морской воды промышленным способом. Промышленным способом из морской воды получают также бром, магний и его соединения. Бром — почти чисто морской продукт, 99% его содержится в океане.

Что касается растворенных газов, то в океанских водах углекислого газа содержится в 100 раз больше, а кислорода почти в 100 раз меньше чем в атмосфере. Масса растворенных в морской воде основных газовых составляющих (N_2 , O_2 , CO_2 , Ar) равна $32,4 \cdot 10^{12}$ т. Кислород поступает в воду в результате фотосинтеза и вследствие поглощения из атмосферы при недосыщении воды кислородом. Неорганический углерод содержится в морской воде в виде растворенного углекислого газа, угольной кислоты, карбонатных и бикарбонатных ионов. Все эти углеродные соединения образуют сложную карбонатную систему. Азота в океане очень мало, так как молекулярный азот инертен, его содержание в морской воде практически неизменно [3].

Растворенные вещества в морской воде

Морская вода, также как и другие воды биосферы, представляет собой гетерогенную систему, в состав которой помимо чистой воды — химического соединения, входят истинно растворенные вещества, тонкодисперсные включения твердых, жидких и газообразных фаз, а также живые организмы, являющиеся особой формой вещества. Все указанные основные фазовые компоненты находятся между собой во взаимодействии; их состав и относительная распространенность являются равноправными геохимическими характеристиками морской воды.

В конце XIX в. было установлено, что основной солевой состав морской воды (относительная распространенность главных ионов) неизменен на разных глубинах в разных частях Мирового океана. По современным данным нормальная вода имеет соленость 35 ‰. Постоянство основного солевого состава морской воды соблюдается лишь с определенной, хотя и весьма высокой точностью. Прецизионные измерения показывают существование небольших, но достоверных вариаций отношений концентраций компонентов основного солевого состава, которые, как правило, тем больше, чем ниже средняя концентрация. Причиной вариаций может быть как фракционирование солей при внутриводоемных биологических и физико-химических процессах, та и пространственная изменчивость состава и интенсивности потоков вещества на внешних границах океана. Максимальные отклонения от среднего состава наблюдаются для вод внутренних и окраинных морей с большой удельной нагрузкой речного стока и гидротермальных источников [3].

Основная масса океанской взвеси имеет биогенное происхождение, однако это утверждение нельзя распространить на все химические элементы. Для Li, C, Na, Mg, P, K, Ca, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb, Cs, Ba, Ta, Au, Tl, Pb, U доля терригенного материала составляет менее 20-25%, но для Al, Sc, Ti, редкоземельных элементов, Hf, Th она превышает 80%. Кроме того, значительная часть некоторых элементов (Si, Fe, Mn) в океанской взвеси имеет, по-видимому, гидротермальный генезис [7].

В морской воде растворены газы, поступающие из атмосферы, а также с атмосферными осадками, при вулканических подводных извержениях и в ходе биохимических, биологических и физико-химических процессов (фотосинтез, дыхание, разложение органических веществ, радиоактивный распад и др.). В морской воде содержатся сероводород, метан и другие растворенные газы. Растворимость газов в морской воде уменьшается с повышением температуры и увеличением солености.

Растворенный в морской воде газообразный азот ввиду его химической инертности не имеет существенного влияния на жизнь и химические процессы в океане. Его усваивают только азотофиксирующие бактерии, способные переводить свободный азот в его соединения. Поэтому по сравнению с другими газами концентрация азота (от 10 до 15 мл/л) самая большая, а относительное содержание всегда близко к 100 %.

Концентрация кислорода в поверхностных слоях океана колеблется от 5 до 9 мл/л. Поступление кислорода в глубинные океанические слои зависит от скорости его потребления, от перемешивания вод и переноса их течениями. Растворенный в воде кислород для нашей планеты почти так же важен, как и свободный атмосферный. Им дышат рыбы и водоросли, он участвует в ряде физико-химических процессов.

Оксид углерода (IV) /CO₂/ содержится в морской воде в концентрациях не более 0,5 мл/л, он является источником углерода, необходимого для построения живой клетки, то есть определяет наличие в океане органической жизни. В морской воде CO₂ распространен в свободном виде, но часть его (около 1 %) связана с водой в виде угольной кислоты. Растворимость CO₂ в океане в сотни раз превышает растворимость кислорода.

С глубиной концентрация CO₂ увеличивается, так как уменьшается его потребление при отсутствии фотосинтеза и увеличивается поступление оксида углерода (IV) при разложении органических остатков, особенно в слое кислородного минимума.

В морской воде есть и другие газы - аргон, водород. Сероводорода (CH₄) сравнительно мало, CH₄ образуется в анаэробной среде, создающейся в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий при недостатке или отсутствии кислорода, например в Черном море на глубинах 150-200 м и более [1].

Органические вещества в океане непрерывно образуются в виде зеленой массы растений. Одновременно происходит и их потребление, они отмирают и разлагаются. Остатки отмерших организмов находятся в морской воде в виде взвеси.

В составе растворенных органических веществ содержатся важнейшие органические соединения - пектиновые, гумусовые, белковые вещества (аминокислоты), углеводы, различные жирные кислоты, ферменты, антибиотики и витамины.

Сложность состава морской воды и связей между отдельными компонентами обуславливает своеобразие такой химической системы. Поэтому не случайно химическим лабораторным путем до сих пор не удается получить искусственную морскую воду [9].

Таким образом, из предоставленного материала следует, что определение качественного и измерение количественного состава элементов взвеси в морской воде являются актуальной проблемой современной океанологии.

Особую значимость имеет измерение этих параметров *in situ*, что требует нестандартных технических решений. В связи с этим следует обратить особое внимание на такой раздел науки как акустооптическая спектрометрия.

Заключение

На основании выполненного анализа возможностей акустооптической спектрометрии для идентификации частиц взвеси в морской воде можно сделать вывод, что анализ элементов взвеси в морской воде на данный момент носит чисто лабораторный характер, без применения автоматизированных методик, что не позволяет оперативно получать достаточное количество информации о характере и объеме загрязненных водоемов или акваторий;

Список использованной литературы

1. Бондур В.Г. Аэрокосмические методы в современной океанологии. М.:Наука, 2004
2. В.И. Ведерников, Б.Г. Бондур, М.Е. Виноградов, Антропогенное воздействие на планктонное сообщество акватории бухты Мамала по судовым и спутниковым данным, журнал Океанология, 2007, том 47, №2, с. 241-258.
3. Иванов В.А., Показеев К.В., Шрейдер А.А. Основы океанологии. Москва: Лань, 2008
4. Лисицын А.П. Лавинная седиментация в океане// Литология и полезные ископаемые. М., 1984.
5. Савенко В.С. О соотношении биогенной и терригенной взвеси в океане: Докл. Акад. Наук. 1999. Т.364. №2. С. 251-254
6. Пересыпкин В.И. Состав органического вещества донных отложений // В. кн. Океанологические исследования фронтальной зоны Гольфстрима: Полигон «Титаник» / Отв. ред. А.М. Сагалевиц, Ю.А. Богданов, М.Е. Виноградов. М.: Наука, 2002. С. 213-235.
7. <http://www.astronet.ru/db/msg/1172384> - акустооптика
8. http://unc.ssu.samara.ru/book3/1_2.html - методики анализа воды.

9. <http://naxodka.info/sea/air.html> - химический состав морской воды

**КОМПЛЕКСНЫЕ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
ЧЕРНОГО МОРЯ В 82/83 РЕЙСЕ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА «АКВАНАВТ»**

**Селифонова Ж.П.¹, Якушев Е.В.², Часовников В.К.²,
Пименов Н.В.³, Подымов О. И.², Ясакова О.Н.⁴**

¹ Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, г. Мурманск 183010, Владимирская, 17, e-mail: selifa@mail.ru

² Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН г. Геленджик 353467 e-mail: chasovn@mail.ru, тел. (86141) 28-249, 28-069, факс (86141) 28-089

³ Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, г. Москва 117312,
Проспект 60-летия Октября, д. 7, корп. 2

⁴ Институт аридных зон Южного научного центра РАН, г. Ростов-на-Дону, 344006, пр. Чехова, 41

During the June 2005 RV "Akvanavt" cruise there were studies of the phytoplankton, bacterioplankton, mesoplankton and hydrochemical parameters from the anoxic layer to surface. The obtained results allow to consider that in 2005 the quantity of mesoplankton in the layers 90-150 m increased with previous years.

Материал получен в 82/83-м рейсе «Черное море-2005» Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН 29 июня 2005 г. Сбор планктона (фитопланктон, бактериопланктон, мезопланктон) с одновременным изучением гидрофизических и гидрохимических свойств воды проводили над глубинами 1.3-1.6 км (координаты станций 44.458 N, 38.017 E; 44.485 N, 37.88 E) в 11-ти мильной зоне на траверзе Голубой бухты (г. Геленджик). Гидрофизические параметры (давление, температура, электропроводность, прозрачность) измеряли с помощью гидрофизического зонда «Sea Bird 19». Отбор проб воды на гидрохимию и планктон производили из 5-ти литровых батометров Нискина, входящих в состав комплекса «Rosette». Мезопланктон отбирали большой сетью Джеджи (диаметр входного отверстия 37 см, размер ячеек 120 мкм) методом послойных ловов с помощью замыкателя конструкции Н.В. Ясакова (Ясакова, Селифонова, 2007). Скорость темновой ассимиляции углекислоты измеряли радиоизотопным методом с ^{14}C -бикарбонатом. Методы определения гидрохимических параметров стандартные (Руководство..., 1992).

В период исследования верхний квазиоднородный слой (ВКС), прогретый до 22°C, имел толщину 10 м. В нижней части термоклина температура медленно снижалась, достигая минимума (7°C) на глубине 70 м. Максимальные концентрации кислорода наблюдались в слое 15-50 м (до 350 μM), там же были отмечены минимальные значения неорганических форм биогенных элементов – фосфатов, нитратов, силикатов (<0.5 мкМ PO_4 , 0.25-0.5 мкМ NO_3 , <10 мкМ Si). Низкие концентрации кислорода (< 0.6 мкМ) отмечались практически вплоть до границы появления сероводорода (> 0.3 мкМ) на изопикне

16.11 кг/м³ (начало слоя плотности 15.95 кг/м³). Максимум нитритов в период исследований был почти в 2 раза больше наблюдавшегося в 2004 году (0.15 мкМ, против 0.07 мкМ), и располагался на горизонте появления глубинного сероводорода (16.10 кг/м³), хотя обычно он располагается выше горизонта выклинивания аммония и марганца. С ростом концентраций глубинного аммония наблюдалось исчезновение нитратов (<0.15 мкМ на 15.95 кг/м³).

Суммарная биомасса фитопланктона варьировала от 10 до 375 мг/м³, причем его основная масса скапливалась в ВКС. С глубиной количество фитопланктона плавно снижалось до минимума. Золотистые водоросли *Emiliania huxleyi* образовывали максимум у поверхности (70 %). Динофитовые водоросли родов *Gymnodinium*, *Prorocentrum*, *Protoperidinium* и *Ceratium* и диатомовые *Pseudosolenia calcar-avis*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Chaetoceros curvisetus*, *Cerataulina pelagica* и *Leptocylindrus danicus* концентрировались вплоть до нижней границы сезонного термоклина, который располагался на глубине 10-15 м. В холодном промежуточном слое (ХПС) значения биомассы (40-90 %) формировали диатомовые водоросли *Pseudonitzschia pseudodelicatissima*, *Nitzschia tenuirostris*. В верхней части основного пикноклина обнаружены скопления золотистых водорослей *Dinobryon* sp., а в его нижней части – мелких гетеротрофных жгутиковых. *Proboscia alata* (до 75%) и *P. calcar-avis* (<18 %) нами встречены в диапазоне глубин 70-150 м.

Профиль численности микроорганизмов характеризовался двумя выраженными максимумами – в ВКС и в зоне хемоклина (ХК) на глубинах 155-240 м, а минимум – в ХПС. Численность микроорганизмов в период исследований, была несколько ниже средних величин, полученных другими авторами. Разброс значений численности микроорганизмов в ХПС обычно составляет 0.2-0.4 10⁶ кл./мл, в зоне ХК – 0.35-1.2 10⁶ кл./мл. По нашим данным эти

величины составляли $1.3-3.5 \cdot 10^4$ кл./мл и $1.1-1.7 \cdot 3.5 \cdot 10^5$ кл./мл соответственно. На границе окисленных и восстановленных вод наблюдалось несколько пиков повышенных величин темновой CO_2 фиксации (на глубине 153-163 м, совпадающее с максимальными концентрациями иона NO_2^- и нарастающей концентрацией иона NO_3^- , и в верхней части сероводородной зоны в интервале глубин 170-190 м, коррелирующее с повышенным содержанием микробных клеток).

Структура вертикального профиля мезопланктона имела два максимума. Верхний максимум был приурочен к ВКС и термоклину, где концентрировалась ночесветка *Noctiluca scintillans* (1.8 г/м^3), нижний максимум – к слою основного пикноклина. В верхней части основного пикноклина наблюдался слой высокой концентрации гребневиков-плевробрахий (1 г/м^3). В глубжележащих слоях вплоть до 130-150 м, где содержание кислорода достигало $< 0.6 \text{ мМ}$, отмечались скопления хищной сагитты (0.7 г/м^3) и V-VI стадий калянуса (1.2 г/м^3). Половозрелые псевдокалянусы достигали максимума (100 мг/м^3) на глубине 50-70 м. Следует отметить, что в июне 2005 г. заметно увеличилась биомасса основных элементов мезопланктона при сохранении типичной вертикальной структуры. Одной из вероятных причин такого явления следует считать уменьшение пресса хищного гребневика-мнемиопсиса. По данным (Виноградов и др., 2006) в 2005 г. по сравнению с предыдущими годами наблюдалось значительное снижение количества мнемиопсиса (в 2-3 раза), что вероятно привело к увеличению биомассы мезопланктона в нижних слоях его концентрации.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕНЕВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПЛОТНОСТНЫХ
НЕОДНОРОДНОСТЕЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ

Дерновский В.Л., Дорохов П.В., Королёв В.С., Федотов Г.А.

ЗАО “Гранит-7”

Россия, 191014, Санкт-Петербург, ул. Госпитальная, дом 3,

тел. +7(812)5789819, факс +7(812)2740126,

e-mail g.a.fedotov@gmail.com

A new method for classification of the schlieren images of the marine medium density field is considered. The method based on the digital image processing allows to distinguish automatically between “spotty” and “bandy” inhomogeneity picture frames.

Структура мелкомасштабных плотностных неоднородностей поля плотности существенно влияет на характер физических, химических и биологических процессов в морской среде, а следовательно, и на экологическое состояние акватории. Указанная структура может быть визуализирована с помощью теневых приборов, чувствительных к пространственной конфигурации поля градиента

показателя преломления. Оптические неоднородности морской среды могут иметь хлопьевидную (близкую к эллиптической) или нитевидную (вытянутую) форму [1], причем, согласно литературным данным [2], турбулентные неоднородности имеют нитевидную структуру для поля температуры и микроструктуру зернистого типа для пульсаций солёности. Возможность порождения тонких нитевидных микроструктур в распределении температуры при деформационных турбулентных движениях отмечается также, например, в [3].

Следовательно, тип изображения, сформированного теневым визуализатором плотностных неоднородностей, содержит информацию о природе гидрофизического поля, ответственного за возникновение наблюдаемых возмущений морской среды. Классификация «полосатых» и «пятнистых» изображений позволит, согласно вышеизложенным представлениям, выделять области морской среды, содержащие возмущения, обусловленные температурными и солёностными неоднородностями соответственно.

В работе предложен метод классификации двумерных изображений плотностных неоднородностей морской среды, основанный на цифровой обработке матрицы яркости, соответствующей исследуемому кадру. Метод позволяет в автоматическом режиме различать кадры, содержащие «полосатые» и «пятнистые» изображения. Метод инвариантен к изменению энергетических и геометрических масштабов изображения, а также к повороту и сдвигу системы координат.

Основным классификационным признаком кадра служит величина максимума нормированной гистограммы направлений перпендикуляра к вектору градиента поля яркости изображения. Разделение на классы происходит по результатам сравнения этой величины с заданным пороговым значением. Высокие значения указанного максимума характерны для «полосатых» изображений,

низкие значения – для «пятнистых» изображений. Для классификации кадров можно использовать не только исходное изображение, но и его пространственные производные, а также другие параметры гистограмм направлений.

С использованием кадров, содержащих изображения плотностных неоднородностей морской среды, полученные с помощью теневого визуализатора в натуральных условиях, выполнены приближенные количественные оценки, которые подтвердили эффективность предложенного метода классификации. Для повышения эффективности и быстродействия метода необходима оптимизация процедур, реализующих отдельные этапы метода, и параметров, входящих в эти процедуры.

Использование предложенного метода при мониторинге акватории с подвижного носителя гидрооптической аппаратуры может служить дополнительным источником информации о физической природе наблюдаемых неоднородностей морской среды.

Литература

Авраменко А.С., Дурович Э.Ю., Келбакиани Д.Ф., Красовский Э.И., Наумов Б.В. Дистанционный теневой визуализатор неоднородностей морской воды. – Океанология, 1987, т. XXVII вып.1, стр. 151.

Прохоров В.Е., Чашечкин Ю.Д. Сообщение о международной сессии «Мезо- и микроструктур океана – измерения и модели процессов», г. Сестрорецк, 7-12 сентября 1992г. – Океанология, 1993, т.33, №3, стр. 468.

Фрост У., Моулден Т. Турбулентность: принципы и применения. Мир, 1980. 535 стр.

МЕТОД СЕЛЕКЦИИ ОБЛАСТЕЙ МОРСКОЙ СРЕДЫ
С ПОВЫШЕННЫМ УРОВНЕМ ПУЛЬСАЦИЙ
ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Дерновский В.Л., Дорохов П.В., Королёв В.С., Федотов Г.А.

ЗАО “Гранит-7” Россия, 191014, Санкт-Петербург, ул. Госпитальная,
дом 3, тел. +7(812)5789819, факс +7(812)2740126,

e-mail g.a.fedotov@gmail.com

A method for selection of the marine medium zones with an increased intensity of the refractive index gradient fluctuations is proposed. The proposed method is based on the digital processing of a numerical sequence characterizing the picture frame stream formed by a schlieren optical system. The method doesn't require the classification of individual frames.

Селекция областей морской среды с повышенной интенсивностью мелкомасштабных пульсаций градиента показателя

преломления представляет актуальную научно-техническую задачу ввиду важности всестороннего контроля гидрофизического состояния акватории для обеспечения функционирования инженерных сооружений, а также в связи с решением морских экологических задач. В данной работе предложен один из возможных методов обработки потока кадров, формируемых теневым визуализатором плотностных неоднородностей морской среды [1] при мониторинге акватории с подвижного носителя гидрофизической аппаратуры, с целью селекции указанных областей.

Метод предполагает определение для каждого текущего кадра численного значения некоторого параметра (либо набора параметров), характеризующего интенсивность пульсаций градиента показателя преломления в среде, состояние которой отображается на кадре. Решение о существовании искомой области морской среды принимается по результатам обработки сигнала, сформированного на основании полученной числовой последовательности значений указанного параметра (либо набора последовательностей значений параметров), с помощью специального алгоритма.

Различные варианты предложенного метода отличаются друг от друга выбором параметров кадра, характеризующих интенсивность пульсаций градиента показателя преломления. В качестве примера в работе рассмотрен один из возможных вариантов такого выбора: в основу метода положена количественная оценка характеристик функции плотности вероятности (ФПВ) распределения величин эффективного градиента яркости исходного изображения. Рассмотрены две возможные характеристики ФПВ: максимальное значение ФПВ и величина эффективного градиента яркости, при котором ФПВ обращается в ноль. В качестве параметра, характеризующего интенсивность пульсаций градиента показателя

преломления, выбрана обратная величина максимального значения (ОВМЗ) ФПВ.

Рассматриваемый в данной работе вариант метода селекции областей морской среды, основанный на вычислении ОВМЗ ФПВ, включает в себя два этапа. На первом этапе производится последовательная обработка потока кадров, в результате которой формируется реализация $X(i)$, где i – порядковый номер кадра, X – значение ОВМЗ ФПВ для этого кадра. На втором этапе производится обработка сигнала $X(i)$ по специальному алгоритму. Здесь также возможны различные варианты обработки. Один из вариантов включает в себя, в частности, полосовую фильтрацию сигнала в заданном диапазоне пространственных масштабов пульсаций, вычисление модуля отфильтрованного сигнала, равномерное скользящее осреднение модуля отфильтрованного сигнала по заданному интервалу осреднения.

Предварительная апробация метода на материалах базы данных, содержащей двумерные изображения плотностных неоднородностей морской среды, полученных с помощью теневых визуализаторов в натуральных условиях, показала, что предложенный метод действительно можно использовать для выделения областей с повышенной интенсивностью пульсаций градиента показателя преломления.

Отличительной особенностью предложенного метода является отсутствие классификации отдельно взятых кадров видеопотока. Уточнение метода и обоснованный выбор параметров обработки изображений, а также определение эффективности метода, должны проводиться на основании дальнейших исследований с использованием имеющихся натуральных данных.

Литература.

1. Брамсон М.А., Красовский Э.И., Наумов Б.В. Морская рефрактометрия. Гидрометеоиздат, 1986. 248 стр.

**СОБСТВЕННОЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ОКЕАН-АТМОСФЕРА
КАК ЕСТЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЕ ТЕПЛО-И ВЛАГООБМЕНА**

Гранков А.Г., Мильшин А.А.

Фрязинское отделение Института радиотехники и электроники
РАН им В.А. Котельникова, 141190, г. Фрязино, пл ак. Введенского,1,
тел. 496-56-526-56, agrankov@ms.ire.rssi.ru

The report elucidates a prehistory and current state of studying the heat and dynamic processes in the ocean-atmosphere interface with passive radiometric observations from satellites at microwaves. The feasibility of determining of sensible, latent heat and momentum fluxes to a useful accuracy using the satellite data directly from the measured brightness temperatures is discovered.

Параметры, определяемые с ИСЗ (вертикальные турбулентные потоки явного, скрытого тепла и импульса), относятся к числу так называемых климатоформирующих параметров. Основная проблема определения этих параметров со спутников заключается в том, что

поле собственного СВЧ-излучения несет информацию не только о нижних слоях атмосферы (которые непосредственно участвуют в энергообмене с поверхностью океана), но и о более ее высоких слоях. Вот почему спутниковые СВЧ-радиометрические методы анализа климатоформирующих параметров стали развиваться лишь в 80-е и 90-е годы (преимущественно в США, России и Германии), хотя уже в 60-х и 70-х годах были получены обнадеживающие результаты применения дистанционных СВЧ- и ИК-радиометрических методов для анализа процессов теплообмена на границе "вода-воздух" при измерениях в лабораторных условиях, с плавучих платформ, низколетящих самолетов.

В последние годы накоплен определенный опыт использования методов спутниковой СВЧ- и ИК-радиометрии для анализа теплового взаимодействия между океаном и атмосферой на основе данных радиометров SSMR (ИСЗ NIMBUS 7), SSM/I (DMSP) и AVHRR (NOAA). Разработаны и апробированы методы определения среднемесячных значений потоков скрытого (латентного) тепла на границе раздела океана и атмосферы и их сезонной изменчивости, основанных на существовании прямых либо косвенных соотношений между яркостной температурой, измеряемой с ИСЗ, и такими компонентами тепловых потоков, как температура поверхности океана, температура, влажность и скорость ветра в приводном слое атмосферы. Позже были проведены исследования возможностей использования этих методов на основе данных измерений радиометра SSM/I для оценки потоков скрытого тепла на синоптических временных масштабах, однако их результаты оказались не столь обнадеживающими. На сегодняшний день можно констатировать, что существует ряд существенных пробелов в исследованиях реальных и потенциальных возможностей СВЧ-радиометрических методов анализа характеристик теплового и динамического взаимодействия океана и атмосферы с ИСЗ:

- используемые методы базируются на формулах теплообмена между океаном и атмосферой (балк-формула), включающих в расчеты тепловых потоков температуру и влажность приводного слоя атмосферы, которые лишь косвенно связаны с яркостной температурой системы океан-атмосфера (COA);

- в качестве характеристик, связывающих яркостной температуры COA в СВЧ-диапазоне с тепловыми потоками на границе раздела системы, рассматриваются исключительно влажностные характеристики атмосферы, регистрируемые спутниковыми СВЧ-радиометрами в области резонансного поглощения водяного пара;

- соотношения между яркостной температурой и тепловыми потоками статичны в том смысле, что они опираются на обобщенные (многолетние) регрессии между данными наблюдений интегральной и приводной влажности, которые не учитывают вклад различных механизмов переноса тепла и влаги в атмосфере (вертикальный диффузионный, горизонтальный (адвективный), либо иной другой) на более мелких временных масштабах.

Что еще более важно, в мировой практике дистанционного зондирования до сих пор не рассматривались возможности использования данных спутниковых СВЧ-радиометрических измерений для решения такой важной для океанологов и климатологов задачи как анализ характеристик теплового взаимодействия океана и атмосферы во фронтальных зонах, где обычно нарушаются условия корректного использования балк-формул. Остаются неясными до сих пор возможности использования спутниковых СВЧ-радиометрических методов для анализа энергетических и циркуляционных характеристик пограничного слоя атмосферы и оценки их влияния на процессы теплообмена на границе раздела COA. Наконец, вне поля зрения специалистов по дистанционному зондированию Мирового океана СВЧ- и ИК-

радиометрическими и другими средствами остается важнейшая проблема, связанная с исследованием роли (первичности) океана и атмосферы в тепловом и динамическом взаимодействии между ними на различных пространственных и временных масштабах.

В связи с этим в настоящее время усилия исследователей направлены на разработку физических основ и методов определения вертикальных турбулентных потоков тепла в явной и скрытой формах в диапазоне временных масштабов сутки, месяцы, сезоны, годы с помощью спутниковых измерений характеристик собственного СВЧ-излучения СОА в диапазонах сантиметровых и миллиметровых длин волн, широко используемых на современных ИСЗ.

С этой целью в настоящее время решаются следующие задачи:

- изучение механизмов формирования взаимосвязи между характеристиками собственного СВЧ-излучения СОА и интенсивностью тепловлагообмена на границе раздела океана и атмосферы;

- поиск участков спектра, в которых поддерживается наиболее тесная связь между измеряемой с ИСЗ яркостной температуры СОА и вертикальными турбулентными потоками явного, скрытого тепла и импульса на границе раздела системы на различных временных масштабах;

- исследование возможностей использования спутниковых СВЧ-радиометрических методов для анализа характеристик теплового и динамического взаимодействия океана и атмосферы во фронтальных зонах океана;

- анализ возможностей использования данных спутниковых СВЧ-радиометрических измерений для оценки вклада океана и атмосферы в их тепловое взаимодействие на различных временных масштабах.

Важной задачей при этом стало изучение механизмов реагирования поля собственного излучения СОА на изменения тепловых свойств воздуха в приводном слое и в слое турбулентности атмосферы, включая поиск участков спектра, а также масштабов временного и пространственного усреднения спутниковых данных, при которых поддерживается прямая (непосредственная) связь между измеряемой с ИСЗ яркостной температуры СОА и интенсивностью тепло-и влагообмена на границе раздела океана и атмосферы.

Данное направление наших исследований в этой области поддерживалось российским фондом фундаментальных исследований РФФИ (грант № 94-05-16234а, 1994-95 гг.), а также послужило одной из тем сотрудничества между космическими агентствами России (РКА) и США (НАСА) (контракт NAS 15-10110, 1996-1997 гг.). Результаты исследований по взаимосвязи между собственным СВЧ-излучением СОА с вариациями теплосодержания атмосферы, обусловленными адвекцией тепла, вошли в годовой отчет РАН за 1998 год.

Значительный вклад в проведение исследований сыграли данные судовых экспериментов НЬЮФАЭКС-88 и АТЛАНТЭКС-90, предоставленные С.К. Гулевым (ИО РАН), архив 10-летних СВЧ-радиометрических измерений над океаном и сушей с метеоспутников серии DMSP (Marshall Space Flight Center, США), а также данные океанографических, океанографических, метеорологических и одновременных спутниковых измерений в энергоактивной области "М" Северной Атлантики (Joerg Schulz, Германия).

В качестве примера на рис.1 приведены зависимости, иллюстрирующие связь яркостной температуры собственного СВЧ-излучения системы океан-атмосфера с ИСЗ F-08 (радиометр SSM/I) с тепловыми потоками на границе раздела СОА, полученными в

эксперименте НЬЮФАЭК-88 в области “D” Ньюфаундлендской энергоактивной зоны Северной Атлантики).

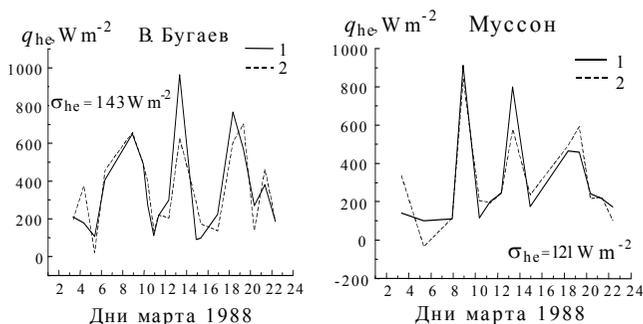


Рис.1. Результаты сопоставления вертикальных турбулентных потоков тепла и влаги q_{he} на границе раздела океана и атмосферы на основе результатов судовых измерений с НИСП В. Бугаев и Муссон в эксперименте NEWFOUEX-88 (1) и их спутниковых оценок (2), полученных по данным измерений яркостной температуры собственного СВЧ-излучения системы океан-атмосфера в каналах 22V (1.35 см), 19V,Н (1.55 см). V, Н - вертикальная и горизонтальная поляризации излучения COA, соответственно. σ_{he} - расхождение между прямыми (судовыми) и косвенными (спутниковыми) оценками.

Основной вывод исследований, обобщенный нами в [1, 2], заключается в том, что интенсивность собственного СВЧ-излучения COA является естественной характеристикой теплового взаимодействия COA. По меньшей мере, этот вывод справедлив для энергоактивных зон Северной Атлантики, формирующих погодные условия и климатические тенденции в Европе и в Европейской части России.

Литература

1. Гранков А.Г., Мильшин А.А.. Взаимосвязь радиоизлучения системы океан-атмосфера с тепловыми и динамическими процессами на границе раздела, т.: Физматлит, 2004, 186с.

2. A. Grankov and A. Milshin. Microwave Radiation of the Ocean-Atmosphere: Boundary Heat and Dynamic Interaction, Springer, 2009.

К МЕХАНИЗМУ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРИБРЕЖНОГО ПРОГРЕВА: НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ

**Рыжиков Н.И., Чубаренко И.П., Козлова О.И.,
Чубаренко Н.Б.**

Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН,
Атлантическое отделение
236000 Калининград, проспект Мира, 1
Тел. +7 (4012) 451574; e-mail: elezarkun@gmail.com

Рост температуры воды по мере приближения к берегу устойчиво наблюдается в прибрежных зонах природных водоёмов (на расстояниях до нескольких километров от берега) и на мелководьях в условиях интенсивного солнечного прогрева как в суточном, так и в сезонном цикле. Физический механизм его формирования во многом остаётся до сих пор неясным. Поскольку поглощение солнечного света по мере его проникновения в толщу воды в глубокой и мелкой частях бассейна (при одинаковых оптических свойствах вод) происходит примерно одинаково, наблюдаемую неоднородность прогрева следует отнести к влиянию дна. Действительно: на меньших глубинах большее количество солнечной энергии достигает дна, а затем - отражением или поглощением/переизлучением – возвращается воде. Именно этот

дополнительный подогрев от дна обеспечивает рост температуры воды по мере приближения к берегу, а соответствующий дестабилизирующий поток плавучести от дна приводит к выравниванию профилей температуры по вертикали.

Поскольку неоднородность температуры воды приводит к возникновению разности плотностей по горизонтали, через единицы-десятки минут после начала прогрева [Чубаренко, 2009] в прибрежном мелководье возникает горизонтальный водообмен между более мелкими и более глубокими областями. Натурные измерения, проводившиеся в прибрежной зоне Балтийского моря (до глубины 1 м) при интенсивном солнечном прогреве были нацелены на исследование этого процесса. Предполагалось прояснить два вопроса: 1) возникают ли в данном случае термики со дна из-за его подогрева – или горизонтальный обмен сглаживает их (соответственно, транспорт тепла по вертикали обусловлен конвективными механизмами - или теплопроводностью), и 2) достигает ли горизонтальный обмен хотя бы на таких малых глубинах своего квазистационарного состояния, при котором приток тепла через поверхность сбалансирован его горизонтальным транспортом, так что поле температуры воды и при наличии течений сохраняется практически неизменным.

Измерения проводились 16 июля 2009 г. с 10:50 до 15:50 местного времени (летнее время GMT+1; местный полдень – в 14:15) на створе длиной 19 м, перпендикулярном береговой линии (глубина до 1 м) в прибрежной зоне Балтийского моря в районе г. Цингст, Германия. Для регистрации характеристик полей температуры и солёности использовался стандартный CTD-зонд Ocean seven #316plus с частотой опроса 0.2 с. Спектр солнечной радиации, падающей на поверхность, под-поверхностной, прошедшей через слой воды 40 см и отражённой от дна (на высоте 40 см от него) в диапазоне длин волн 400-800 нм (ширина полосы 8 нм, время интегрирования 20 сек) был получен спектрометром Cyclops производства Ingenieurbüro Marcel Kruse Informationstechnik (Stubben, Germany), имеющим полусферический диффузор. Измерения вертикальных профилей проводились через каждые 30 мин. в трёх точках, расположенных вдоль створа на глубинах 35, 65 и 85 см. В этих же точках на высоте 3-5 см от дна проводилась регистрация 15-25-минутных временных серий. Вдоль всей линии створа делались горизонтальные буксировки зонда от берега в сторону моря в 5-7 см под поверхность. Метеоусловия во время проведения измерений были вполне обычны

для Балтики: температура воздуха 21-23°C, ветер 6-8 м/с (нагонный, со значительной составляющей вдоль берега), изредка солнце закрывалось некрупными облаками (CuFr).

Обработка спектров солнечной радиации, полученных в точке с глубиной 85 см, показала, что от поверхности воды отражается около 40% солнечной радиации; остальные 60% проходят через поверхность в водную толщу, причём до дна (при данной глубине) доходит 45% от падающей на поверхность энергии. Спектральное распределение энергии на различных глубинах меняется незначительно: около 80 % энергии приходится на диапазон от 450 до 680 нм (230 нм), с максимумом на длине волны 534 нм. У отражённого сигнала, полученного на высоте 40 см от дна, спектр более узкий - 80 % энергии приходится на диапазон от 460 до 650 нм (190 нм), с максимумом на длине волны 560 нм. В целом, в измеряемом диапазоне длин волн, от дна (находящегося на глубине 85 см) отражается 9% от энергии, упавшей на поверхность. Зависимость от длины волны величины ослабления света в результате совместного действия (i) его прохождения через толщу воды и (ii) отражения от дна ($A = \ln(E_1/E_2)/dz$, где $dz=0.8$) изменяется от 3 до 5, причём максимально ослабляются длины волн 350-375 нм. Таким образом, спектр исходящего от дна излучения смещён в сторону длинных волн, чего и следовало ожидать.

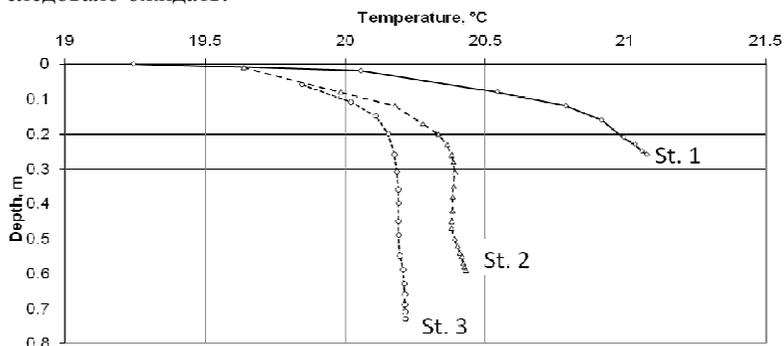


Рис. 1. Вертикальные профили температуры воды на трёх станциях (глубина 35, 65 и 85 см) в 11:15.

Анализ динамики поля температуры воды показал следующее. Солнечный прогрев в течение дня привёл к росту температуры воды в поверхностном слое от 20 до 22°C, причём скорость её роста была и максимальна (до 1°C/час с 11:30 до 13:00), и минимальна (0.15 °C/час - с 12:45 до 15:45) на станции 1 (глубина 35 см, самая мелководная станция). Горизонтальные буксировки в подповерхностном слое подтвердили формирование дифференциального прибрежного прогрева: рост температуры воды по мере приближения к берегу составлял от 0.5 до 1.2 °C/19 м.

Форма вертикальных профилей температуры воды (рис. 1) оказались довольно неожиданной: на всех профилях температура воды с глубиной растёт, достигая в большинстве случаев максимума на дне, изредка – в промежуточных слоях. Охлаждение поверхностных слоёв, по-видимому, вызвано усиленным ветром испарением. Разность температур между поверхностью и дном составляла 1-1.5°C, при этом средняя часть профилей практически изотермична, что указывает на наличие вертикального перемешивания. Динамика развития процесса во времени характерна для горизонтального конвективного обмена: в мелкой части створа (станции 1 и 2) рост температуры воды остановился около 14 часов (хотя та же характерная форма вертикальных профилей сохранялась и далее), а в глубокой части температура воды продолжала расти до конца наблюдений (15:45). Таким образом, на глубинах 35 и 65 см квазистационарный обмен сформировался к времени локального полудня (14:15), а на глубине 85 см – не достиг его и к 15:45.

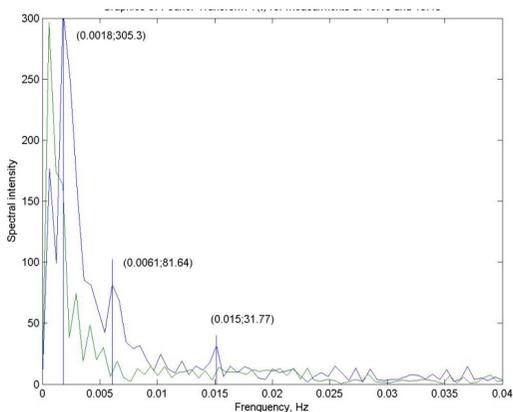


Рис. 2. Зависимость спектральной плотности от частоты, полученная на основе анализа временных серий температуры воды над дном при солнечном прогреве в 13:15 (гл. 35 см) и 13:45 (гл. 85 см).

Спектральный анализ временных серий температуры воды в 3-5 см над дном (длительностью 15-30 мин) показал, что (в отличие от аналогичных измерений в облачный день) в сигнале присутствуют заметные пики спектральной интенсивности (рис. 2), соответствующие периодам колебаний от 1 до 6 мин, что может указывать на формирование термиков при прогреве от дна. Оценка вероятной частоты возникновения термиков на основе данных измерений даёт нижнюю границу порядка 1 минуты.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ, гранты № 09-05-90730-моб_ст и 07-05-00850а.

Список литературы:

1. Чубаренко И.П. Горизонтальный конвективный водообмен над подводным склоном: механизм формирования и анализ развития // *Океанология*, 2009 (в печати).

ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНА

**Маркович И.И., Ковалёв Э.П., Семеняк П.Л.,
Коваленко Е.И.**

Научно-конструкторское бюро цифровой обработки сигналов

Южного федерального университета

347922 г. Таганрог, ул. Шевченко 2, тел./факс (8634) 312-350,

e-mail: dsp@tsure.ru

The present paper describes sonar equipment (SE), developed in SFedU Research and Design Bureau of Digital Signal Processing.

Urgency of SE development with space-time processing and results obtained are shown. The efficiency of developed methods is proved by full-scale tests.

В результате выполнения ряда НИОКР в области разработки гидроакустических (ГА) систем в НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ были созданы несколько ГА средств, в том числе два многолучевых эхолота (МЛЭ), ГА средства глубоководного комплекса, предназначенного для работы на глубинах до 6000 м, система цифрового формирования и обработки сигналов гидроакустического комплекса подводной навигации.

Проблема обнаружения подводных объектов (в том числе аварийных) приобретает особую актуальность в последнее время в связи с участвовавшими аварийными ситуациями. Статистика показывает, что ежегодное количество морских катастроф не имеет тенденции к сокращению, их количество остается недопустимо большим.

Критериями эффективности поисково-спасательных работ являются время прибытия в предполагаемый регион поиска и производительность поиска. Эффективность проведения поисково-спасательных работ можно существенно повысить, используя многолучевые эхолоты (МЛЭ) на авиационном носителе.

В настоящее время в России и за рубежом отсутствуют проекты по размещению многоканальных гидроакустических систем для проведения поисково-спасательных работ на самолетах-амфибиях. В связи с этим, работы, проводимые по данной тематике, являются актуальными.

В НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ была завершена разработка экспериментального образца МЛЭ, предназначенного для проведения поисково-спасательных и гидрографических работ.

Основные технические параметры разработанного МЛЭ приведены ниже:

- диапазон рабочих частот, кГц,75 – 150;
- количество элементарных приемных каналов, 48;
- разрешающая способность по углу в продольной и траверзной плоскостях в центральном секторе, градус, 2,1;
- количество формируемых лучей в секторе обзора,..... 111;
- сектор обзора в траверзной плоскости, градус, 120;
- разрешающая способность по дистанции, см, 10–12.

Пространственно-временная обработка сигналов в разработанных МЛЭ выполняется в соответствии со следующими основными алгоритмами цифровой обработки сигналов: цифровое формирование квадратурных составляющих сигнала, формирование в частотной области статического веера характеристик направленности в пространстве, весовая обработка во временной и частотной областях, согласованная фильтрация, реализованная методом быстрой свертки, вычисление модуля комплексной огибающей сигналов и пороговая обработка[1, 2].

В МЛЭ цифровыми методами синтезируются как простые, так и сложные (с линейной частотной модуляцией) зондирующие сигналы, формируется статический веер ХН приёмной антенны в траверзной плоскости.

Особое внимание уделяется формированию гидроакустических изображений и последующей их обработке цифровыми методами.

Для качественной оценки эффективности разработанных методов и гидроакустических средств были произведены натурные испытания в акватории Черного моря.

На рис. 1 приведено гидролокационное изображение затонувшего теплохода «Адмирал Нахимов», полученное с применением разработанных алгоритмов вторичной обработки сигналов МЛЭ.

При глубоководных геологических и геофизических исследованиях дна с целью поиска перспективных месторождений сырья необходимо проводить исследования на больших глубинах. Подобные задачи обычно решаются с применением глубоководных комплексов, в состав которых входят гидроакустические (ГА) средства различного назначения.

В НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ были разработаны ГА средства глубоководного комплекса, предназначенного для работы на глубинах до 6000 м. Созданы экспериментальные образцы узлов и блоков с цифровым формированием и обработкой сложных сигналов, в составе двух гидролокаторов бокового обзора, работающих в высокочастотном (ГБОВЧ) с рабочей частотой 100 кГц и низкочастотном (ГБОНЧ) с рабочей частотой 34 кГц диапазонах, а также акустического профилографа (АП) с рабочей частотой 5 кГц.

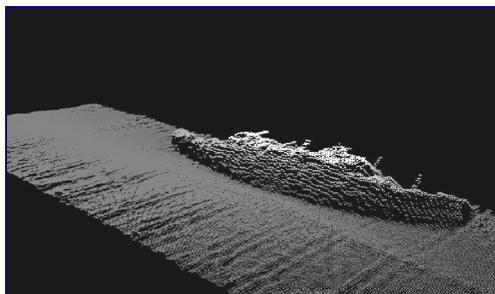


Рис. 1. Гидролокационное изображение затонувшего теплохода
«Адмирал Нахимов»

Были проведены натурные испытания в акватории Чёрного моря разработанных экспериментальных образцов ГБО и АП. Используя полученные записи реальных сигналов, были сформированы ГА изображения и выполнены работы по их улучшению методами цифровой обработки изображений. На рис. 2 приведено гидролокационное изображение затонувшего бомбардировщика Douglas «Boston» A-20.

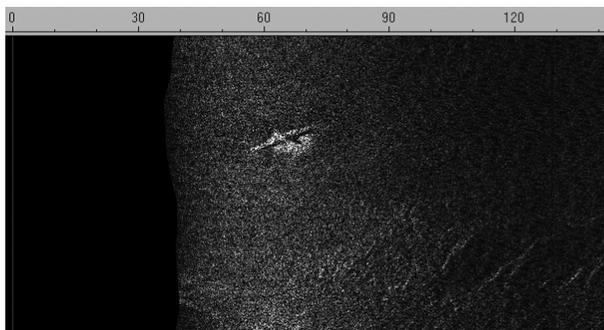


Рис. 2. Гидролокационное изображение затонувшего бомбардировщика Douglas «Boston» A-20

Спускаемые подводные аппараты (СПА) находят широкое применение при проведении поисковых работ, в геодезических исследованиях дна мирового океана, при строительстве и инспекции подводных сооружений. При этом требуется знать точное расположение СПА относительно его носителя (надводного судна или стационарно установленной в море платформы). Решение указанной задачи осуществляется с помощью гидроакустических комплексов подводной навигации (ПН).

В НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ разработана система цифрового формирования и обработки сигналов (ЦФОС), состоящая из блока формирования и первичной обработки сигналов (ФПОС) и управляющей ЭВМ, предназначенная для использования в комплексе ПН с ультракороткой базой. Система ЦФОС решает задачу определения положения СПА в сферической и прямоугольной системах.

Система работает в диапазоне несущих частот от 15 до 40 кГц, с максимальной шириной спектра излучаемых сигналов до 4-х кГц.

Проведенные испытания системы ЦФОС показали, что относительная среднеквадратическая погрешность оценки наклонной дальности на дистанциях до 3000 м составляет не более 0,1%, а среднеквадратическая погрешность определения углового положения СПА, не превышая 0,2°, обеспечивается при входном отношении сигнал/помеха $q_{вх}$ равном 1,5÷2.

Список литературы

1. Маркович И.И., Семеняк П.Л., Ковалев Э.П. Цифровая пространственно-временная обработка сигналов в многоканальной гидроакустической системе.// Информационно-измерительные и управляющие системы, № 3, т. 6, 2008.– с.72-75.

2. Ковалев Э.П., Маркович И.И., Семеняк П.Л. Реализация алгоритмов цифровой пространственно-временной обработки гидроакустических сигналов в многолучевых эхолотах.// Труды IX Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» (ГА-2008). – СПб.: Наука, 2008. – с. 183-187.

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОДСПУТНИКОВЫХ ПОЛИГОНАХ В ОКЕАНЕ.

Березуцкий А.В.,Скляр В.Е.

Институт океанологии им. П.П.Ширшова Российской Академии
наук

Москва, 117851, Нахимовский пр.36, т.07-495-1291954,
bav@navicom.ru, vsklyarov@km.ru

The generalized analysis of the given natural experiments carried out in various areas of Northern Atlantic, the seas of the Arctic pool and waters of Pacific sector of Antarctic, has shown presence of a wide spectrum of spatial and time variability of return volume sound scattering. As a rule, this variability corresponded to thermal contrasts on satellite IR-images of the ocean.

Получение сведений в реальном времени о трехмерной структуре поля скорости течений в океане является актуальной задачей океанологии. С помощью космических измерений удается собрать эти сведения только для приповерхностного слоя океана. Вместе с тем, синхронные подспутниковые измерения скорости течений методом акустической доплеровской локации с большого количества судов могут быть вполне посильной задачей в будущем. Безусловно, важным является разработка методических основ и

практики подобных измерений. Проведённые в последние годы исследования продемонстрировали значительный потенциал и дистанционного сейсмо-акустического зондирования (САЗ) для исследования неоднородностей водной толщи Мирового океана[1]. Однако результаты этих исследований также показали, что для адекватного мониторинга и картирования структуры океанских фронтов, внутритермоклинных вихрей и тонкоструктурных образований требуется знание количественных значений уровней рассеяния звука в диапазоне частот САЗ.

В настоящей работе приведены основные результаты акустико-гидрологических исследований, выполненных авторами в различных районах Мирового океана. Эти результаты свидетельствуют, что знание количественных характеристик акустического рассеяния на неоднородностях водной толщи в сочетании со спутниковой информацией позволяет значительно повысить информативность измерений в целом. Открываются реальные перспективы дистанционного трехмерного мониторинга скоростей течений и картирования динамических образований в Мировом океане в масштабах от синоптического до тонкоструктурного. Успешное развитие в последние годы методов альтиметрических измерений из космоса только способствует сделанным выводам. Расчеты параметров циркуляции по аномалиям уровенной поверхности становятся рутинным этапом анализа в современной океанологии. Для перехода к трехмерному анализу необходимо соединить измерения из космоса с акустическими судовыми измерениями. Обобщенный анализ данных натурных экспериментов, проведённых в различных районах Северной Атлантики, морях Арктического бассейна и водах тихоокеанского сектора Антарктики [2-4], показал наличие широкого спектра пространственной и временной изменчивости обратного объёмного рассеяния звука на глубинах 0-2000 м в диапазоне частот 10-150 кГц в масштабах от синоптического до тонкоструктурного. Как

правило, эта изменчивость соответствовала термическим контрастам на спутниковых ИК-изображениях океана.

Сочетание акустических измерений и альтиметрических измерений из космоса представляется весьма перспективным в будущем для получения трехмерной структуры океанских течений.

Литература

Geli L., Savoye B., Carton X. et al. Seismic imaging of the Ocean internal structure: a new tool in physical oceanography? // EOS, 2005. V. 86. N. 2. P. 15.

Berezutski A.V., Maximov S.E., Sklyarov, V.E. .Gordon R.I. Deep ADCP velocity measurements in the Gulf Stream. //Journal of Atmospheric and Ocean Technology, 1991.V. 8, N.6, P.884-887.

Березуцкий А.В., Максимов С.Э., Родионов В.Б., Скляров В.Е. Комплексное гидролого-акустическое исследование структуры полярного фронта в Баренцевом море контактными и дистанционными методами.//Океанология, 1994, V. 99, N. 10, P.20,375-20,379

Sklyarov V.E, Berezutskii A.V. On the influence of large scale circulation on volume sound scattering in the Pacific section of the Antarctic.//Proceedings of SPIE ,V.6522, 652212(Nov. 2006) doi 10.1117/12.723099

Скляр В.Е.

Институт океанологии им. П.П.Ширшова Российской Академии наук Москва, 117851, Нахимовский пр.36, т.07-495-1291954,
vsklyarov@km.ru

The primary purpose of this report is to present the examples of coastal upwelling in the Baltic, Black, Caspian and Aral seas. The examples of pronounced upwelling appear in the images of NOAA, TERRA, AQUA and ENVISAT received last years. The factors promoting of upwelling supervision from space are considered.

В последние годы проведение регулярных экспедиционных работ даже во внутренних морях России вызывает известные сложности. Поэтому наиболее оптимальными средствами исследований становятся наблюдения и измерения из космоса. В настоящей работе рассматриваются результаты наблюдений из космоса за явлением подъема глубинных вод (апвеллинга) во внутренних морях России и соседних государств. Использовались материалы космической съемки со спутников «TERRA», «AQUA», «ENVISAT» и «NOAA» в инфракрасном и видимом диапазонах спектра. Отмечаются наиболее общие характеристики и отличия апвеллинга в Балтийском, Черном, Каспийском и Аральском морях. Для Балтийского моря характерно повсеместное проявление прибрежного апвеллинга.

Для Черного и Каспийского морей явление апвеллинга наблюдается весьма часто и в разных местах побережья. Приводятся примеры (рис.1-рис.4) наиболее ярких проявлений прибрежного апвеллинга в этих морях.

Весьма интересные и новые результаты были получены для Аральского моря. Оказалось, что апвеллинг в Аральском море наблюдается только в весеннее время года, когда начинается интенсивный прогрев верхнего слоя и образуется устойчивая термическая стратификация. При этом апвеллинг наблюдается только в западной части Аральского моря (рис.4).

Распространение апвеллинговых вод является важной чертой термической структуры и динамики внутренних морей. В наше время регулярные наблюдения из космоса представляются наиболее адекватным средством для изучения прибрежного апвеллинга.

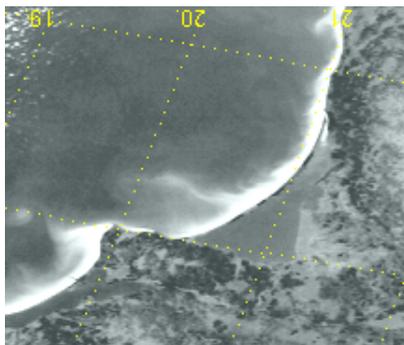


Рис.1 Апвеллинг вблизи российского побережья южной Балтики(Куршский залив-мысТаран-Гданский залив), NOAA 12 - 11.09.2002.

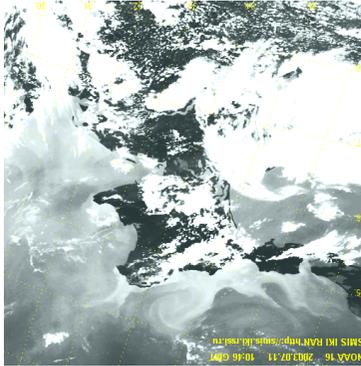


Рис.2. Апвеллинг у южного побережья п-ва Крым и российского побережья Черного моря, NOAA 16- 2003.07.11

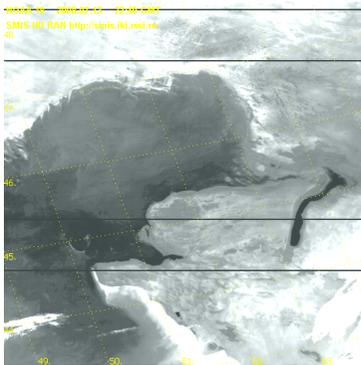


Рис.3 Апвеллинг в Каспийском море у п-ва Мангышлак, NOAA 16-2008.07.13

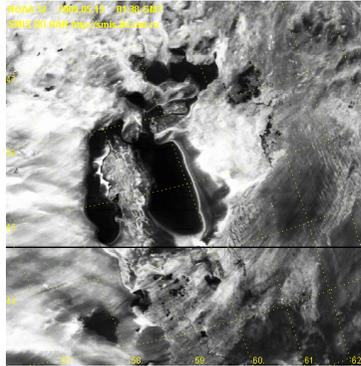


Рис.4. Апвеллинг в западной части Аральского моря, NOAA 12-2005.15.05

Литература

1. Zvialev P.O. Physical oceanography of the Dying Aral Sea., Berlin; Heidelberg [u.a.]:Springer.

2. Sklyarov V.E. Aral sea: dust storms and upwelling. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-00000, EGU General Assembly 2008 .

3. Sklyarov V.E. Upwelling in the inland seas. Geophysical Research Abstracts,

Vol.11, EGU2009-0, 2009, EGU General Assembly 2009.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО
КАСПИЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2008 ГОДА

Амбросимов А.К.¹, Либина Н.В.¹, Корж А.О.²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. 117997, г. Москва,
Нахимовский пр-т., д. 36. (499)124-51-90, e-mail: ambrosimov@ocean.ru

²Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова
РАН, 236000, г. Калининград., просп. Мира, 1.

В западной части Среднего Каспия в 27-м рейсе НИС «РИФТ» (19.07.2008-05.08.2008) была проведена площадная гидрологическая съемка района с помощью STD-зондирования водной толщи зондом SeaBird SBE 19+ через 2-3 мили вдоль галсов. Данные исследования позволили (см. рис.1) получить объемную картину гидрологических процессов в данном районе Каспийского моря.

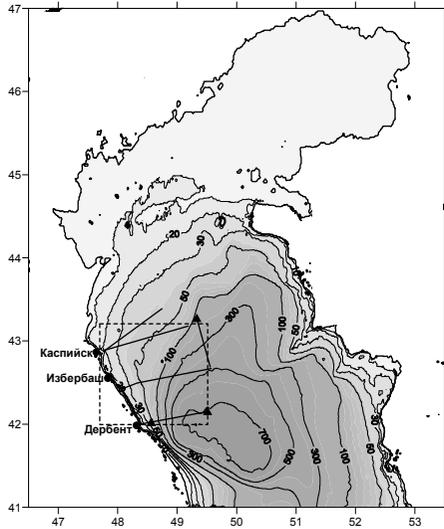


Рис. 1. Схема галсов гидрофизических наблюдений у западного побережья центрального Каспия, выполненных в июле 2008 года.

На рис.1. показан участок, для которого рассчитаны температурные и плотностные карты на горизонтах 2.5 м, 7.5 м, 12.5 м, 22.5 м, 27.5 м.

Гидрологический разрез, полученный в районе г. Каспийска длиной 137 км от станции $42^{\circ}53,628'$ с.ш.; $47^{\circ}46,2'$ в.д. (4,4 мили от мыса Турали) до станции $43^{\circ}15,424'$ с.ш.; $49^{\circ}18,376'$ в.д. был выполнен в период с 24 по 25 июля 2008 года (см. рис.2).

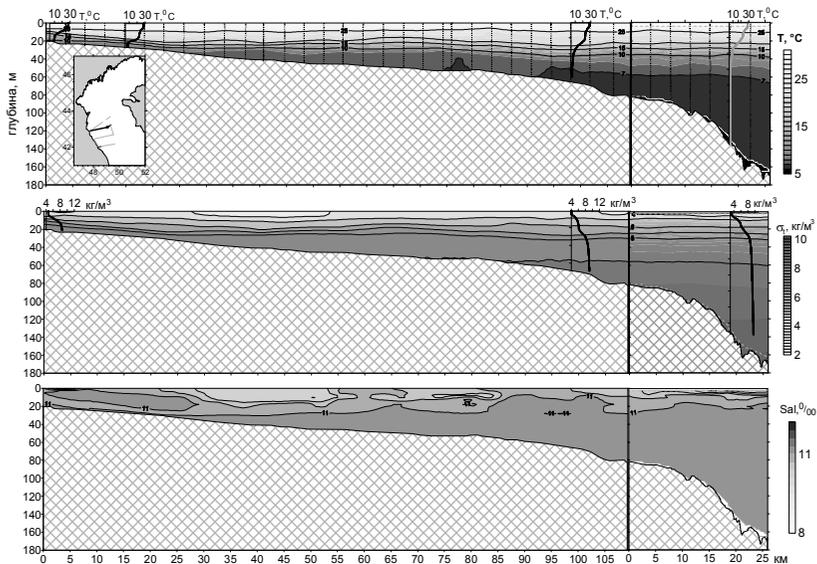


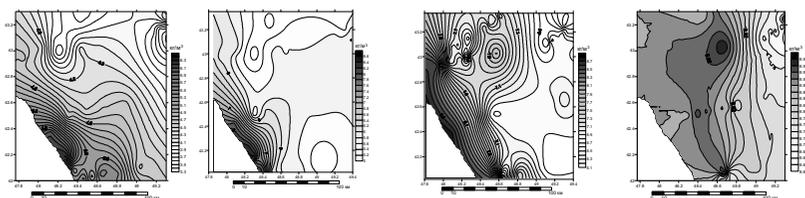
Рис. 2. Разрезы температуры, солёности и плотности. 42°53,628' с.ш; 47°46,2' в.д. - 43°15,424' с.ш; 49°18,376' в.д. Выполнен 24.07.08 - 24.07.08. На разрезы нанесены выборочно профили температуры и плотности.

Поверхностная температура на мелководье составляла 27.7 °С, а в глубоководной части 28.8 °С. Верхний перемешанный слой простирался до глубины 6 - 7 м. Резко выраженный на мелководье слой скачка мощностью 7 м имел перепад температуры 17 °С. С удалением от берега в слое скачка начинает формироваться ступенка на глубине 8 – 9 м, максимальная мощность промежуточного слоя достигает 17 м. На глубинах моря 50 м и более на некоторых профилях зондирования перед свалом глубин на верхней границе термоклина

наблюдается инверсия температуры в 0.5 – 1.5 °С. Нижняя, хорошо выраженная, граница слоя скачка заглубляется по мере удаления от берега и достигает глубины 33 м. Общий перепад температуры в слое скачка достигает 24-26 °С. На свале глубин нижняя граница термоклина размывается, перепад температур составляет 22-23 °С.

Стратификация водной толщи в районе западного склона Центрального Каспия имеет на глубинах более 20 м ступенчатую структуру, при этом мощность слоев увеличивается с возрастанием глубины моря. Температура в придонной области на мелководье составляет 7.51 °С, а в более глубоководной части - 6.59 °С.

Разрез, выполненный от точки 43.2777N 49.2848E до 42.6831N 49.5509E протяженностью 122.5 км имеет похожую структуру с двухступенчатым термоклинном.

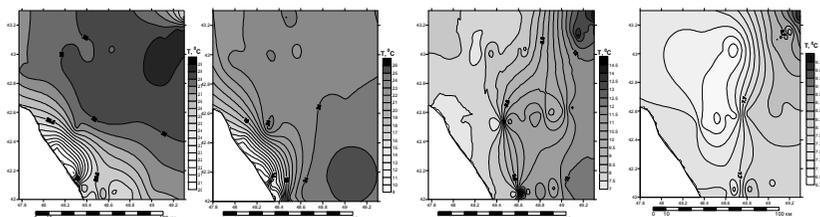


Горизонт 5 м. Горизонт 12.5 м. Горизонт 27.5 м. Горизонт 40 м.

Рис. 3. Карты изопикн на различных горизонтах.

На рис. 3. показаны выборочные карты изопикн на верхних горизонтах: в верхнем слое; под первой ступенькой слоя скачка; на

второй ступеньке; под термоклинном. На всех горизонтах до 40 м наибольшая плотность наблюдается у берега, при больших глубинах зона наибольших плотностей удаляется от берега в северо-северо-западном направлении.



Горизонт 5 м. Горизонт 12.5 м. Горизонт 27.5 м. Горизонт 40 м.

Рис. 4. Карты изотерм на различных горизонтах.

На рис. 4. представлены выборочные карты изотерм для тех же горизонтов, для которых рассчитывались и изопикны. В прибрежной зоне зарегистрирован локальный участок моря с более низкой температурой по сравнению с окружающей акваторией, это также было подтверждено данными спутниковых наблюдений. Данный факт свидетельствует о возникновении локального апвеллинга в этот период у западного побережья Каспийского моря.

По данным наблюдений за течениями, выполненными с помощью буксируемых ADCP, а также измерителей течений «Поток», установленных на притопленных буйковых станциях вблизи западного побережья Среднего Каспия, установлено что вблизи берега скорость

потока водных масс с севера интенсифицируется, вдоль струи образуются вихри и меандры, при этом могут возникать возвратные придонные течения большой интенсивности. Эти течения на мелководье выходят на поверхность, образуя локальные апвеллинги.

СЕЗОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 2008-2009 гг.

Амбросимов А.К.¹, Стонт Ж.И.², Якубов Ш.Х.¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. 117997, г. Москва, Нахимовский пр-т., д. 36. (499)124-51-90, e-mail: ambrosimov@ocean.ru.

²Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 236000, г. Калининград., просп. Мира, 1.

С апреля 2008 года по апрель 2009 . в Балтийском море в 22 км от берега со стационарной платформы МЛСП Д-6 с глубиной моря в месте постановки прибора 32 м были выполнены непрерывные в течение года наблюдения за сезонными колебаниями уровня моря. Измерения уровня моря проводились с помощью волнографо-мареографа ГМУ-2 (СКБ ГМП, г. Обнинск), подвешенного на тросе к пилону переходного мостика МЛСП и заглубленного на 5 м под

поверхность моря. Снизу прибор был подгружен грузом весом около 20 кг. Одновременно на платформе измерялись скорость и направление ветра измерительным комплексом Aanderra.

Как показали данные мареографа, а также наблюдения за скоростью и направлением ветра, в районе Д-6 была зарегистрирована значительная изменчивость уровня моря. Так, с апреля по начало сентября 2008 года, уровень моря был относительно стабильным (см. рис.1) с максимальной изменчивостью до 20 см. (Как показывает анализ ветровой активности над морем, высокочастотная изменчивость уровня моря связана с локальными штормовыми условиями в данном районе Балтийского моря.). С сентября по середину ноября 2008 г. уровень моря начал монотонно спадать до относительной отметки -120 см, по отношению к начальному периоду измерений, затем с середины ноября по конец января уровень Балтийского моря в точке наблюдений остановился на отметке -120 см и с конца января по конец марта наблюдался его подъем до первоначального уровня.

Сравнение результатов наблюдений ГМУ-2, полученных в 2008-2009 гг., с известными литературными данными [Гидрометеорология и гидрохимия..., 1992] показывает, что если измеренные на Д-6 среднемесячные колебания уровня порядка 20 см совпадают с данными уровневых постов Клайпеды, Лиепай и Гвардейска, то сезонные изменения уровня согласуются лишь с расчетными уровнями редкой повторяемости за

25-50-летние периоды наблюдений [Гидрометеорологические условия..., 1983]. Максимальный перепад в уровне Балтийского моря зарегистрированное в районе МЛСП Д-6 между январем и мартом 2009 года (см.рис.1) составил ~ 180 см и соответствует 50-тилетнему периоду максимального уровня редкой повторяемости.

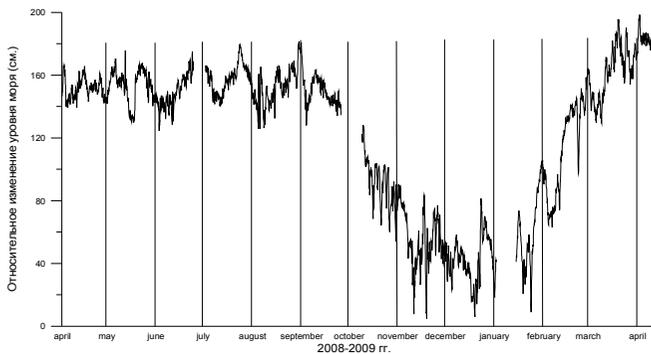


Рис. 1. Временная изменчивость уровня моря в районе МЛСП Д-6 в Балтийском море с апреля 2008 по апрель 2009 года (удаление 22 км от берега, глубина 32 м).

Для сравнения экспериментальных наблюдений с расчетными, в табл.1 приведены экстремальные уровни моря редкой повторяемости для района Д-6 и в табл.2. приведены экстремальные уровни моря редкой повторяемости, рассчитанные по данным наблюдений на уровненом посту Клайпеда (ближайшем к району Д-6) за период 1898-1975 гг. [Гидрометеорологические условия..., 1983].

Таблица 1. Расчетные максимальный и минимальный уровни моря относительно среднего уровня в районе структуры Д-6, возможные 1 раз в 10,25, 50 и 100 лет

Экстремальны е уровни, см	Период повторяемости, лет			
	10	25	50	100
Максимальн ый	133	152	166	180
Минимальн ый	-68	-78	-84	-93

Таблица 2. Расчетные максимальный и минимальный уровни моря редкой повторяемости по данным наблюдений на уровне поста Клайпеда

Экстремальны е уровни, см	Период повторяемости, лет		
	10	25	50
Максимальн ый	127± 7	147± 9	162±12
Минимальны й	- 83±3	- 91±4	-97±5

Примечание: для каждого значения, определенного по рядам годовых максимумов и минимумов, указан доверительный интервал 68%-й вероятности.

Из табл. 1 и 2 следует, что результаты расчетов достаточно хорошо согласуются с данными наблюдений, для больших периодов редкой повторяемости. Известно, что при сгонных ветрах минимальные уровни в прибрежном районе несколько выше, чем у берегов, а максимальные расчетные уровни согласуются с наблюдениями в пределах доверительного интервала.

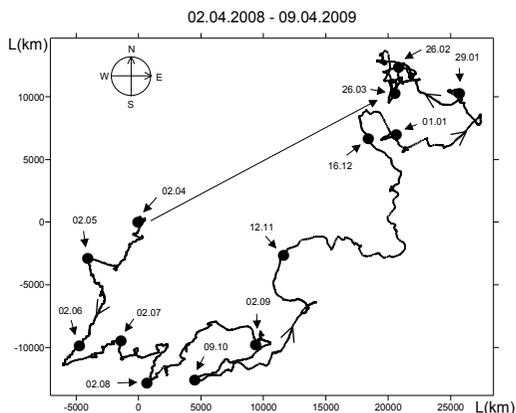


Рис. 2. Накопленные прогрессивные перемещения ветра по данным наблюдений на МЛСП Д-6.

Анализ ветрового режима за аналогичный период наблюдений на Д-6 показывает, что (см. рис. 2) в период с апреля по начало октября 2008 г. сила ветра была незначительной и направление ветра – разнонаправленным. С сентября 2008 г. по середину января 2009 г. ветер заметно усилился и его юго-западное направление, практически, сохранялось до середины января, что в значительной степени обусловило столь сильное понижение уровня моря у Д-6.

В течение года средний (среднемесячный) уровень испытывает сезонные вариации, связанные, главным образом, с аналогичными изменениями температуры и солености в слое от поверхности до дна.

На юго-восточном побережье Балтийского моря в первую половину года среднемесячные уровни ниже среднегодовой отметки, а во вторую – выше.

Метрологическая и методическая чистота наблюдений подтверждаются тем, что при замене приборов в эксперименте, после выработки ими энергетического ресурса, данные наблюдений, практически, совпадали. Кроме этого в сезоны высокого и низкого уровней присутствовали периоды затишья, когда ветер спадал, поэтому ошибка прибора не могла быть систематической.

Следует заметить, что, поскольку экстремальные уровни получены в результате реакции Балтийского моря на реальные штормовые ситуации, то в этом случае свой вклад вносят и сейшевые колебания, которые генерируются нестационарными возмущениями в полях атмосферного давления и ветра, хотя их влияние по литературным источникам не превышает 10-15 см. Для более точного анализа необходимо привлечь данные по атмосферному давлению, которые должны показать, что в указанный период над исследуемым районом моря преобладал антициклон.

Результаты наблюдений за изменчивостью уровня Балтийского моря в районе МЛСП Д-6 поставили ряд вопросов, ответы на которые можно получить только при постановке ряда уточняющих комплексных экспериментов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧЕНИЙ ПО ДАННЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗРЕЗОВ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕГО КАСПИЯ ЛЕТОМ 2008 ГОДА

Амбросимов А.К.¹, Либина Н.В.¹, Корж А.О.²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. 117997, г. Москва, Нахимовский пр-т., д. 36. (499)124-51-90, e-mail: ambrosimov@ocean.ru

²Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН

С 2000 года по настоящее время Институтом океанологии проводятся регулярные наблюдения за характеристиками течений в Каспийском море. Наблюдения проводятся с помощью измерителей течений «Поток», которые устанавливаются на притопленных буйковых станциях (ПБС) или с помощью буксируемых или зондируемых ADCP.

В экспедициях ИОРАН был получен уникальный материал по непрерывному измерению течений и температуры на стандартных горизонтах в центральной и западной частях Среднего Каспия. Параллельно в 2008 – 2009 гг. в северной, западной и восточной частях Среднего Каспия был выполнен ряд «мгновенных» разрезов течений на глубинах до 100 м с помощью буксируемых ADCP. Результаты наблюдений позволили провести анализ пространственной изменчивости поля течений в исследуемых районах Каспийского моря.

По данным измерений в июле 2008 г. поверхностные течения на разрезе длиной 124.9 км в районе г. Каспийска (см. рис. 1) имеют полную гамму направлений: в глубоководной части этого разреза, от отметки 120 км разреза до 110 км отметки течение направлено на север со скоростями 2-10 см/с. Ближе к берегу до отметки 97 км течение направлено на северо-запад со скоростями 5-10 см/с. Ближе к

берегу наблюдается вертикальная инверсия направления скорости на противоположное и до расстояния 60 км от берега скорости в верхнем 10-ти метровом слое направлены на восток (10-20 см/с), в то время как под термоклинном течение имело северо-западное направление со скоростями ~ 20 см/с. Между 60 и 40 км от берега поверхностное течение развернулось через южное направление на запад северо-запад, при этом течение под термоклинном изменило направление на юго-восточное со скоростями 20-25 см/с. Ближе к берегу от 40 км и ближе приповерхностное течение мощностью слоя около 5 м сохраняло юго-западное и южное направление со скоростями 10-20 см/с, в то время как придонное течение в прибрежной зоне разреза было разнонаправленным от южного, юго-восточного до северо-восточного направления. Во время выполнения этого разреза по данным ГМС Махачкалы наблюдалось некоторое усиление ветра до 9-11 м/с, в основном, юго-восточного направления.

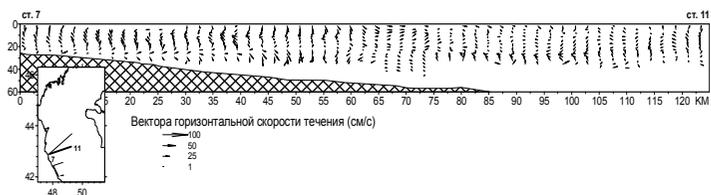


Рис. 1. Субширотный разрез поля течений от траверса г.Каспийска вглубь моря.

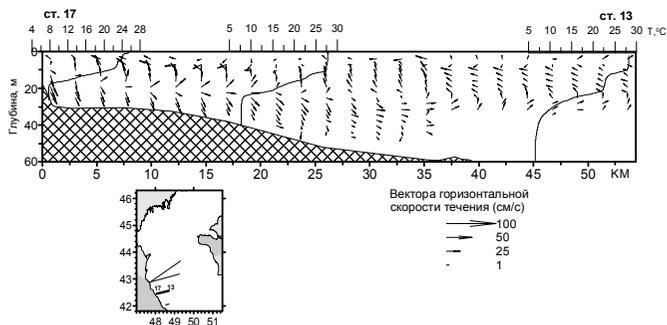


Рис. 2. Субширотный разрез поля течений от траншеза г.Избербаш вглубь моря. $42^{\circ}34,086'N$, $48^{\circ}41,874'E$ - $42^{\circ}27,042'N$, $48^{\circ}03,222'E$. Протяженность 54,4 км. На разрезы нанесены выборочно профили температуры и плотности.

На разрезе от траншеза г.Избербаш (3,2 мили от берега, глубина 30 м) длиной 54,4 км, уходящем вглубь моря (см. Рис. 2) и выполненном с 26 по 27 июля 2008 г. видно, что здесь также наблюдается многослойная струйная структура течений.

Исследование течений вдоль западного берега Среднего Каспия от г.Избербаш до г.Дербента (на расстоянии 3,3 мили от берега вдоль изобаты ~ 20 м) 27 июля 2008 г. показало, что вдольбереговое течение имеет разнонаправленный характер (см. рис. 3). В районе Избербаша течения по всей глубине было южного направления со скоростями до 30 см/с. Ближе к центральной части разреза течение изменило направление на юго-восточное. На глубине 10 м появился термоклин и течение расслоилось на два – придонное (~ 25 см/с) направленное на юго-восток вплоть до траншеза Дербента и поверхностное – северо-западного направления со скоростями около 25 см/с.

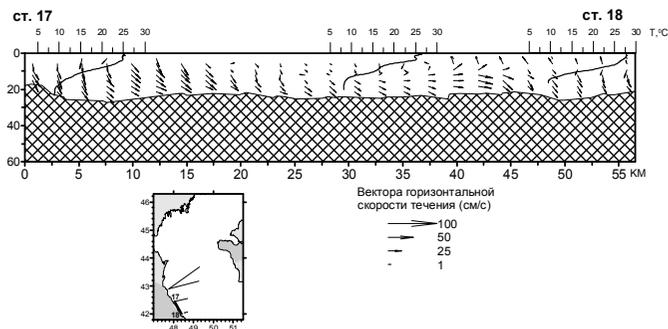


Рис. 3. Субширотный разрез поля течений от траверза п. Избербаш (ст.17 - 42.4499N 48.0546E) до траверза г.Дербента (ст.18 - 42.0181N 48.4157E) 27 июля 2008 г. с 05:36 до 12:04 мск,
 общей длиной 56.5 км.

Анализ скоростей и направлений течений между Избербашем и Дербентом, показывает, что во время выполнения разреза здесь присутствовал циклонический вихрь масштабом около 30 км.

На свале глубин в районе Дербента на глубинах от 20 до 60 м (см. рис. 4) течение в этот сезон года по всей толще моря со скоростями ~ 20 - 30 см/с направлено на юго-восток. С глубины от 60 м до 90 м течение подворачивает в южном направлении. У самого дна скорости течений начинают флуктуировать и придонные струи меняют направления от юго-западного до юго-восточного, возможно связанного с рельефом дна и ориентацией осадочных волн.

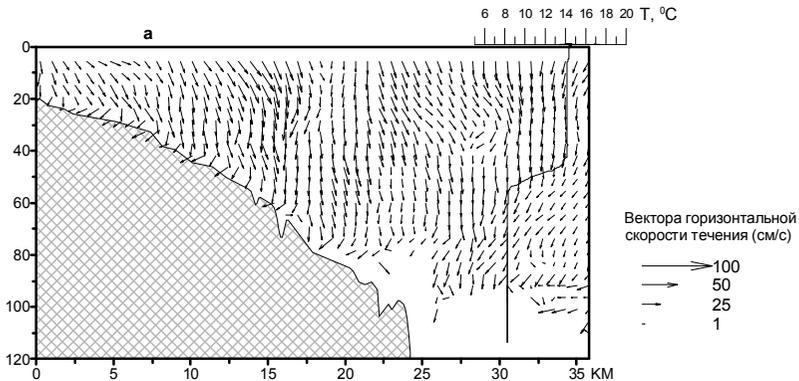


Рис. 4. Вертикальный разрез горизонтальных полей течений над свалом глубин вблизи г.Дербента (08.11.17; 42.0163N 48.4174E – 42.0798N 48.8425E)

По всей длине и толще широтного разреза наблюдаются струи юго-восточного, южного и юго-западного направлений с горизонтальными масштабами 3-7 км, при этом масштаб струй по глубине составляет 10 до 20 м.

Сопоставление данных течений с результатами метеонаблюдений ГМС Дербента показывает, что во время съемки разрезов была, практически, штилевая погода, ГМС Изберга и Махачкалы также давали небольшие скорости ветра $\sim 4-9$ м/с преимущественно юго-восточного направления. Следует отметить, что информация о погоде поступает с береговых ГМС, расположенных в предгорьях Кавказа, и поэтому часто эти данные значительно отличаются от реальной картины поля ветра в открытом море.

**О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЛИННОПЕРИОДНЫХ
ВОЛНОВЫХ ТЕЧЕНИЙ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРИЛИВООБРАЗУЮЩИХ СИЛ**

Щевьев В. А.

Институт Водных проблем РАН, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3. Тел.
499-135-73-80, e-mail Shtshev@rambler.ru

Show moon and sun force of attraction 2 time in daily at 6 hour pull a water mass in the direction of west, and 2 time in daily at 6 hour in the direction of east. Such periodical influence on water mass one can to form long period waves currents.

В работе [2] С. С. Лаппо на основе анализа 20 летних наблюдений за течениями в океане показал, что наибольшая энергия течений океана сосредоточена в диапазоне длиннопериодных волн (Россби и инерционных). Исследования последующих 30 лет показали, что длиннопериодные волновые (ДПВ) течения возникают в экваториальной зоне трех океанов, распространяются с востока на запад, достигнув западных берегов океанов, поворачивают на север и на юг, образуя антициклонические крупномасштабные циркуляции отдельно в северных и в южных полушариях трех океанов, которые (циркуляции) являются результирующим движением ДПВ течений. [1,6].

О причине образования ДПВ течений существует несколько мнений. В работе [3] говорится: «отклик океанических вод на действие приливообразующих сил (ПОС) Луны и Солнца должен иметь вид длинных баротропных волн». Действительно, факт образования экваториальных течений из-за действия ПОС не вызывает сомнения [4]. Что эти течения есть результирующее движение ДПВ течений тоже понятно [1,6,7]. Но в пользу гипотезы: ДПВТ возникают из за ежедневного воздействия ПОС на водную массу океанов только и можно говорить, что периодически действующие, ежедневно изменяющиеся ПОС могут в принципе порождать течения волновой природы, т. е. периодически изменяющиеся (период 20-30 суток), и обладать фазовой скоростью. Этих, слишком общих, рассуждений конечно недостаточно. Необходимо: 1. Показать процесс движения

водной массы в волне, изменения скорости в пространстве и во времени.

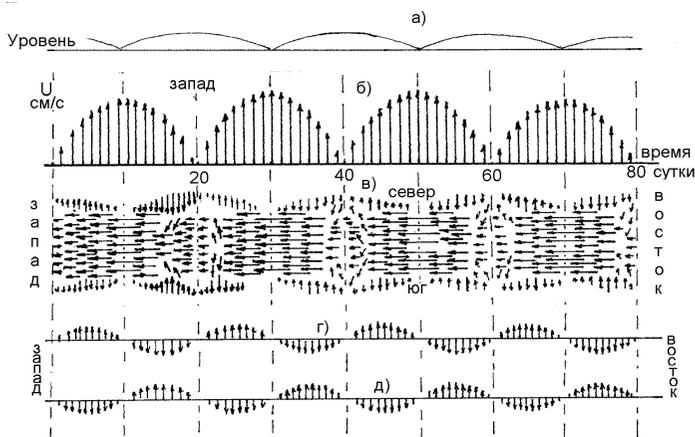


Рис. 1. Вектора скорости длиннопериодных волновых течений (ДПВТ) на экваторе. Изменение уровня в области распространения ДПВТ а); вектора скорости вдоль экватора, полученные прибором за время наблюдений равному трем периодам ДП волн б); вектора скорости в области распространения ДПВТ, вид сверху в); вектора скорости вдоль меридиана в северной и южной частях области распространения ДПВТ г) и д) соответственно.

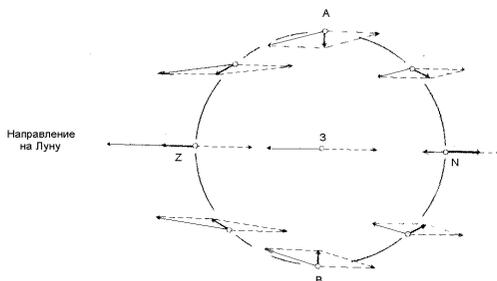


Рис. 2. Сложение центробежной силы и силы тяготения к Луне, равнодействующие (толстые стрелки), и есть приливообразующие силы [5].

Процесс перехода кинетической энергии потока ($mv^2/2$) в потенциальную и обратно. 2. Показать закономерность изменения ПОС для самого простого случая, только для одной Луны, вращающейся вокруг Земли в плоскости экватора.

На рис. 1. показано возможное распределение скоростей течений на пространстве трех периодов ДП волны, вид сверху (рис. 1в). Изменчивость скорости волнового течения в этом же пространстве (рис. 1б).

В работе [5] показано распределение ПОС Луны в различных точках Земли (рис. 2). Хорошо видно, что 6 часов ПОС действует в восточном направлении, 6 часов в западном, следующие 6 часов снова в восточном направлении и следующие 6 часов снова в западном. Элементарный расчет показывает, что при действии ПОСЛ на объем воды на экваторе соизмеримый с размерами волны (1000 на 1000 км) водная масса может приобрести скорость равную 0,13 см/с. При действии силы в другом направлении эта скорость уменьшится до

нуля. Таким образом за сутки водная масса может совершать 2 раза колебательные движения. Такие процессы в результате резонансных явлений могут порождать и поддерживать длиннопериодное волновое течение (рис. 1).

Литература.

1. Бондаренко А. Л., Жмур В. В., Филиппов Ю. Г., Щевьев В. А. О переносе масс воды морскими и океанскими долгопериодными волнами. / Морской гидрофизический журнал. 2004, №5, стр. 24-34.

2. Лаппо С. С. Среднемасштабные динамические процессы океана, возбуждаемые атмосферой. М., «Наука», 1979, 182 с.

3. Ле Блон П. Майсек Л. Волны в океане. Т 1,2. Москва, Мир, 1981. 478, 373 с.

4. Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата. Л. Гидрометеоиздат, 1979. 408 с.

5. Шокальский Ю. М. Океанография. Л. Гидрометеоиздат, 1959 г. 537 с.

6. Щевьев В. А. «Крупномасштабная циркуляция в океанах, как результирующее движение длиннопериодных волн» Электронный журнал «Исследовано в России», 077, стр. 808-825, 2007г. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/077pdf> опубл. 26.04.07г.

7. 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 г. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2009/032.pdf>

**ЧЕРНОМОРСКИЙ ЦЕНТР МОРСКИХ ПРОГНОЗОВ
КАК ЭЛЕМЕНТ ЕВРОПЕЙСКОЙ МОРСКОЙ СЛУЖБЫ**

Коротаев Г. К., Мартынов М. В., Ратнер Ю. Б.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,

99011, г. Севастополь, ул. Капитанская, 4,

телефон, факс 8(0692) 54 72 79,

E-mail korotaevgren@mail.ru

New European FP7 project “My Ocean” has started in April 2009. The goal of the project is to build marine core service which will provide operational forecast of three dimensional fields of temperature, salinity of marine water, current velocity, and also chlorophyll concentration, sea level and sea ice fields. Marine core service will operate for the global ocean and in six regions. One of the regional forecasting centers operates in the Black Sea on the base of Marine Hydrophysical Institute NASU in Sevastopol. Forecasting products for the Black Sea basin are available via My Ocean Central Service desk.

Комплексное использование дистанционного зондирования с ИСЗ, контактных измерений со свободно – дрейфующих поверхностных и глубинных буев, попутных судов, береговых станций и прочих доступных источников информации позволило создать в течение последних десятилетий эффективную систему оперативных наблюдений за состоянием Мирового океана и окраинных морей. Естественным следующим шагом является создание единой службы оперативных морских прогнозов по образу и подобию прогнозов погоды.

Такая задача в течение последнего десятилетия отрабатывалась в ряде исследовательских программ таких, как ГОДАЕ. В итоге к настоящему времени разработаны модели морской динамики и экосистемы и методы ассимиляции наблюдений, позволяющие прогнозировать состояние морской среды с достаточно высокой точностью.

На основе достигнутого уровня морских прогнозов Европейская Комиссия с апреля 2009 года осуществляет финансирование проекта 7-й Рамочной программы «Мой Океан», целью которого является создание унифицированной базовой службы морских прогнозов состояния Мирового океана, окраинных и внутренних морей Европы. Базовая служба морских прогнозов ориентирована на прогнозирование изменений основных полей, описывающих состояние морской среды, таких как температура, соленость морской воды, скорость морских течений, ледовый покров, концентрация хлорофилла. Основным требованием к системе прогнозов является аккуратное воспроизведение синоптических процессов. Помимо оперативных прогнозов, в числе продуктов системы будет также реанализ полей морей и океанов за последние 20-40 лет.

Прогностическая система проекта «Мой Океан» будет предоставлять данные прогнозов широкого круга пользователей в различных секторах, включая климат, сезонные и среднесрочные прогнозы погоды, оффшорную индустрию, морской транспорт и безопасность мореплавания, рыболовство и исследования.

Проект «Мой Океан» рассчитан на три года. В результате работ по проекту будет создана унифицированная система, включающая шесть центров, производящих данные наблюдений, один центр глобальных прогнозов состояния мирового океана и шесть региональных центров. Одним из региональных центров является Черноморский центр морских прогнозов, создаваемый на базе МГИ НАНУ в Севастополе. Центр морских прогнозов в Севастополе будет производить унифицированный набор продуктов, доступ к которым будет осуществляться через единый сервисный центр проекта «Мой Океан». Планируется поэтапная реализация функционирования всей системы морских прогнозов. Демонстрационная версия службы морских прогнозов доступна с апреля 2009 года. Оформление заявок на продукты системы через единый сервисный центр вводится с октября 2009 года. Дальнейшее совершенствование системы будет осуществляться в течение работ по проекту.

Базовые характеристики, прогнозируемые системой проекта «Мой Океан», являются основой для создания специализированных служб. На Черном море таковыми в настоящее время являются прибрежные прогнозы, осуществляемые Болгарией, Румынией, Россией и Украиной. В ближайшее время планируется расширение прибрежных прогнозов на акватории Грузии и России, а также создание региональной службы слежения за нефтяными загрязнениями на акватории Черного моря.

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МЕТЕОМОНИТОРИНГА
ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ**

Гущин О.А., Стонт Ж.И.

Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова, 236000 Калининград, пр. Мира, д. 1. Тел. (4012) 935642, факс (4012) 916970, ocean_stont@mail.ru

Прибрежные районы морей вызывают повышенный интерес благодаря интенсивному включению в сферу хозяйственной деятельности человека. Традиционно моря и океаны были преимущественно районами рыболовства и мореплавания. Сейчас идёт освоение шельфа как района добычи полезных ископаемых, в первую очередь нефти и газа. В связи с этим повышаются требования к качеству гидрометеорологического обеспечения. При проектировании гидротехнических сооружений требуются сведения о фоновых и экстремальных гидрометеорологических условиях. Из всех метеорологических показателей важнейшим является ветер. Это обусловлено тем, что именно ветер в значительной степени определяет распространение нефтепродуктов в поверхностном слое моря.

Методы и оборудование

В целях метеорологического мониторинга использовалась установленная на морской ледостойкой стационарной платформе (МЛСП D-6) автоматическая гидрометеорологическая станция (АГМС) МиниКРАМС-4 производства фирмы Vaisala Oyj (Финляндия) и Института радарной метеорологии (Санкт-Петербург, Россия). Ранее оценка ветра в акватории юго-восточной Балтики производилась по попутным судовым наблюдениям и станциям, расположенным на побережье. Но этот район лежит вне путей интенсивного судоходства и активный рыболовный промысел там не ведётся. АГМС осуществляет сбор метеорологической информации в открытом море и находится на высоте 27 м над уровнем моря¹. Измерение силы ветра и направления производится при помощи анемометра и флюгера в рабочем диапазоне измеряемых скоростей 0,5-75 м/с. Дискретность записей опроса датчиков в файлах, поступающих на обработку, составляет приблизительно 30 секунд. Набор измеряемых метеопараметров включает направление и модуль скорости ветра; атмосферное давление, приведенное к уровню моря; температуру воздуха; видимость; нижнюю границу облачности. Также можно получать и другие метеорологические параметры (максимальный ветер, барическую тенденцию, температуру точки росы, абсолютную и относительную влажность). Программное обеспечение АГМС предоставляет возможность кодирования метеорологических параметров по международному коду KN-01 и передачу телеграмм по Интернет-каналу.

¹ Стандартная установка приборов для наблюдения за ветром составляет 10 м над уровнем моря [1]. Зависимость скорости ветра от высоты выражается формулой Хельмана: $V_h = V_{10} \cdot [0,233 + 0,656 \log_{10}(h + 4,75)]$, где: V_h – скорость ветра на высоте h , V_{10} – скорость ветра на высоте 10 м над уровнем моря.

Метеорологические данные, получаемые с АГМС, статистически обрабатывались и использовались для анализа метеорологических процессов, происходящих в ЮВ Балтике.

Основные положения метеорологического мониторинга 2004-08 гг.

Розы, построенные по данным береговых станций (Рис.1) показали, что отдельные направления (румбы NE, NW, SE, SW) экранируются строениями, лесопосадками и т.д. Станции создавались в середине прошлого столетия, вероятны изменения в окружающей обстановке. АГМС, установленная на платформе, открыта всем ветрам, что говорит о её репрезентативности. Роза ветров имеет круговую направленность: все направления, исключая преобладающее западное, равновероятны.

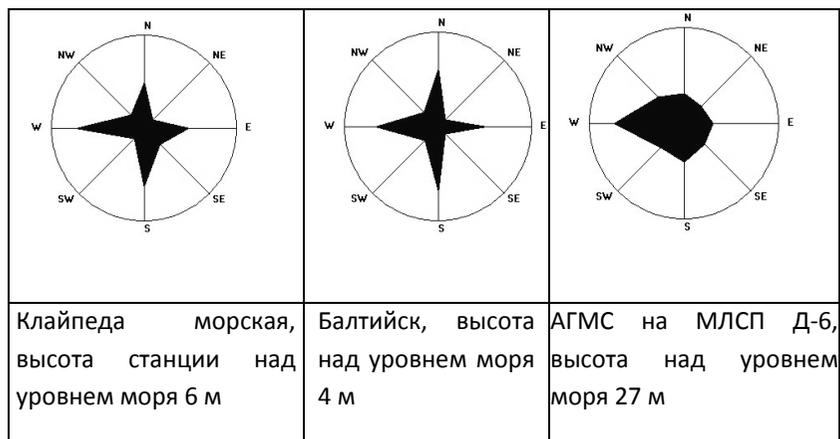


Рис. 1. Розы ветров по данным береговых станций и АГМС (масштаб R=30%)

Данные подтверждают вывод о продолжающемся уменьшении, начиная с 80-90 гг. XX века, как средней скорости ветра, так и ее экстремальных значений, для всей Европы, и в том числе для Юго-Восточной Балтики [2,3,4]. Мгновенные значения скорости сильных ≥ 15 м/с ветров дают небольшое, но устойчивое снижение при значимом (3,043) критерии Стьюдента (Рис. 2).

1.

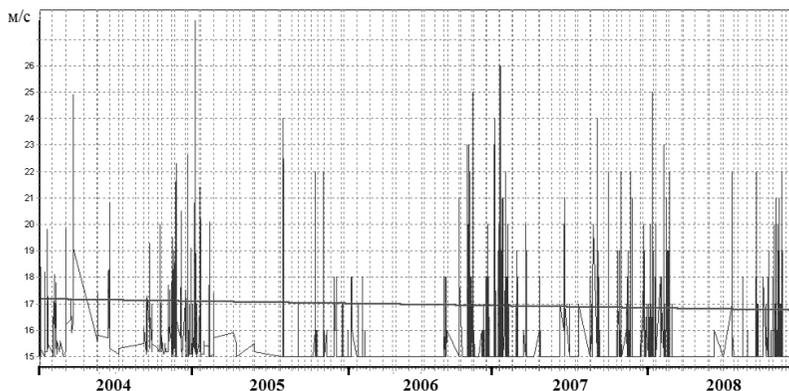


Рис. 2. Временной ход сильных (≥ 15 м/с) ветров и их тренд (Тренд $Y = a + b \cdot x$)

$N = 2532$; $a = 16,9$; $b = -0,000010$; $t_{st} = 3,043$.

Повторяемость сильных ветров (≥ 12 м/с) за 2004-08 гг. по данным АГМС, установленной на МЛСП Д-6, показана на гистограмме (Рис. 3). Повторяемость дней со скоростью ветра ≥ 12 м/сек уменьшилось в течение последних 5 лет с 65 до 48 %.

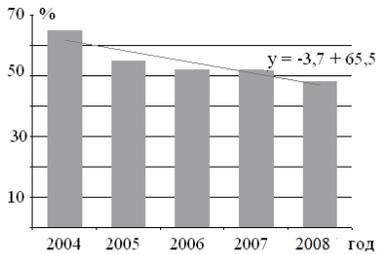


Рис. 3. Повторяемость (%) сильных ветров по данным АГМС, установленной на МЛСП D-6, в 2004-08 гг.

Можно выделить следующие особенности сильных ветров в районе МЛСП D-6 за период 2004-08 гг.:

- в августе 2005 г. зафиксирован 10-балльный шторм, не характерный для летнего периода;
- за период с октября 2006 г. по январь 2007 г. отмечено 15 штормов со скоростью ветра свыше 18 м/с;
- в январе 2008 г. отмечено 10 штормов, продолжительностью одного из них была максимальной за весь период мониторинга 125 ч (больше 5 суток);
- одинаково мало бывает как тихих, так и штормовых (10-11 баллов) ветров;
- основные шторма приходили от западной четверти, шторма от восточной четверти уступают им по продолжительности и силе;
- сильные шторма (≥ 22 м/с) приходят только с запада и юго-запада.

Список литературы

1. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. Изд. Пятое. ВМО. – Женева, Швейцария, 1983.
2. State of the Coast of the South East Baltic: an indicators-based approach to evaluating sustainable development in the coastal zone of the South East Baltic Sea. / С. Gilbert (Ed.). Drukarnia WL, Gdańsk. 2008. P. 142.
3. Климат России / Под ред. Н.В.Кобышевой. – СПб: Гидрометеоздат, 2001. – 426 с.
4. Школяр Л.Ф. К вопросу об уменьшении скорости ветра за последние десятилетия // Труды ГГО. 1980. Вып. 435. С. 96-98.

Авторы выражают благодарность ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» за предоставление данных АГМС.

SOME RESULTS OF WEATHER MONITORING OF SOUTH-EASTEN PART OF BALTIC SEA

J.I. Stont, O.A.Goushchin

The meteorological data were received from Weather Station, which is placed on the offshore ice-resistant fixed platform (OIFP D-6), were statically processed and used for analyses of meteorological processes, which occur in the south-easten part of Baltic Sea. The tendency of meteorological data's changes of late 5 years were revealed.

**К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ХПС БАЛТИКИ:
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМОХАЛИННОЙ
СТРУКТУРЫ ВОД В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ В МАРТЕ И
ВНУТРИ ХПС В ИЮЛЕ 2006 Г.
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 75 И 78 РЕЙСОВ НИС
«ПРОФ.ШТОКМАН»**

Чубаренко Н.Б., Шука С.А., Чубаренко И.П.

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский проспект, д.36
e-mail: nata_chu@mail.ru

Проанализированы данные вертикальных зондирований в прибрежной и глубокой частях Гданьского залива (юго-восточная Балтика), проводившихся в марте и июле 2006 г. в ходе 75 и 78 рейсов нис «Проф. Штокман» [2; 3]. Целью анализа являлось выяснение термической структуры вод, возможного влияния перехода температуры воды через температуру максимальной плотности (T_{md}), сопоставление характеристик вод, наблюдавшихся над прибрежными подводными склонами Гданьского залива к началу периода весеннего прогрева - с характеристиками ХПС в летнее время, когда он наиболее отчётливо выделяется в общей вертикальной термохалинной структуре вод. Измерения проводились с помощью стандартного STD зонда Neil Brown Mark III, обеспечивающего измерение температуры воды с точностью до 0.0005°C и солёности с точностью 0.001 psu; дискретность данных составляет 3-4 измерения на метр.

Для сравнительного анализа в глубокой части юго-восточной Балтики была взята станция 12 с координатами $55^{\circ} 35'$ с.ш., $20^{\circ} 2'$ в.д.; глубина в этой точке около 80 метров. В качестве прибрежной станции рассмотрена точка 7 с координатами $55^{\circ} 14'$ с.ш., $20^{\circ} 53'$ в.д., глубина на которой составляет 10-12 метров (см. отчёты 75, 78 рейсов НИС «Проф. Штокман»).

Характеристики ХПС в летнее время. В июле 2006 г., после достаточно типичной зимы, вертикальная термохалинная структура вод была также типична: верхний прогретый слой с термоклином на глубине 15 м, затем второй (сезонный) термоклин (29 м), ХПС, основной пикноклин ниже 60 м. Детально проанализированы профили

температуры, солёности и условной плотности, а так же T_{md} (с учётом наблюдавшейся солёности). Для выделения границ ХПС были построены соответствующие графики изменения с глубиной градиентов температуры и плотности по вертикали (рис. 1). В качестве ХПС предложено рассматривать слой между глубинами, где температура воды имеет максимальный отрицательный и максимальный положительный градиент по вертикали. На этом основании, границы ХПС в июле 2006 г. в Гданьском бассейне располагались на глубинах 15 м и 69 м (см. рис. 1). Ядро ХПС залегает на глубине 57 м ($T_{min}=2.075^{\circ}C$; $\sigma(T_{min})=6.09$). Сравнение профилей измеренной температуры и T_{md} показывает, что в слое от 55 м до 61 м наблюдается $T < T_{md}$. Результаты анализа характеристик ХПС представлены в виде подробной таблицы.

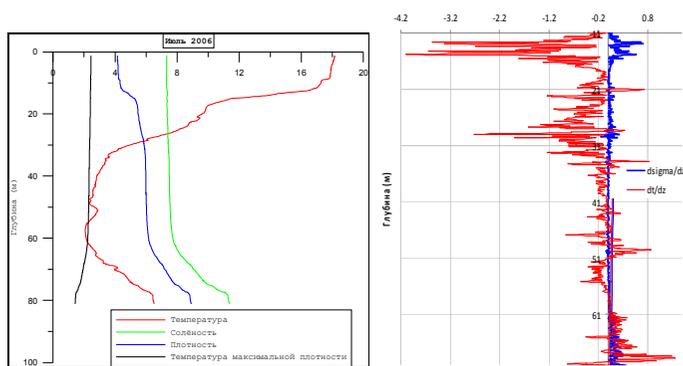


Рис. 1. Вертикальные профили температуры, солёности, условной плотности и T_{md} (в зависимости от T , S и давления) в глубоководной части Гданьского залива (ст. 12, июль 2006 г.) и соответствующие градиенты температуры и плотности по вертикали.

Характеристика вод над прибрежными подводными склонами к началу весеннего прогресса. Для оценки возможности проникновения в ХПС прибрежных вод, формирующихся в марте в условиях вероятного возникновения каскадинга вдоль склонов из-за прогресса от температуры $T < T_{md}$ [1], были проанализированы профили температуры и плотности в марте в прибрежной зоне, а также в марте и июле в глубоководной части. Во время измерений в марте 2006 года

[2] ещё продолжался процесс выхолаживания, и температура прибрежных вод (-0.3°C) оставалась значительно ниже температуры поверхностных вод в открытой части (1.7°C), обе при этом уверенно ниже T_{md} , составляющей при данной солёности $2.3\text{-}2.5^{\circ}\text{C}$. Таким образом, условия вполне благоприятны для возможного возникновения каскадинга с прибрежных подводных склонов при начале весеннего прогрева.

Анализ распределения плотности показал, что в марте плотность прибрежных вод составила 5.9 кг/м^3 , что попадает в диапазон свойств ХПС в глубокой части моря в июле месяце: там она меняется от 5.14 кг/м^3 (на глубине 15 м) до 7.07 кг/м^3 (на глубине 67 м); плотность 5.9 кг/м^3 находится на глубинах $31\text{-}34\text{ м}$. При этом в весеннее время толщина верхнего квазиоднородного слоя составляла около 50 м .

В марте прибрежные воды в районе Куршской косы, где проходили измерения, имеют, тем не менее, несколько меньшую солёность (на $\sim 0.1\text{ psu}$), чем воды ХПС. Однако очевидно, что солёность поверхностного слоя в Балтике в целом увеличивается по мере приближения к Датским проливам, так что воды необходимой солёности могли сформироваться при тех же условиях ранневесеннего прогрева над южными/юго-западными склонами Гданьского залива.

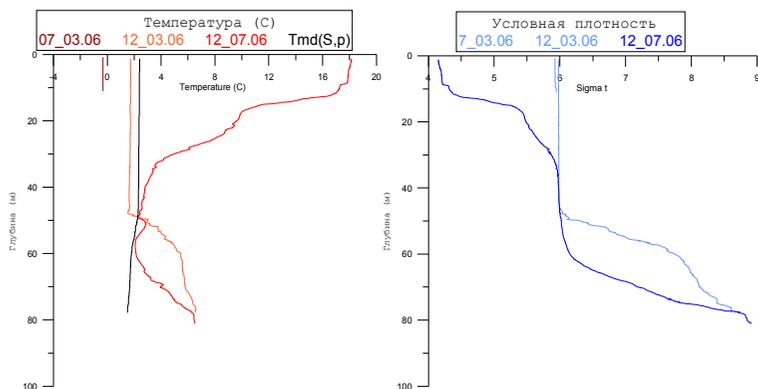


Рис. 2. Глубоководная (ст. 12) и прибрежная (ст. 7) часть юго-восточной Балтики в марте и июле 2006 г. (по данным [2; 3]): (а) профили температуры воды, (б) профили уловной плотности.

Проведённый анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. После типичной зимы (2006 г.) температура воды в верхних слоях Балтийского моря (40-60 м) оказывается ниже, чем температура максимальной плотности (в 2006 году она составляла от -0.3°C до 1.7°C). Это значит, что при начале весеннего прогрева с поверхности возникает вертикальная конвекция. Там, где конвекция достигает дна (а это – около 60% площади моря), вдоль склонов должен возникать каскадинг более плотных вод, имеющих температуру $T < T_{\text{md}}$.

2. Плотность прибрежных вод (по проанализированным данным) попадает в диапазон свойств ХПС: так, в марте 2006 г. условная плотность прибрежных вод составила 5.9 кг/м^3 , а диапазон плотностей внутри ХПС в глубокой части моря в июле – от 5.14 до 7.07 кг/м^3 .

3. Имея солёность, характерную для верхнего (более пресного) слоя, прибрежные воды не могут опуститься вдоль склонов ниже уровня постоянного халоклина, т.е. они должны отрываться от склона и распространяться далее в глубокую часть моря в промежуточном слое. Воды именно таких характеристик и обнаруживаются внутри ХПС Балтики в летний период: с $T < T_{\text{md}}$ и солёностью, близкой к солёности поверхностного слоя.

Таким образом, проведённый сравнительный анализ подтверждает возможность вклада ранневесеннего каскадинга в формирование ХПС Балтийского моря. Детали подобного водообмена могут прояснить только специальные натурные исследования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 09-05-90727 моб_ст) и № 07-05-00850а.

Список использованной литературы:

1. Чубаренко И.П. Дифференциальный прибрежный прогрев и водообмен в прибрежной зоне природных водоёмов: механизм формирования и анализ развития. Физические проблемы экологии (экологическая физика). Москва: Изд. МГУ. №15, 2008. стр. 392-402.

2. Экспедиционный отчёт по 75 рейсу НИС "Профессор Штокман", 3-9 марта 2004 г. АО ИО РАН, Калининград, 2004.

3. Экспедиционный отчёт по 78 рейсу НИС "Профессор Штокман", 2-7 июля 2006 г. АО ИО РАН, Калининград, 2006.

**ЧТО СОБОЙ ПРЕДСТАВЛЯЮТ ОКЕАНСКИЕ И МОРСКИЕ ТЕЧЕНИЯ,
ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ? ЧТО ИЗМЕРЯЕТСЯ ПРИБОРОМ?**

Бондаренко А.Л.* , Борисов В.Е.**

* ИВП РАН, albert-bond@mail.ru, ** ФГУ "ГОИН.

Show dynamical property oceans and seas currents: from different gradient, from wind and long period waves. Show its essential differents.

Приведены исследования, показывающие, что длинноволновые течения принципиально отличны от градиентных и дрейфовых течений и в этом случае принятые методы измерения течений не обеспечивают получение репрезентативной информации о длинноволновых течениях океанов и морей. Исследователи, использующие эту информацию, получают зачастую неверные представления о длинноволновых течениях и самих процессах их создающих.

Под течениями, как отмечалось, следует понимать движение (некое перемещение) воды, водных масс в пространстве. Каких по объёму масс, не оговаривается. Скорее всего составитель этого понятия считал, что в природе происходит некое однородное по относительно большому пространству перемещение водных масс. Видно, считалось, что если в некоей фиксированной точке течение имеет определённые параметры, то и в соседнем значительно удалённом окружении параметры течения такие же. Представлялось, что масса воды движется в пространстве, как единое тело, квази адвективно. В этом случае считалось, что измеренные параметры течений можно приписывать течениям значительно удалённым от точки измерения. Более детальные измерения структуры океанских течений показало, что это далеко не так. Может быть так, что в ближайшем окружении течения будут иметь совершенно различные параметры. Так отмечены случаи, когда запущенные одновременно в фиксированной точке дрейфтеры “разбегались” в различных направлениях. Скорее всего, учитывая такую сложную структуру течений, А. Лакомб [2] дал иное определение течений. ***Течение это движение частиц воды.*** Скорее всего элементарных, на уровне молекул. На наш взгляд это обобщающее и более правильное определение. Для решения ряда задач исследователя интересует информация о пути движения отдельных частиц воды, а отсюда и в целом массы воды. Например, такая задача стоит при исследовании обмена вод океанов.

Следует выделять два вида течений, движений воды: движения воды в дрейфовых, градиентных течениях и в волновых. В дрейфовых и градиентных течениях движения частиц воды происходят в связанном режиме, в виде движений массы воды, как некоего единого целого по некоторому объёму. В этом случае понятие течений можно было бы сформулировать и так: течение это движение некоторых объёмов воды, предположим, соизмеримых с приёмной

частью измерителя течений или больших объёмов. При градиентных или дрейфовых течениях приёмник измерителя течений “работает” в режиме присоединённой массы воды и показания измерителя будут соответствовать движениям масс воды. Применительно к дрейфовым и градиентным течениям всё ясно и понятно. Прибор тарируется в режиме градиентного потока и поэтому по показаниям прибора мы правомерно переходим к параметрам движения масс воды.

Волновые течения. Существует понятие – орбитальные движения частиц воды в волнах. Эти движения и есть волновые течения. Они происходят в независимом режиме, в условиях суперпозиции. В волнах приёмная часть прибора “работает” в режиме воздействия на неё орбитальных движений частиц воды. Отдельные частицы воды волн воздействуют на приёмную часть прибора, и она воспринимает их, как силу суммарного воздействия. В этом случае направление суммарной силы не обязательно совпадает с направлением перемещения частиц, следовательно, и массы воды. Поэтому по показаниям прибора невозможно строго доказательно определить направление перемещения масс воды. Предположим, частицы и, следовательно, массы воды двух волн перемещаются в разных направлениях. Тогда сила воздействия на прибор будет равна векторной сумме сил воздействий частиц этих двух волн. В данном случае мы допускаем, что сила воздействия частиц воды на прибор эквивалентна скорости течения. Допускаем, например, что скорость движения дрейфера равна скорости движения частиц воды волн. Допускаем, но это не так. Практически мы ничего не знаем, что собой представляют движения частиц воды в волнах. Как соизмерить показания прибора с перемещениями частиц воды, а отсюда и массы воды?

В волновых течениях много неопределённого и непонятного. С помощью прибора, тарированного по градиентным течениям мы

пытаемся определить параметры волнового течения, существенно отличного от градиентного течения. Эта проблема не решена в океанологии и её необходимо решать. Далее мы расскажем о волновых течениях и их измерениях.

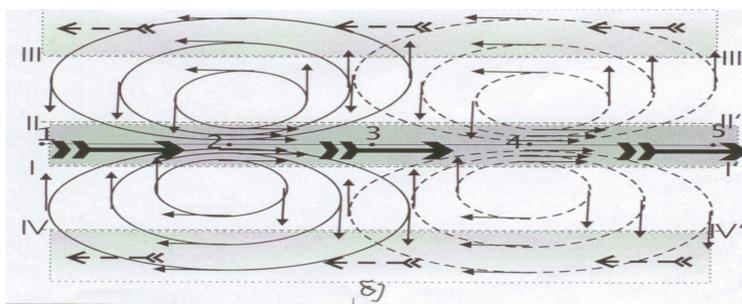
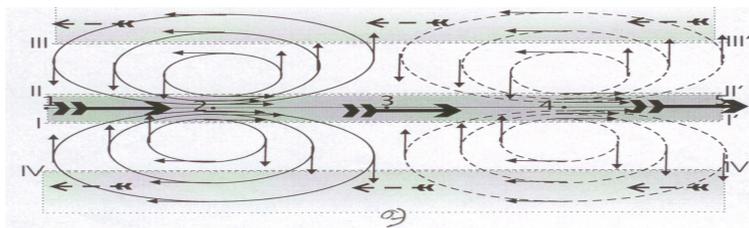


Рис. 1а, б. Линии токов в волнах Россби – солитонах: изолированных друг от друга (а), и совмещённых (б). Линии токов представлены в виде эллипсов, стрелки – направление течений.

Согласно исследованиям [1], линии токов волн Россби могут быть представлены в виде отдельных солитонов. Волны – солитоны могут распространяться друг за другом, образуя волновое поле. Можно рассмотреть два варианта построения солитонов: волны - солитоны изолированы друг от друга (рис. 1а) и совмещены (1б). В первом варианте на дрейфтер оказывает влияние только силовое поле волны, в которой он находится (рис.1а), во втором – и силовое поле соседних волн - солитонов (рис. 1б).

Мгновенно течения (орбитальные движения частиц воды) будут направлены по линиям токов в сторону направления стрелок. Скорость течения будет пропорциональна плотности линий токов, и в районе линии 1-5 она будет максимальной. Допустим, что эти волны - солитоны распространяются влево с некой фазовой скоростью. В точках 2, 4 скорости течений будут максимальны, а в точках 1, 3, 5 – равны нулю. Тогда, если измерительный прибор установить в точке 1 стационарно, то при движении солитонов будет зафиксировано пульсирующее течение, имеющее направление вправо, скорость которого будет меняться от нуля (в изолированных солитонах) или от некоторой величины (в совмещённых солитонах), до некоторого максимума и затем снова до нуля, далее всё будет повторяться. Время пульсаций скорости течений будет равно периоду волн Россби, т.е. времени прохождения волны мимо неподвижной точки, предположим мимо измерителя течений, первоначально установленного, предположим, в точке 1. Подобное в реальности мы измеряем.

Если отфильтровать по “записи” эти пульсации, то будет выделена некая квазипостоянная однонаправленная часть течений, которая исследователями обычно рассматривается, как постоянное течение и переменное, пульсирующее с периодом волн Россби. В подобных случаях считается, что масса воды перемещается по линии 1

- 5 вправо. Это фикция, регистрируемая прибором. На самом деле волны не переносят одно направленно массы воды и это хорошо известно исследователям, а масса воды в виде орбитальных движений частиц воды вращается в волне по траекториям схожим с линиями токов вокруг некоего неподвижного положения равновесия. При фазовой скорости равной нулю траектории движений частиц волны совпадают с линиями токов. В противном случае они различаются, окружность траектории будет меньше окружности линий токов. В реальности в районе Гольфстрима нередко нам приходилось наблюдать вращательные движения дрейфера с диаметром окружности порядка 50 км при длине волн Россби порядка 200 – 300 км.

Если стационарно установленные приборы разместить несколько в стороне от линии 1 – 5, в области I – I' – II – II', то они зафиксируют пульсирующие течения, вектор которых будет меняться не только по модулю, но и направлению, и постоянные. При этом в области I – I' – II – II' постоянные течения будут сильными (на рис 41а, б они обозначены большими жирными стрелками). За пределами этой области, например, выше III – III' или ниже IV – IV' течения будут слабыми и направлены в противоположную сторону (обозначены пунктирными стрелками).

Если течения измерять дрейферами, в изолированных или совмещённых солитонах, (рис. 1а, б) и их выпустить вдоль линии 1 – 5, предположим в точке 1, то они зафиксируют такие же течения, как и при стационарных измерениях, с теми же пульсациями. Но за счет Допплера эффекта период их будет несколько отличен от периода волн Россби, т.е. за счёт движения измерителя течений – дрейфера. Если дрейфер поместить в изолированный солитон (рис. 41а), то он будет отслеживать орбитальные движения частиц воды солитона, т.е.

перемещения масс воды, что в принципе и требуется при регистрации течений.

Если солитоны будут совмещены, то на движения дрифтера будет влиять движения частиц воды обоих солитонов и в этом случае будет зафиксирована картина течений схожая с картиной регистрации течений в стационарном режиме. Будет зафиксирована некоторая пульсирующая и постоянная часть течений в виде сильных и слабых течений.

Таким образом, при измерениях течений волн Россби в морях и океанах получаем в основном ложное представление о течениях, поскольку прибор регистрирует не движения отдельных, определённых частиц воды волны перемещающихся по своим орбитам, а некое суммарное воздействие различных частиц воды последовательно разных орбит. Фактически мы не регистрируем движения частиц воды – течения, не отслеживаем перемещения частиц воды, что в принципе следует делать, а регистрируем их воздействие на прибор, что как видим не одно и то же. Постоянных течений в данном случае нет, но они в измерениях получаются, переменные течения регистрируются в виде движений воды, пульсаций совершенно не похожих на движения частиц воды в волнах Россби. При регистрации волн Россби зачастую в измерениях получается картина, в которой выделяется ложно постоянные течения и в искажённом виде течения волн Россби. В подобной ситуации мы не можем строго доказательно по движениям дрифтера или показаниям стационарно установленного прибора определить реальные течения, их величину и направление. Из анализа следует, что, скорее всего, волновые течения, перемещения масс воды в волне крайне незначительны. Вполне естественно задать вопрос: дрифтер движется быстро под воздействием частиц воды, судя по всему сильных воздействий. Значит, частицы должны быстро перемещаться!

Но мы видим, что массы воды перемещаются крайне слабо. Тогда можно допустить, что частицы воды перемещаются, в виде импульсов: быстрого и кратковременного движения и более продолжительной остановки.

Всё это наводит на мысль, что крупномасштабных течений в виде постоянной струи может не быть, а регистрируются некие искажения волн Россби. Из изложенного становится понятным, почему “течения” вроде бы существуют и регистрируются, а массы воды не переносятся, почему воды не перемешиваются или перемешиваются слабо и многое другое. Эта проблема требует дальнейшего изучения. Ведь без её решения мы не можем решить проблему движения масс воды в океане, а отсюда и многое другое, связанное с этими движениями. Нам кажется, что для решения этой проблемы следует использовать информацию о движениях водных масс.

Литература

1. Бондаренко А.Л., Жмур В.В. Настоящее и будущее Гольфстрима// Природа. 2007. № 7. С. 29 – 37.

2. Ла Комб А. Физическая океанография. “Мир” 1974.

О ФОРМИРОВАНИИ ПРОТИВОТЕЧЕНИЙ

В ОКЕАНАХ И МОРЯХ.

Архипкин В.С., Бондаренко А.Л., Борисов Е.В.,

Филиппов. Ю.Г.

Приводится гипотеза, объясняющая формирование глубинных и поверхностных противотечений Мирового океана волнами Россби. Волны Россби могут также создать течения, которые усиливают крупномасштабные течения Мирового океана.

Движение вод в масштабах океана или моря получило название крупномасштабных течений, крупномасштабной циркуляции. В крупномасштабную циркуляцию этих бассейнов вовлечены практически все его воды от поверхности до дна. Приповерхностные воды океанов в Северном полушарии совершают антициклоническое движение и циклоническое – в Южном. В замкнутых морях воды совершают преимущественно циклоническое движение. В целом по океану скорости крупномасштабных течений небольшие, приблизительно 10 – 20 см/с. Но в западных и экваториальных областях океанов, небольших по площади, они проявляются в виде мощных струйных течений со скоростями до 2,5 м/с, как, например, в Гольфстриме, Куроисио, Сомалийском и экваториальных течениях и т.д. Средние скорости течений в замкнутых морях приблизительно такие же, как и в океанах, 10 – 20 см/с, но максимальные - меньше, чем в океанах, редко достигают 70 см/с. Эти течения прослеживаются в верхнем слое океана, так например, Гольфстрим – в слое до 500 – 600 м от поверхности океана.

Обычно воды за пределами крупномасштабного течения перемещаются в противоположную сторону самого течения, образуя противотечения. Выделяются глубинные и поверхностные противотечения. Так под Гольфстримом наблюдается глубинное противотечение, а справа и слева от Гольфстрима поверхностные противотечения [5, 6]. Скорости глубинных противотечений Гольфстрима во Флоридском проливе достигают 50 - 60 см/с при скоростях самого течения достигающих 2,5 м/с [9]. С глубиной скорости противотечений увеличиваются. Скорости поверхностных противотечений небольшие, ~ 5 см/с [6]. Фактически ложе, по которому течёт Гольфстрим, движется в обратную сторону самого течения Гольфстрим.

Широкая полоса вод Антарктического течения движется в восточном направлении, в то время как воды, прилегающие к Антарктиде, движутся в обратном, западном направлении образуя течение Восточных Ветров. Фактически это поверхностное противотечение по отношению к Антарктическому течению. Скорости течений этого противотечения - большие, ~ 20см/с (см. схему течений Мирового океана, автор Schott, 1943 [5]).

В замкнутом Чёрном и Каспийском морях крупномасштабные течения имеют, как отмечалось, циклоническую направленность, т.е. против движения часовой стрелки [2, 7]. В узкой прибрежной зоне шириной приблизительно ~ 5 км и в центральных частях морей существуют противотечения антициклонической направленности. Противотечения прибрежной зоны Чёрного и Каспийского моря были зафиксированы инструментально [2, 7]. Противотечения центральной части Чёрного моря обнаруживаются по данным их измерений дрифтерами.

По изложенному можно сделать вывод, что глубинные и поверхностные противотечения сопровождающие крупномасштабные течения есть некая закономерность динамики вод океанов и морей.

Закономерности формирования противотечений изучены плохо, во всяком случае, как нам кажется, нет единой концепции их формирования. Нам известны только отдельные работы, в которых противотечения рассматриваются с позиции градиентной и ветровой природы течений и при этом применительно к отдельным регионам [8].

Авторы работы [9] обратили внимание на большие скорости глубинных противотечений Гольфстрима во Флоридском проливе и предположили, что они сформированы волнами Россби, которые в данном месте распространяются в направлении противоположном течениям Гольфстрима, т.е. в сторону противотечений. Предположили, но не объяснили их кинематику. По-видимому вывод они сделали под влиянием экспериментальных исследований волн Россби этого района, выполненных ранее [10].

Не будем анализировать эти гипотезы на предмет их репрезентативности, а приведём новое объяснение, основанное на представлениях о длинноволновой природы течений. Будем считать, что наряду с прежними, гипотезами формирования противотечений, авторами работы даётся новое объяснение, новая гипотеза их формирования. Сколь она репрезентативно отражает объективную реальность покажут последующие исследования.

Согласно представлениям [3, 4] в формировании течений и противотечений играют важную роль долгопериодные волны Мирового океана. Чтобы понять, как это происходит необходимо понять, что представляют собой долгопериодные волны Мирового океана.

Долгопериодные волны Мирового океана и формирование противотечений. Океан можно рассматривать, как сложную механическую систему, всегда стремящуюся тем или иным способом сохранить равновесное состояние. Если какая-либо сила выводит эту систему из равновесия, то процесс возвращения к исходному состоянию чаще всего, и в основном, как мы убеждаемся, реализуется в виде волн. Как всякая механическая колебательная система океан обладает набором собственных колебаний. Одним из наиболее эффективных механизмов энергоснабжения океана от внешних источников является резонансный, когда собственные колебания океана совпадают с колебаниями внешних сил, возбуждающих его волновое движение. Потери энергии волнами крайне малы, что обусловлено их свойством – суперпозиции, поэтому волны являются своего рода накопителями и обладателями большой энергии. Обладая большой массой, при малых потерях энергии, они способны сохранять неизменными во времени свои свойства, характерные для свободных волн.

В начале шестидесятих годов, сравнительно недавно, по меркам развития океанографической науки, в океанах доказательно были зарегистрированы долгопериодные волны, получившие название планетарных волн Россби. Те же самые волны в зоне близкой берегу или в замкнутых морях [1, 3, 4] получили название континентальных шельфовых волн. Поэтому в дальнейшем для упрощения изложения содержания статьи их также будем называть волнами Россби. Приведём некоторые сведения о них. Они имеют периоды от недели до пяти недель, фазовые скорости распространения от нескольких см/с до одного метра, длину от 100 до 1500 км, а скорости орбитальных движений частиц воды в волне, фактически течений, от десятка см/с до 2,5 м/с.

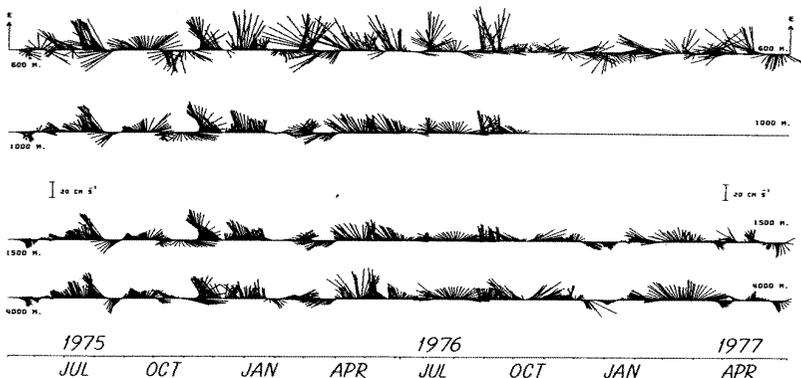


Рис. 1. Средние векторы скорости течений , измеренных в Атлантическом океане, недалеко от Бермудских островов в 1975-77 гг (Атлас ПОЛИМОДЕ).

Если регистрировать течения в любой точке Мирового океана, то обязательно будут регистрироваться и течения волн Россби. Океан буквально “забит” этими волнами. На рис. 1 представлены векторные диаграммы течений, преимущественно создаваемых волнами Россби, зарегистрированных в 1975 – 76 гг на различных горизонтах Атлантического океана недалеко от Бермудских островов [Атлас ПОЛИМОДЕ]. Заметны вращательные движения вектора течений с периодом, равным периоду волн Россби, приблизительно 40 суткам. Из анализа этих измерений следует, что буквально вся огромная масса океана от поверхности до дна находится в режиме квазисинхронных движений вод волн Россби. В течениях доминируют течения волн Россби, представленные их орбитальными движениями частиц воды.

На рис. 2а, б приведены спектры течений Атлантического океана и Каспийского моря, которые могут рассматриваться, как типичные спектры течений океанов и внутренних морей [4, 10]. В

спектрах заметно выделяются мощные энергетические максимумы течений волн Россби (3) с периодом ~ 40 сут (рис. 2а) и континентальных шельфовых волн (5) с периодом 140 ч (рис. 2б). Кроме того, выделяются максимумы энергии, создаваемые течениями приливных (1) и инерционных (2) волн в океанах и течениями инерционных волн (4) в Каспийском море. Слева в спектре течений Каспийского моря выделяется максимум энергии переменной части крупномасштабных течений (6) с периодом ~ 40 сут. Подобный максимум энергии переменной части крупномасштабных течений присутствовал бы и в спектре океанских течений, если бы для его построения были использованы измерения большой продолжительности. Представленная здесь информация о долгопериодных волнах свидетельствует о важной их роли в динамике вод океанов и морей.

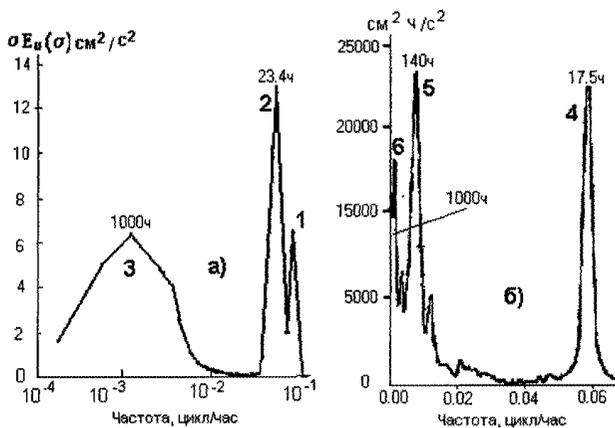


Рис. 2. Функции спектральной плотности течений типичные для океанов (а) и внутренних морей (б). а) Атлантический океан, точка D, недалеко от северной части Гольфстрима [5], б) Каспийское море, пункт Нефтяные Камни, недалеко от Апшеронского п-ва [4].

В настоящее время выполнено довольно много экспериментальных исследований и большое количество измерений этих волн в океанах и морях, что позволяет нам дать относительно полное их описание. Это свободные, прогрессивные волны, их относят к градиентно–вихревым волнам, которые обязаны своим существованием гироскопическим силам и определяются законом сохранения потенциального вихря:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\text{rot}_z \bar{V} + f}{H} \right) = 0$$

f – параметр Кориолиса; $\text{rot}_z \bar{V}$ – завихренность поля скорости течения; H – глубина океана.

Однако реальные волны, получившие название волн Россби, отличны их математической модели, предложенной С. Россби ещё в 1939 г для описания волн в атмосфере. В настоящее время многие исследователи эти реальные волны рассматривают с позиции “смешанных”, гравитационных и волн Россби, Rossbe – gravity waves. Тем не менее, реальные волны исследователи зачастую называют просто волнами Россби. Этого принципа будем придерживаться и мы.

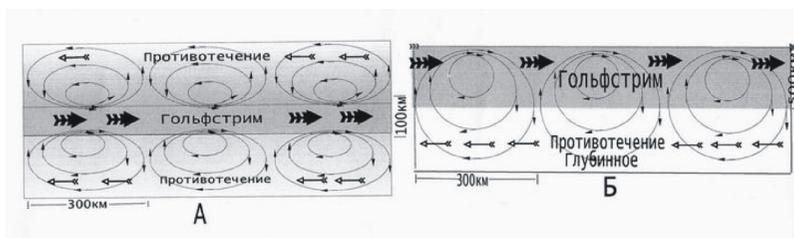


Рис. За, б. Линии токов течений волн Россби Гольфстрима и его окружения. Линии токов обозначены тонкими линиями в виде

эллипсов со стрелками. Вид сверху (а) и по вертикальному сечению через Гольфстрим (б) [3].

Исследования, выполненные [3] позволили волновое поле, в частности, Гольфстрима и его окружения, представить в виде цепочки волн – солитонов, течения (движения частиц воды волн), в которых происходят по замкнутому контуру в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 3 а, б). Такое расположение линий токов течений волн Россби похоже на линии токов диполя, проводящей средой которого является вода. Напомним читателю, что линии токов указывают на мгновенное направление векторов течений, или, что одно и то же, направление силы создающей течения. Скорость течения пропорциональна плотности линий токов. Мы видим, что в Гольфстриме плотность линий токов волн гораздо больше, чем за его пределами, а отсюда, и скорости течений больше, чем за его пределами.

Можно допустить, что это волновое течение, где плотность линий токов большая (на рис. 3а, б она затемнена) участвует в формировании крупномасштабных течений, в частности Гольфстрима. В данном случае эти волновые течения усиливают течения Гольфстрима. Глубинные и поверхностные противотечения формируются орбитальными движениями частиц воды волны, как показано на рис. 3а, б.

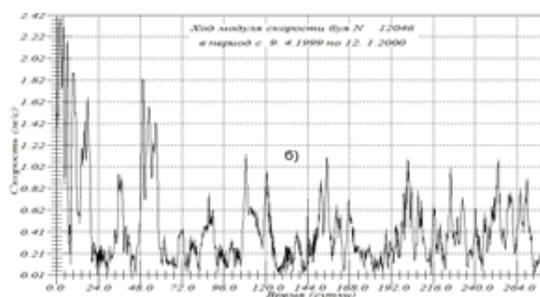
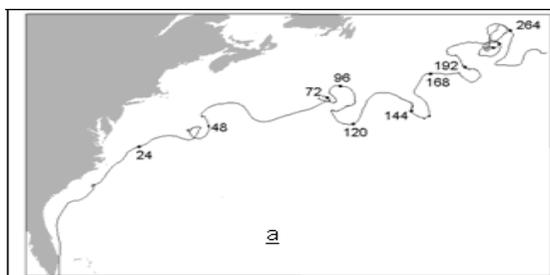


Рис. 4. Рис. 4а, б. Трасса дрейфера запущенного в воды Гольфстрима (а), числа вдоль трассы – время движения дрейфера с начала его запуска; модуль скорости движения дрейфера во времени (б).

В качестве подтверждения изложенного объяснения противотечений приведем следующую информацию о Гольфстриме (рис. 4а, б). На рис. 4а изображена трасса дрейфера в Гольфстриме. Он перемещается преимущественно однонаправленно. На рис. 4б приведена величина модуля скорости движения дрейфера, состоящая. Измеренная скорость течения (модуль) пульсирует с периодом 10 – 30 суток, т.е. с периодом волн Россби. Фактически эти пульсации это не что иное, как течения волн Россби. Средняя скорость течения,

фактически это скорость Гольфстрима ~ 40 см/с. Из рис.4б видно, что скорость течения в Гольфстриме иногда превышает два метра, а иногда течение равно нулю, Гольфстрим останавливается. Эти отклонения течения от средней величины создаются волнами Россби.

Теперь обратимся к рис. 3б. Если стационарно установленным в верхнем слое воды прибором измерять течения этой системы солитонов, движущихся влево, то получим пульсирующий сигнал аналогичный изображённому на рис. 4б. Если запустить дрейфтер в систему солитонов, изображенных на рис.3б, то опять же получим пульсирующий сигнал, аналогичный изображённому на рис. 4б. Пульсирующий характер течений свидетельствует о том, что предложенная в [3] схема линий токов волн Россби соответствует реальности и объясняет закономерность формирования противотечений.

Итак. Орбитальные движения частиц воды волн Россби Мирового океана могут сформировать течения, которые усиливают крупномасштабные течения и создают глубинные и поверхностные противотечения. В работе [9] было впервые указано на возможность формирования противотечений волнами Россби, мы же показали возможный механизм их образования.

Л и т е р а т у р а

1. Архипкин В.С., Бондаренко А.Л., Борисов Е.В., Суркова Г.В. Роль волн Россби в формировании термодинамики вод Чёрного и Каспийского морей и атмосферы// Физические проблемы экологии (экологическая физика). 2007. М.: МАКС Пресс. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Физический факультет. № 14. С. 4-9.
2. Бондаренко А.Л. Течения Каспийского моря и формирование поля солёности вод Северного Каспия. 1993. М.:Наука. С. 122.

3. Бондаренко А.Л. Настоящее и будущее Гольфстрима// Природа. 2007. № 7. С. 29-37.
4. Бондаренко А.Л., Борисов Е.В., Жмур В.В. О длинноволновой природе морских и океанских течений// Метеорология и гидрология. 2008. №1. С. 72 – 79.
5. Каменкович В.М., Монин А.С. Океанология. Физика океана. т1 1978. М.: Наука. 455с
6. Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Монин А.С. Синоптические вихри в океане. 1987. Л.: Гидрометеиздат. 511с.
7. Кривошея В.Г., Титов В.Б., Овчиннико И.М., Москаленко Л.В., Скирта А.Ю., Монахов В.В. Новые данные о режиме течений на шельфе северо-западной части Чёрного моря// Океанология. 2001. том. 41.№ 3. С. 325-334.
8. Штокман В.Б. Избранные труды по физике моря. Л.: Гидрометеиздат. 1970. 336 с.
9. Kielmann J., Düing W. Tidal and Sub-inertial Fluctuations in the Florida Current// Journal of Physical Oceanography. 1974. April. Vol. 4. pp. 227-236.
10. Thompson R.O. Topographic Rossby wave at a site north of the Gulf Stream// Deep-sea Res. 1971. Vol. 18. pp.1-19.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ. РОЛЬ ВОЛН РОССБИ МИРОВОГО ОКЕАНА В ФОРМИРОВАНИИ ТЕРМОДИНАМИКИ ЕГО ВОД И АТМОСФЕРЫ.

Бондаренко А.Л.* , Борисов В.Е. , Суркова Г.В.*****

* ИВП РАН, albert-bond@mail.ru, ** ФГУ “ГОИН”, *** МГУ им. М.В.
Ломоносова.

Analysis measurements currents and to take one’s temperature water oceans show important role Rossby waves in form thermodynamics ocean and atmosphere.

В Мировом океане существуют мощнейшие гидродинамические образования, получившие название волн Россби. Согласно исследованиям [2 - 7] они активно участвуют в формировании движений вод океана, как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях. Горизонтальные движения значительно усиливают океанские крупномасштабные течения, среди которых всем известные Гольфстрим, Куроисио, мощные Экваториальные течения и т.д. [6, 7], а вертикальные - перемещают воды в вертикальном направлении, в частности, создавая тем самым такие известные явления, как апвеллинг - даунвеллинг, Эль-Ниньо – Ла-Нинья, тайфуны и прочее [2 - 5]. Эти вертикальные и горизонтальные движения изменяют температуру вод океана и его поверхности, а отсюда и атмосферы. В свою очередь это приводит к изменениям атмосферного

давления, ветра, осадков и т.д., определяющих погоду и климат Земли. Таким образом первопричиной формирования термодинамики вод океана и атмосферы, погоды и климата Земли в значительной степени являются волны Россби.

Далее, мы изложим нашу концепцию, наш взгляд на систему изложенных связей, но в основном без доказательств, их можно найти в работах [2 - 7]. Изложим некоторые представления о волнах Россби, их свойствах и параметрах, а также продемонстрируем на примере явления Эль-Ниньо – Ла-Нинья механизм влияния волн Россби на термодинамику вод океана, а отсюда и атмосферы, на погоду и климат Земли.

Волны Россби Мирового океана. В начале шестидесятых годов, сравнительно недавно в океанах доказательно были зарегистрированы гидродинамические образования, получившие название планетарных волн Россби. Приведём только некоторые сведения о них. Они имеют периоды от недели до пяти недель, фазовые скорости распространения от нескольких см/с до одного метра, длину от 100 до 1500 км, а скорости орбитальных движений частиц воды в волне, фактически течений, от десятка см/с до 2,5 м/с.

Если регистрировать течения в любой точке Мирового океана, то обязательно будут зарегистрированы и течения волн Россби. Океан буквально “забит” этими волнами (рис.1) [1]. Заметны вращательные движения вектора течений создаваемых волнами Россби с периодом ~ 40 суток.

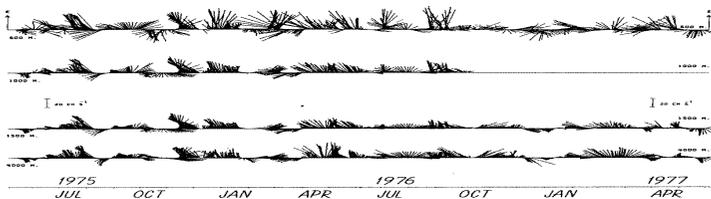


Рис. 1. Среднесуточные векторы скорости течений, измеренных в 1975-76 гг. на различных горизонтах Атлантического океана недалеко от Бермудских островов [1].

В средних широтах открытой части Атлантического океана волны Россби имеют приблизительно такие параметры: фазовую скорость распространения ~ 5 см/с, длину волны ~ 400 км, амплитуды колебаний скорости течений $\sim 10 - 15$ см/с. Характерным свойством этих волн является: всегда и везде в открытой части океана распространяться в западном направлении.

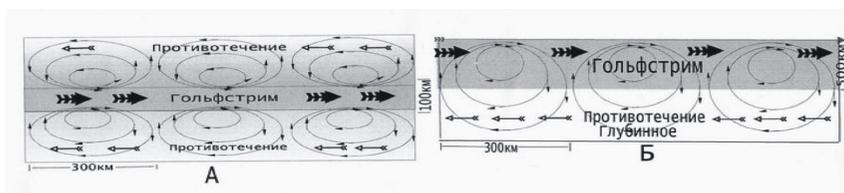


Рис. 2а, б. Линии токов течений волн Россби Гольфстрима и его окружения. Линии токов обозначены тонкими линиями в виде эллипсов со стрелками. Вид сверху (а) и по вертикальному сечению через Гольфстрим (б) [6].

Исследования, выполненные [6] позволили волновое поле, в частности, Гольфстрима и его окружения, представить в виде цепочки волн – солитонов, течения (движения частиц воды волн), в которых происходят по замкнутому контуру в горизонтальной и вертикальной

плоскостях (рис. 2а, б). Такое расположение линий токов течений волн Россби похоже на линии токов диполя, проводящей средой которого является вода. Скорость течения пропорциональна плотности линий токов. Мы видим, что в Гольфстриме плотность линий токов гораздо больше, чем за его пределами, а отсюда, и скорости течений больше. Вертикальные скорости движения частиц воды невелики, приблизительно равны $1/500 - 1/1000$ от скорости горизонтальных движений. Так для Гольфстрима, средние скорости течений которого равны $0,5 - 1$ м/с, вертикальные $\sim 1 - 2$ мм/с.

Это важное открытие, наличие в реальных волнах вертикальных движений частиц воды, в корне меняет представление о волнах, их роли в термодинамике океана, а отсюда и атмосферы. Движения частиц воды в горизонтальном направлении усиливают течения, а движения в вертикальном направлении создают подъём и опускание вод, соответственно, и формирование термохалинного поля вод океана и его поверхности. В одной половине волны происходит подъём холодных вод к поверхности океана, а в другой - опускание.

Формирование волнами Россби явлений апвеллинг-даунвеллинг, Эль-Ниньо – Ла-Нинья их влияние на атмосферу.

Вертикальные движения воды вверх получили название апвеллинга, а вниз – даунвеллинга..

В прибрежных зонах (особенно у берегов восточных окраин океанов и морей), в крупномасштабных струйных течениях, и особенно экваториальных течениях, вертикальные движения воды волн Россби образуют значительные по площади области с аномально низкой температурой воды, т.н. зоны апвеллингов. В экваториальной части Тихого океана вертикальные движения воды особенно заметны и получили название Эль-Ниньо – Ла-Нинья [3 - 5]. Изменение температуры поверхности океана или моря зависит от скорости вертикального обмена глубинных вод с поверхностными, т.е. скорости

вертикальных движений воды и градиента температуры воды с глубиной. Поток тепла из атмосферы принят постоянным и это обосновано [3].

Для проверки изложенного объяснения Эль-Ниньо - Ла-Нинья здесь приведём исследования, полученные по измерениям течений, V и температуры воды, T в пункте 1. Образец таких измерений приведен на рис. 3а, б. Зависимость температуры воды поверхности океана, показателя развития Эль-Ниньо – Ла-Нинья, от амплитуды колебания скорости течений волн Россби легко прослеживается чисто умозрительно по измерениям температуры воды и скорости течений волн Россби. Мы видим, что амплитуда колебаний скорости течений волн Россби меняется во времени приблизительно с периодом 19 суток. На участке 101 – 801 час. выделяется две модуляции течений с амплитудами колебания скорости до ~ 80 см/с (а). Большим волнам с амплитудами ~ 80 см/с, наблюдаемых приблизительно в моменты времени 301, 701 час соответствует низкая температура воды, $T \sim 24^{\circ}\text{C}$, а малым волнам, в промежутке между этими модуляциями соответствует более высокая температура воды, $\sim 26^{\circ}\text{C}$. При обычном развитии событий зимой вода более тёплая, летом холодная. Этим состояниям воды соответствует слабое Эль-Ниньо и Ла-Нинья, соответственно. Иногда волны разрушаются и превращаются в хаотическую последовательность относительно небольших волн, на рис. 5а такое состояние начинается со времени ~ 801 час. Начиная с этого момента температура воды начинает увеличиваться и достигает 30°C . Это состояние океана называется Эль-Ниньо. Обычно оно начинается зимой и продолжается больше года.

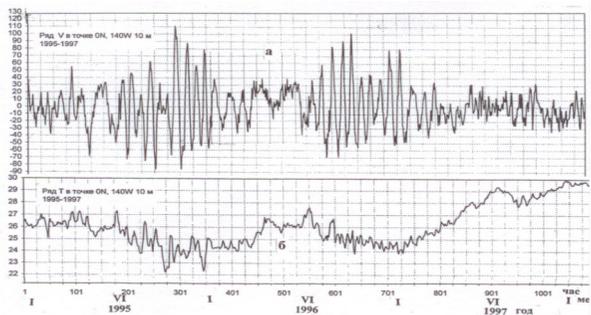


Рис. За, б. Меридиональная составляющая скорости течения, V (а) и температура воды (б) в пункте I (140° з.д.) на горизонте 10м.

Поскольку температура поверхности океана зависит не от текущей величины волны Россби, а от средней за некоторый промежуток времени, то в дальнейшем для анализа связи температуры воды и волн Россби были использованы среднеквадратические величины амплитуды колебания скорости течения за интервал осреднения $\frac{1}{2}$ года, с.к.о. V_0 и текущее значение температуры поверхности воды океана [4, 5, 6]. По T и с.к.о. V_0 была построена связь, которая имеет коэффициент корреляции 0,88, что свидетельствует о том, что температура на поверхности океана, которая и является показателем развития Эль-Ниньо - Ла-Нинья, зависит от амплитуды колебания скорости течения волн Россби.

Как отмечалось, температура поверхности океана завит от потока тепла поступающего с глубины океана и из атмосферы. Наличие высокого коэффициента связи позволяет сделать вывод, что изменения температуры воды на поверхности океана в основном обусловлены изменениями потока тепла с глубины океана, которые существенно определяются вертикальными движениями воды волн Россби.

Волны Россби, изменяя температурный режим поверхности океана или моря, а отсюда и воздуха, создают изменения режима ветра, давления, влажности воздуха и т.д., погоды и климата над океаном и сушей. Так различия температурного режима вод в районе экватора формируют всем известные ветры – пассаты, изменения поля давления в системе Южного колебания и т.д.. Эти изменения температуры вод океана очень существенны. Так, многие учёные полагают, что “самый большой и наиболее важный сигнал в межгодовой климатической изменчивости Земли связан с явлением Эль-Ниньо – Ла-Нинья” [8].

Резюме. Здесь речь шла об относительно небольшом участке Мирового океана, в основном об экваториальной зоне Тихого океана и Гольфстрима. Мы рассмотрели только одно явление природы: Эль-Ниньо – Ла-Нинья, в формировании которого участвуют волны Россби. Если учесть, что Мировой океан буквально “забит” волнами Россби, то мы поймём, что их влияние на атмосферу погоду и климат Земли будет более существенным. Таким образом, можно констатировать: роль волн Россби в термодинамике океана и атмосферы, погоде и климате Земли значительна.

Ранее мы отмечали, что волны “живут” по своим собственным, волновым законам, не зависимо от активности источника поступления энергии. Поэтому, чтобы понять закономерности развития термодинамики вод океана, а отсюда и атмосферы, погоды и климата Земли необходимо понять закономерности развития волн Россби, которые мы знаем плохо. Из анализа наблюдений волн понятно, что их параметры как-то зависят от широты места и морфометрии бассейна. Но как, точно не известно. Не ясно каким образом волны модулируют, их закономерности. Почему период модуляции волн на экваторе равен одному году, почему модуляции разрушаются? Без понимания всего этого невозможно

разработать физически обоснованное объяснение развития термодинамики океана и атмосферы, погоды и климата Земли.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Атлас ПОЛИМОДЕ. Под редакцией А. Д. Вуриса, В.М. Каменковича, А.С. Моница. 1986. 380 с.

2. Бондаренко А.Л. Прибрежный апвеллинг Каспийского моря// Водные ресурсы. 1998. Том. 25. № 4. с. 510-512.

3. Бондаренко А.Л., Жмур В.В. О природе и возможности прогнозирования явления Эль-Ниньо - Ла-Нинья // Метеорология и гидрология. 2004. № 11. С.39-

4. Бондаренко А.Л., Жмур В.В. Закономерности формирования явления Эль-Ниньо - Ла-Нинья // Физические проблемы экологии (экологическая физика). 2005. М.: МАКС ПРЕСС. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Физический факультет. № 13. С. 35-44.

5. Бондаренко А.Л. Эль-Ниньо – Ла-Нинья: механизм формирования// Природа. №5.2006. С. 39 – 47.

6. Бондаренко А.Л., Жмур В.В. Гольфстрим, его настоящее и будущее// Природа. 2007. №7. С.

7. Бондаренко А.Л., Борисов Е.В., Жмур В.В. О длинноволновой природе морских и океанских течений// Метеорология и гидрология. №1. С. 72 – 79.

8. Нечволодов Л.В., Лобов А.Л. и др.//Метеорология и гидрология. **1999. №6. С.53-65.**

ПЕРЕНОС ИЛИСТЫХ ОСАДКОВ ВЗВЕСЕНЕСУЩЕМИ ПОТОКАМИ НА НАКЛОННОМ ДНЕ

Завьялов И.Н.

МФТИ, Московская обл., г. Долгопрудный, институтский переулок 9,
тел/факс 408-65-00, lvenzz@mail.ru

This work has a goal the experimental investigation gravity flow on the ocean's bottom with involving in motion flow the solid particles of dredge. And the evaluation formula was receipted.

По различным наблюдениям плотностные течения на дне океана довольно распространенное явление. В лабораторных и натуральных условиях проводились исследования о развитии и зарождении придонных потоков. Но до сих пор остаются не достаточно хорошо исследованным механизм вовлечения в плотностной поток окружающей жидкости и твердых частиц донных пород. И связанные с этим эффекты распространения взвесенесущих потоков по дну. Наибольший интерес представляется вопрос об условиях развития катастрофически сильных взвесенесущих потоков, связанных с вовлечением донных осадков и окружающей жидкости в движение.

Качественно сход и развитие гравитационного потока можно представить следующим образом из идущей массы в придонном слое

выделяется участок, который вырывается вперед из общей массы, назовем его предвестник. Потом за счет вовлечения донных осадков предвестник начинает увеличиваться в размере, а рост основной массы прекращается. Потом бывшая основная масса отрывается от подросшего предвестника и опускается на дно см. **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Скорость схождения такого потока на всем пути его движения при углах от 10 до 26 градусов остается постоянной. Причем относительная погрешность определение скорости не превосходит 2%, **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Однако однозначной зависимости между скоростью движения гравитационного потока и углом наклона дна не наблюдается. Но наблюдается зависимость между скоростью сходящего потока и произведением синуса угла наклона на длину потока вдоль дна, см. рис. 3

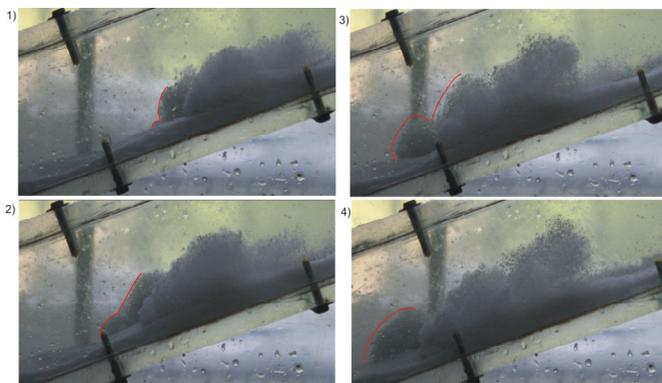


Рис. 1 номерами отмечена последовательность кадров, временная задержка между кадрами составляет 1/3 секунды.

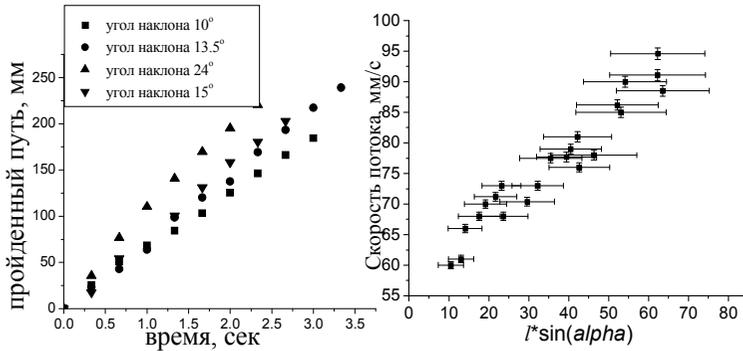


Рис. 2

Рис. 3

Так как взвесенесущий поток это гравитационного потока, то факт сохранения скорости означает

$$\sqrt{g'h \sin \alpha} = const \Leftrightarrow \sqrt{g'h} = const , \text{ так как скорость}$$

гравитационного потока $V = \chi \sqrt{g'h \sin \alpha}$, где χ - некоторая постоянная. Так как скорость пропорциональна длине потока вдоль дна, то длина потока вдоль дна тоже сохраняется. Значит масса взвесенесущего потока остается постоянной, следовательно количество осадков взмучиваемых потоком совпадает с количеством осадков оседающих в потоке.

Пренебрежем силой трения потока о окружающую воду, тогда останется сила трения потока о дно, но так как дно покрывает взвесь, то поставить условие прилипания на дно нельзя. Частицы дна которые

взаимодействуют с потоком, начинают двигаться со скоростью потока, а это значит, что сила трения о дно равна силе необходимой на разгон взмучиваемых осадков до скорости потока. То есть:

$$F_{mp} = V \int_0^L \mu(l) dl, \text{ (где } F_{mp} \text{ - сила трения о дно, } \mu \text{ - вовлекаемая в}$$

поток масса в единицу времени с единицы длины потока вдоль дна, L - длина потока вдоль дна).

Предположим, что плотность потока равномерна по высоте, тогда сила тяжести действующая на поток будет:

$$F_{тяж} = g \sin \alpha \Delta \rho \int_0^L h(l) dl$$

Таким образом поток поднимает с равную $\Delta M = \int_0^T \int_0^L \mu(l) dl dt$.

Постоянство скорости потока означает $F_{mp} = F_{тяж}$.

$$\Delta M = \int_0^T \frac{g \Delta \rho \sin \alpha}{V} \int_0^L h(l) dl dt$$

$\Delta M = \frac{g \Delta \rho L \sin \alpha}{V^2} \int_0^L h(l) dl$, для простоты $\int_0^L h(l) dl = H_{хар} L$, где

$H_{хар}$ - характерная высота потока.

$$\Delta M = \frac{g \Delta \rho L^2 \sin \alpha H_{хар}}{V^2}$$

Если по результатам эксперимента принять $V = \beta L \sin \alpha$, то получаем

$$\Delta M = \frac{g \Delta \rho H_{xap}}{\beta^2 \sin \alpha}$$

Выводы:

1. Для появления взвесенесущего потока с вовлечением в движение придонных пород, необходимо наличие первоначального предвестника с плотностью большей чем плотность фоновой жидкости.

2. Качественно сходжение такого потока выглядит так: из идущей массы в придонном слое выделяется участок, который вырывается вперед из общей массы, назовем его предвестник. Потом за счет вовлечения донных осадков предвестник начинает увеличиваться в размере, а рост основной массы прекращается. Потом бывшая основная масса отрывается от подросшего предвестника и опускается на дно, а из вновь сформировавшейся массы выделяется новый предвестник.

3. Скорость движения взвесенесущего потока с учетом вовлечения в движение придонных пород, с точностью до 2% постоянна, не ускоряется и не замедляется, не зависимо от угла.

4. Одним из параметров, определяющих скорость потока, при сохранении плотности взвеси, является произведение синуса угла наклона на длину потока вдоль дна.

5. Масса взвеси участвующей в движении сохраняется, масса поднимаемая потоком со дна есть может быть оценена по

формуле $\Delta M = \frac{g \Delta \rho L^2 \sin \alpha H_{xap}}{V^2}$, или $\Delta M = \frac{g \Delta \rho H_{xap}}{\beta^2 \sin \alpha}$, где β -

коэффициент пропорциональности в полученной экспериментально зависимости $V = \beta L \sin \alpha$.

**С. С. ЛАППО - ОСНОВАТЕЛЬ НОВОГО НАПРАВЛЕНИЯ ОКЕАНОГРАФИИ
«ВОЛНОВАЯ ПРИРОДА ТЕЧЕНИЙ В ОКЕАНАХ И МОРЯХ»**

Щевьев В. А.

Институт Водных проблем РАН, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3. Тел.
499-135-73-80, e-mail Shtshev@rambler.ru

S. S. Lappo (1979) on the base analysis 20 years measurements currents in the ocean proclaim: "Start wave stage ocean currents investigations". Following 30 years show long waves to impress one's importance in sea dynamics,

В работе Лаппо С. С. «Среднемасштабные динамические процессы океана, возбуждаемые атмосферой. М. Наука, 1979» на основе анализа результатов долговременных инструментальных наблюдений на буйковых станциях, которые проводились предыдущие 20 лет (ПОЛИМОДЕ и др.), автор сделал вывод:

«Результаты наблюдений привели к коренному **пересмотру** представлений о закономерностях изменчивости течений в океане, что весьма резко расходилось с существующими теоретическими концепциями». Хорошее представление о течениях дают энергетические спектры (рис. 1). Основная энергия сосредоточена в длиннопериодных волновых течениях (ДПВТ) и в инерционных, так же имеющих волновую природу. Спад энергии на периодах 2 – 4 суток соответствует пику энергетического спектра ветра, поэтому вопрос о связи синоптической изменчивости атмосферы и динамических процессов (течений) в океане остается открытым. **Начался волновой этап в изучении течений.**

Существует немало работ, в которых делается аналогичный вывод о необходимости пересмотра существующих представлений о течениях.

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. Гипотеза о ветровом происхождении циркуляции вод не объясняет глубинную циркуляцию, а гипотеза о термохалинной природе опирается главным образом на существующее поле плотности. Поэтому никаких выводов о природе циркуляции вод на основе расчетов, выполненных по фактическому полю плотностисделать так же невозможно».

В. Б. Штокман (1937) писал: « В связи с высокой степенью изменчивости течений, обусловленных не только термохалинной природой, невозможно выбрать контур, перпендикулярный по всей глубине к направлению течения, а поэтому применение формулы Сандстрема в таких случаях недопустимо, и единственным практически приемлимым методом, дающим надежные результаты,

является непосредственное измерение течений с помощью вертушек».

Возможность существования длиннопериодных волн (ДПВ) в океане была предсказана теоретически в конце 19го – в начале 20го веков (волны Россби, Кельвина, топографические, захваченные берегом, экватором, планетарные) [5]. Их проявление в изменении уровня начали регистрировать с 60х годов прошлого века. Инструментальными наблюдениями топографические волны были зарегистрированы в 70х годах прошлого века в оз. Онтарио [10].

Н. Н. Филатов [3] отмечал наличие волн Кельвина, береговых захваченных волн в Ладожском и Онежском озерах, их проявление в отсутствии синоптических флюктуаций ветра.

В Южном Каспии [1] в 1979 г. были зарегистрированы ДПВ с периодом 120 ч.

Но ни один из выше названных исследователей не оценил важность этих течений в динамике моря. Лишь Бондаренко А. Л. по результатам инструментальных наблюдений в Среднем Каспии показал, что наибольшая доля энергии в динамике моря принадлежит длиннопериодным волнам и инерционным. Ветровым течениям принадлежит лишь до 5% энергии. По результатам наблюдений была определена фазовая скорость длиннопериодной волны (35 см/с.), показана связь длиннопериодных волн и течений крупномасштабной циркуляции [2].

После появления работы С. С. Лаппо прошло 30 лет. За эти годы было проведено большое количество исследований, долговременных регистраций длиннопериодных волновых течений (ДПВТ) по всем районам Мирового Океана, в окраинных и внутренних морях и в крупных озерах. Анализ результатов этих исследований показывает,

что движение длиннопериодных волновых течений наблюдается вдоль экватора с востока на запад (в трех океанах). При достижении западных берегов длинноволновые течения направляются на север и на юг, образуя крупномасштабные антициклонические циркуляции отдельно в северных и в южных частях трех океанов, как результирующее движение длиннопериодных волновых течений.

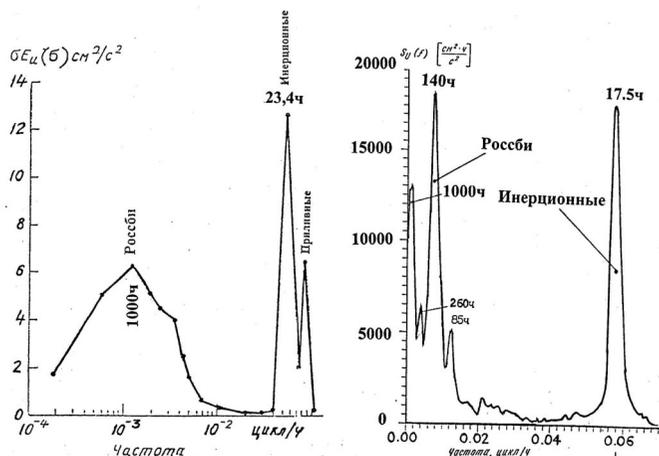


Рис. 1. Функции спектральной плотности в океане.

В работе [6] показано, что наряду с антициклоническими циркуляциями в каждой из частей, северной и южной трех океанов существуют циклонические циркуляции. Самым известным проявлением этих циркуляций являются экваториальные противотечения. В 1969 г. открыто Антило-Гвианское противотечение. Оно служит одним из двух источников противотечения Ломоносова. В 1968 г. в юго-западной части Атлантического океана был выявлен мощный циклонический круговорот и на его восточной периферии – Ангольское течение южного направления [7]. Оно является продолжением течения Ломоносова на юг.

В 1968 г. французскими океанологами было обнаружено Гвинейское глубинное противотечение. Оно является стоком течения Ломоносова на север и на запад [7]. Аналогичные циклонические циркуляции существуют в Индийском и Тихом океанах.

Такие же циклонические крупномасштабные циркуляции существуют в окраинных и внутренних морях, и в крупных озерах. Инструментальные наблюдения показывают, что и циклонические циркуляции являются результирующим движением длиннопериодных волновых течений, проходящих вдоль берега.

Наиболее вероятную причину образования ДПВТ нам помогла выявить работа А. С. Мониной, Ю. А. Шишкова «История климата», в которой показано, что течения вдоль экватора с востока на запад возникают из-за ежедневно изменяющихся воздействий приливообразующих сил Луны и Солнца (ПОСЛ и С) на водную массу вблизи экватора (гипотеза И. Канта) [9]. Для лучшего понимания механизма этого воздействия была рассмотрена закономерность изменения приливообразующих сил Луны в самом простом случае, когда плоскость вращения Луны совпадает с плоскостью экватора. Оказалось, что в действительности на любой объем воды в океане ПОС действует 12 ч. в восточном направлении, и 12 ч. в западном. Такие ежесуточные периодические воздействия в противоположном направлении могут привести к образованию ДПВ течений [8].

Таким образом, приведенное описание процесса исследований природы течений океана, морей и крупных озер со всей очевидностью показывает правильность вывода С. С. Лаппо: **«Начался волновой этап в изучении течений океана»**. В настоящее время он успешно продолжается.

Поэтому, по нашему мнению, целесообразно создать в институте Океанологии РАН семинар «Волновая природа течений в

океанах и морях», на котором рассматривались бы работы, анализирующие все новые и новые данные наблюдений. И было бы справедливо присвоить этому семинару имя С. С. Лаппо.

1. Блатов А. С., Косарев А. Н., Перминов С. М., Тужилкин В. С. Течения Каспийского моря.// Гидрология и гидрохимия. М. наука. 1986. с. 150-176.

2. Бондаренко А.Л. Течения Каспийского моря и формирование поля солёности вод Северного Каспия. М. Наука.1993.123с.

3. Демин Ю. Л., Филатов Н. Н. Особенности динамики вод разнотипных озёр. // Моделирование гидрофизических процессов и полей в замкнутых водоемах и морях. М. Наука, 1989, с.79-93.

4. Лаппо С. С. Среднемасштабные динамические процессы океана, возбуждаемые атмосферой. М. Наука, 1979. 181 с.

5. Ле Блон П., Майсек Л. Волны в океане. М. Мир, 1981. Ч 1. 480 с.

6. Физическая география мирового океана. Ред. Акад. Марков. Л. Наука. 1980 г. 362 с.

7. Штокман В. Б. О применимости динамического метода обработки гидрологических данных в изучении течений Каспийского моря. Журнал геофизики 1937 г. Т VII вып. 4.

8. Щевьёв В. А. Приливообразующие силы Луны и Солнца – причина образования длиннопериодных волновых течений в океане.

Электронный журнал «Исследовано в России», 032, стр. 320-334, 2009 г. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2009/032.pdf>

9. Щевьёв В. А. Крупномасштабная циркуляция в океанах, как результирующее движение длиннопериодных волн.

Электронный журнал «Исследовано в России», 077, стр. 808-825, 2007 г. Опубл. 26. 04. 07. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/077pdf>

10. Csanady G. T. 1976, Topographic waves in lake Ontario.// J. Phys. Oceanography, 6(11), 93-103.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ МЕТОДАМИ РАССЕЯНИЯ ЗВУКА

Буланов В.А., Корсков И.В., Попов П.Н. Стороженко А.В.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Россия, 690041, Владивосток, Балтийская 43, Тел. (4232) 374913; Факс: (4232) 312573, e-mail: bulanov@poi.dvo.ru

Исследования характеристик рассеяния звука представляет интерес в связи с возможностью проводить оценку структуры морской среды [1,2]. Такая возможность особенно важна вблизи фронтальных зон и границ течений, когда характеристики среды изменяются на небольшом расстоянии и поэтому никакие контактные методы не позволяют осуществлять подробную пространственную съемку структуры среды вблизи таких границ [2]. Важным оказывается применение дистанционных методов для исследования рассеяния звука в верхнем слое морской воды в шельфовой зоне и мелководных морях. Исследования рассеяния звука в шельфовой зоне Японского моря и его заливах проводились регулярно на НИС "Импульс" и НИС "Малахит" в 1998-2009 гг. Изучение рассеяния звука составляет основу дистанционного метода мониторинга структуры и динамики мелкомасштабных неоднородностей в деятельном слое моря.

Значительный интерес представляют исследования рассеяния, обусловленные зоо и фито планктоном, газовыми пузырьками и рыбами, имеющими плавательный пузырь [1-3]. На практике часто возникает необходимость получения информации не только о суммарной концентрации, но также о отдельном вкладе каждого из типов включений. Частично задачи такого типа решались с применением методов акустической спектроскопии [4-6].

Метод измерения коэффициентов рассеяния звука в приповерхностном слое моря основывался на остронаправленном излучении звука, приеме сигналов обратного рассеяния звука, вводу, записи и первичной обработке акустической информации на персональных компьютерах. Метод прошел многолетнюю апробацию в экспедиционных условиях, его основные черты отражены в [5,6]. Основные акустические измерения были выполнены с применением акустического профилографа течений ADP фирмы SONTEC, который позволял изучать рассеяние звука на частоте 250 кГц.

Рассеяние звука в среде с микронеоднородностями будем описывать с помощью коэффициента рассеяния m_V , который в приближении однократного рассеяния (борновском приближении) определяется согласно выражению

$$m_V = \frac{2}{\pi \theta^2 c t} \left(\frac{P_{bs}}{P_i} \right)^2. \quad (1)$$

где $I_{bs} \propto P_{bs}^2$, $I_i \propto P_i^2$ - интенсивности падающего на неоднородность и рассеянного звука соответственно, при этом P_i и P_{bs} - соответственно, амплитуды волны, падающей на рассеивающий объем и рассеянной в обратном направлении, q - ширина диаграммы направленности излучателя, c - скорость звука, t - длина импульса звука. Часто коэффициент рассеяния звука m_V записывают в логарифмической форме – в децибелах согласно формуле

$S_p(\omega) = 10 \lg m_p(\omega)$, при этом размерность m_p берут в м^{-1} . Итак, можно экспериментально определить частотную зависимость $m_p(\omega)$ или $S_p(\omega)$, которая позволяет установить тип рассеивателей, а также некоторые их характеристики, например, функцию распределения по размерам $g(R)$ или объемную концентрацию V_0 .

Применение акустического зондирования для выявления сезонных отличий в структуре верхнего слоя морской воды. В качестве примера акустических данных на рис. 1 представлена запись звукорассеивающих слоев на частоте 250 кГц, проведенные с помощью акустического доплеровского измерителя течений ADP фирмы SONTEC на трассе мыс Шульц - открытое море в конце лета – начале осеннего периода 04.10.2007 г. Отчетливо видна изменчивость структуры приповерхностного слоя, характерные глубины залегания термоклина вдоль трассы, а также рассеяние, обусловленное внутренними волнами.

Для сравнения сезонной изменчивости картины рассеяния звука в приповерхностных слоях морской воды на рис. 2 представлена запись звукорассеивающих слоев на частоте 250 кГц, проведенные с помощью ADP на трассе мыс Шульц - открытое море в начале лета 02.06.2008 г. Из сравнения результатов, представленных на рис.1 и 2, видны сезонные отличия в характере рассеяния звука, что связано в первую очередь с изменением залегания термоклина в начале и в конце летнего сезона.

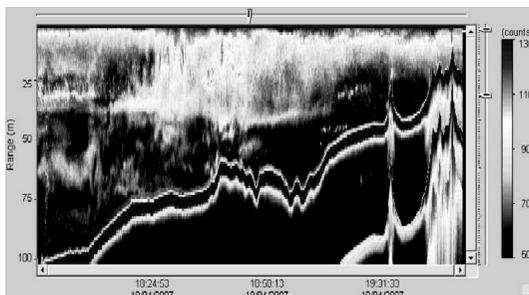


Рис. 1. Рассеяние звука на частоте 250 кГц на трассе протяженностью 20 км в конце лета – начале осеннего периода 04.10.2007 г.

На рис.2 основное рассеяние звука происходит в приповерхностных слоях моря. Следует также отметить превышение коэффициентов рассеяния звука в приповерхностных слоях в начале лета над таковыми в конце лета - начале осени. Это обстоятельство связано с вспышкой роста фитопланктона в начале лета и связанным с данным фактом резким ростом активности морских биосистем.

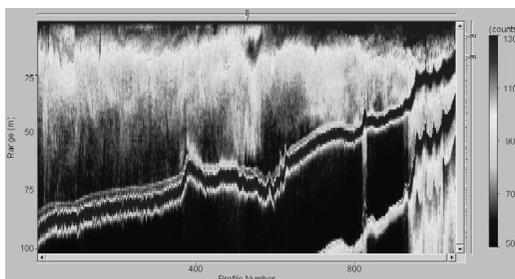


Рис. 2. Рассеяние звука на частоте 250 кГц на трассе протяженностью 20 км в начале лета 02.06.2008 г.

Следует отметить определенную корреляцию между распределением коэффициента рассеяния звука и распределением температуры. На рис. 3 представлена зависимость коэффициента рассеяния звука от температуры вдоль трассы. Видно, что экспериментальные точки с определенной вероятностью следуют линейной зависимости $S_V(T)$.

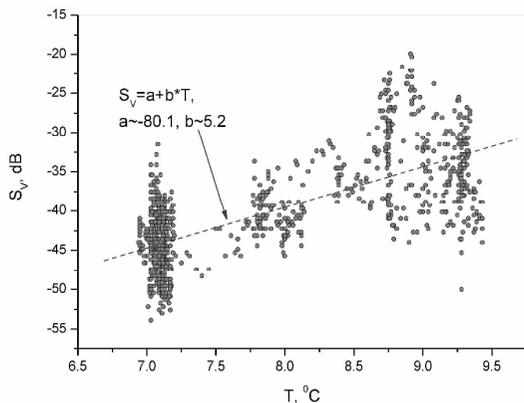


Рис. 3. Зависимость коэффициента рассеяния звука от температуры $S_V(T)$ на частоте 250 кГц вдоль трассы протяженностью 20 км в начале лета 02.06.2008 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева И.Б. Звукорассеивающие слои - акустические неоднородности толщи вод океана. // Акуст. журн. 1999. Т. 45. № 4. С. 437-444.
2. Akulichev V.A., Bulanov V.A., Korskov I.V., Popov P.N. Acoustic Sounding of Upper Sea Water Layer at Different Areas of the World Ocean. // In : Proceed. of the 18 Int. Congress on Acoustics. ICA 2004, Kyoto, Japan. p. 2415- 2422.
3. Андреева И.Б., Самоволькин В.Г. Рассеяние акустических волн на морских организмах. М.:Агропромиздат.1986. 104 с.

4. Акуличев В.А., Буланов В.А., Кленин С.А. Акустическое зондирование газовых пузырьков в морской среде // Акуст.журн. 1986. Т.32. №3. С.289-295.
5. Буланов В.А. Введение в акустическую спектроскопию микронеоднородных жидкостей. Владивосток: Дальнаука. 2001. 280 с.
6. Акуличев В.А., Буланов В.А. "Исследования неоднородностей морской среды методами акустического зондирования" / В кн. Дальневосточные моря России: в 4 кн./ Гл. ред. акад. В.А.Акуличев. Кн.4. Физические методы исследования/ отв.ред. Г.И.Долгих. –М.: Наука 2007, с.129-231

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ПРИБРЕЖНЫЙ ПРОГРЕВ:
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВОЗНИКНОВЕНИЯ
И ВЛИЯНИЯ НА ЛЕТНИЙ ПРИБРЕЖНЫЙ АПВЕЛЛИНГ**

Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е., Демченко Н.Ю.

Атлантическое отделение Института океанологии

им. П.П.Ширшова РАН

236000, Калининград, проспект Мира, 1

e-mail: irina_chubarenko@mail.ru

Представляются результаты совместного анализа натуральных экспериментов по динамике термохалинных полей при интенсивном солнечном прогреве в прибрежном мелководье (до глубины 1 м), экспедиционных измерений в прибрежной зоне Балтийского моря (до глубин 50 м) и численных расчётов на трёхмерной гидродинамической не гидростатической модели MIKE3-FlowModel (www.dhi.dk). Целью анализа является (i) выяснение деталей механизма возникновения и развития во времени дифференциального прибрежного прогрева [Чубаренко, 2008] в естественных условиях прибрежной зоны моря, (ii) проверка адекватности воспроизведения процесса численной моделью MIKE3-FlowModel и (iii) оценка с помощью модели величины вертикального транспорта и расположения зон подъёма вод в условиях вертикальной термохалинной ситуации и потоков тепла, характерных для начала июля в юго-восточной Балтике.

Хотя физически вполне очевидно, что в условиях солнечного прогрева основной причиной повышения температуры воды по мере приближения к берегу является всё усиливающееся влияние дна, ни собственно механизм, ни его влияние на общую термохалинную структуру и динамику вод до сих пор не исследованы. Так, [Lei, Patterson, 2002] продемонстрировали в лабораторном эксперименте, что в условиях развитого обмена (т.е. в квазистационарном случае) над самой верхней частью склона возникают практически горизонтальные ламинарные обменные течения к/от берега, в то время как в средней части склона возникают термики от подогреваемого дна и течения в значительной мере турбулентны. Однако реализуется ли это в естественных условиях, возникают ли термики от дна в природном водоёме, если да – то при каких условиях и на каких глубинах, - эти вопросы остаются открытыми

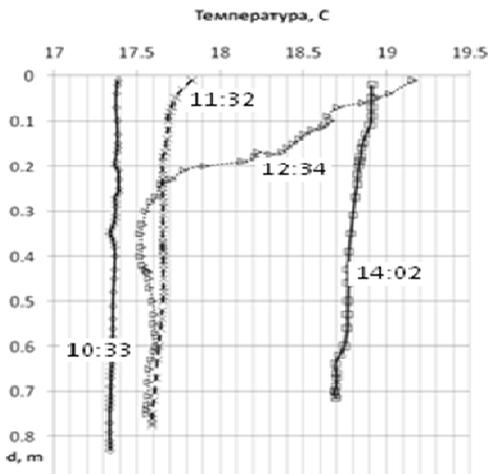


Рис. 1. Изменение вертикальных профилей температуры воды по мере прогрева над склоном (глубина 85 см; 7 августа 2009 г., Гданьский залив / Вислинская коса).

Кроме того показано [Чубаренко, 2008; Farrow, 2004], что, хотя дифференциальный прогрев возникает быстро, развитие горизонтального обмена настолько инертно, что над наиболее глубокими частями склонов он не достигает квазистационарного развития даже в суточном цикле.

Четыре серии экспериментов по формированию дифференциального прогрева над песчаными склонами прибрежной зоны моря были проведены в июле и августе 2009 г. В первой серии (3 июля), изменение вертикальных профилей температуры воды по мере прогрева проводилось в трёх специально подготовленных бассейнах различной глубины (17, 13 и 8 см) с горизонтальным дном (естественный интенсивный солнечный прогрев, морская вода, песчаное дно, стенки теплоизолированы). Профили имеют поверхностный охлаждённый испарением слой толщины порядка 1 см

($\Delta T \sim 0.3 \div 1.6^\circ\text{C}$), однородное изотермическое ядро и тёплый (ΔT до 1.3°C) придонный слой 1.5-2 см.

Измерения 14 и 16 июля (вторая и третья серии) проводились в прибрежной зоне Балтийского моря в районе г. Цингст (Германия) (см. работу [Рыжиков и др.] в этом же сборнике) на створе длиной 19 м, перпендикулярном береговой линии (глубина до 1 м).

Для регистрации характеристик полей температуры и солёности использовался стандартный CTD-зонд Ocean seven #316plus с частотой опроса 0.2 с. Спектр солнечной радиации, падающей на поверхность, подповерхностной, прошедшей через слой воды 40 см и отражённой от дна (на высоте 40 см от него) в диапазоне длин волн 400-800 нм (ширина полосы 8 нм, время интегрирования 20 сек) был получен спектрометром Cyslops. Измерения вертикальных профилей проводились через каждые 30 мин. в трёх точках, расположенных вдоль створа на глубинах 35, 65 и 85 см. В этих же точках на высоте 3-5 см от дна проводилась регистрация 15-25-минутных временных серий. Вдоль всей линии створа каждые 30 мин проводились горизонтальные буксировки зонда от берега в сторону моря в 5-7 см под поверхность. Четвёртая серия измерений (рис. 1) проведена 7 августа на прибрежном подводном склоне Вислинской косы (точки измерений на глубинах 35, 65 и 85 см). За время с 10 до 17 часов температура воды увеличилась от 17.3 до 20.6°C , причём вертикальные профили и утром, и после полудня были практически однородны, а в 12:34 в промежуточном слое (0.2-0.5 м) зарегистрирована более холодная и более солёная (на 0.02 psu) вода

Экспедиционные исследования динамики вод при дневном прогреве проводились в прибрежной зоне Балтийского моря 6-9 июля 2008 г. на траверсе Светлогорска (до глубин 50 м). Всего на разрезе выполнено 37 станций с расстоянием между ними $1/3$ или 1 миля.

Анализ серии вертикальных профилей температуры воды над глубиной 26 м также указывает на перестройку режима в 13 часов.

Численная модель MIKE3-FlowModel воспроизводит формирование прибрежного прогрева вполне адекватно. Дно склона в ней принимается адиабатическим, причём остаток энергии, не поглотившаяся в толще воды, распределяется по всей глубине однородно. В качестве модельного был выбран бассейн шириной 5 км, длиной 20 км, из которых 10 км занимает склон с уклоном дна 0.005. Максимальная глубина бассейна 50 м. Расчёты проводились на прямоугольной сетке с ячейками $50 \text{ м} \times 50 \text{ м}$ по горизонтали и шагом 1 м по вертикали. Шаг по времени - 3 сек. Начальная T, S стратификация однородна по горизонтали, а по вертикали - основана на натурных данных для Гданьского залива в июле 2007 г; термоклин располагается на глубине 25-30 м. Температура воздуха над поверхностью моря - реальные ежедневные данные за июль 2007 г. (<http://rp5.ru/>) с шагом 3 часа (пункт наблюдения Гданьск). Внешнее воздействие однородно по всей поверхности; условия солнечной радиации и дневной-ночной ход соответствующую широте Гданьского залива в июле. Влияние ветра исключено.

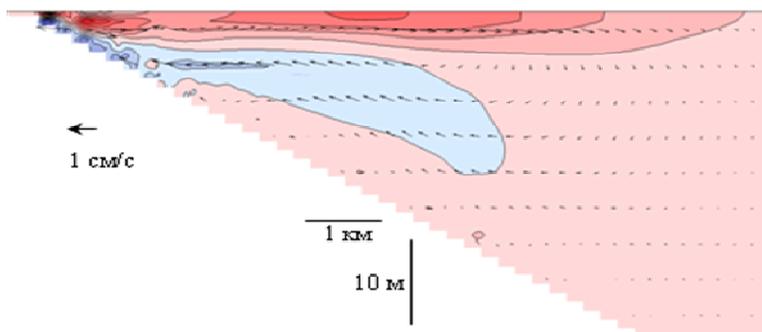


Рис. 2. Поле скоростей на 5 часов утра после суток моделирования с суточным ходом солнечной радиации ($v_{\max} \sim 3 \text{ мм/с}$).

Изолиниями показана структура горизонтальной компоненты скорости, стрелками – модуль скорости (3D численная модель MIKE3-FlowModel).

Проанализированы результаты расчётов длительностью 1 месяц. Условия теплообмена таковы, что в дневное время происходит прогрев верхнего слоя, а ночное выхолаживание отбирает тепла меньше, что в результате приводит к медленному прогреванию бассейна в целом. Характерная структура возникающих течений приведена на рис. 2: формируется общий медленный (скорости мм/с) транспорт от берега в поверхностном слое – и к берегу на глубинах 6-10 м, интенсивность которого модулируется суточным ритмом солнечного прогрева.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 07-05-00850а и № 09-05-90470_моб_ст).

Список литературы:

1. Чубаренко И.П. Дифференциальный прибрежный прогрев и водообмен в прибрежной зоне природных водоёмов: механизм формирования и анализ развития. Физические проблемы экологии (экологическая физика). Москва: Изд. МГУ. №15, 2008. стр. 392-402.

2. Farrow, D.E. Periodically forced natural convection over slowly varying

topography. *J. Fluid Mech.* 508 (2004), pp. 1-21

3. Lei, C., and J. C. Patterson. Natural convection in a reservoir sidearm subject to solar radiation: experimental observations. *Experiments in Fluids* 32 (2002), pp. 590-599.

ОСОБЕННОСТИ РАССЕЯНИЯ ЗВУКА НА МОРСКИХ ВОДОРΟΣЛЯХ

Буланов В.А., Корсков И.В., Попов П.Н. Стороженко А.В.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО
РАН, Россия, 690041, Владивосток, Балтийская 43, Тел. (4232) 374913;
Факс: (4232) 312573, e-mail: bulanov@poi.dvo.ru

Морские водоросли играют важную роль в функционировании прибрежной экосистемы, представляя собой первичное звено в пищевой цепочке и являясь существенным элементом при искусственном воспроизводстве марикультур. Информация о распределении водорослей является фактором, необходимым как при охране морской экосистемы от загрязнения, так и при осуществлении хозяйственной деятельности в прибрежных акваториях. В последние годы широкое распространение получила методика, основанная на рассеянии звука [1-3]. Подобная методика использовалась при оценке подводной растительности в заливе Рукс (южная часть Балтийского моря вблизи Сопота) сотрудниками Института океанологии Польской академии наук [4]. Этой же группой исследователей проводились исследования в фьорде Hornsund на Шпицбергене в рамках проекта Европейского центра арктических исследований, призванного оценить влияние глобального потепления, в частности, таяния ледников, на состояние прибрежной экосистемы [5].

В настоящей работе представлены результаты исследований коэффициента рассеяния звука и ряда других акустических характеристик водорослей с целью создания акустических методов распознавания водорослей на дне и оценки плотности их распределения. На рис.1 представлено изображение водорослей на морском дне в бухте Витязь залива Петра Великого (Японское море) в 100 км южнее Владивостока, полученное методом рассеяния звука остронаправленным гидролокатором с частотой 147 кГц. Водоросли можно выявить по диффузному рассеянию по сравнению с резко очерченному отражению от дна и от рыбных скоплений. Величина коэффициента рассеяния звука достаточно велика и порой превышает 10^{-3} м^{-1} . Такие высокие значения коэффициента рассеяния звука свидетельствуют о присутствии газовых полостей (пузырьков), приводящих к усилению рассеяния звука на этих объектах.

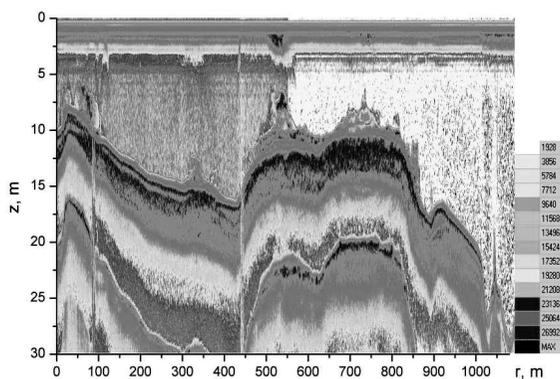


Рис.1

Лабораторные исследования рассеяния звука проводились в условиях, приближенных к условиям натуральных измерений. Для этого в экспериментальном бассейне с размерами 2.0 x 0.7 x 0.7 м помещался

остронаправленный излучатель с частотой 700 кГц и на различном расстоянии помещались образцы водорослей. В итоге было обнаружено высокое рассеяние звука на водорослях, которое составляло величину от 0.15 см^{-1} до 0.35 см^{-1} . Интересно отметить нелинейную зависимость коэффициента рассеяния звука от концентрации водорослей. Например, при одном листе водоросли величина $m\nu$ составляла 0.143 см^{-1} , а при 5 листьях $m\nu$ составляла 0.323 см^{-1} . Таким образом, имеется эффективное падение рассеяния звука при высоких концентрациях, которое связано с эффектом перекрывания сечений рассеяния при высокой концентрации водорослей.

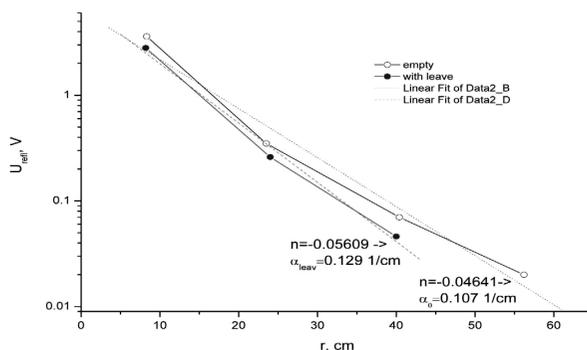


Рис.2

На рис.2 представлены результаты измерения дополнительного затухания звука на частоте 960 кГц, вносимого одним листом водоросли (ламинария). Измерения осуществлялись по многократному отражению акустических импульсов со сложным частотным заполнением в трубке, заполненной водой. Видно, что коэффициент избыточного затухания звука достаточно велик и согласуется с натурными измерениями, представленными на рис.1.

Важным оказался эффект многократного переотражения звука внутри водорослей, который наряду с диссипативными характеристиками тканей водоросли приводил к немонотонному ходу зависимости коэффициента отражения звука от толщины водоросли и ее относительного импеданса по отношению к воде.

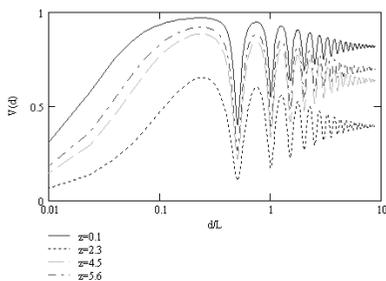


Рис.3

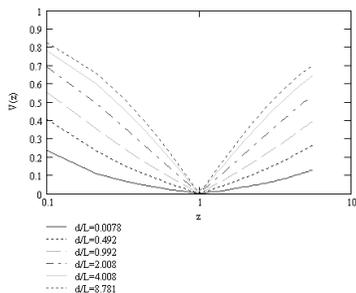


Рис.4

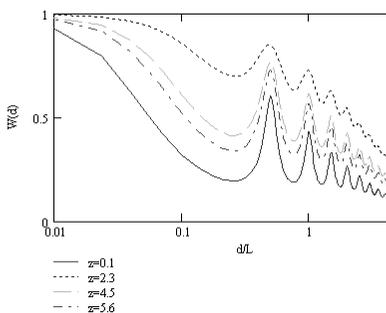


Рис.5

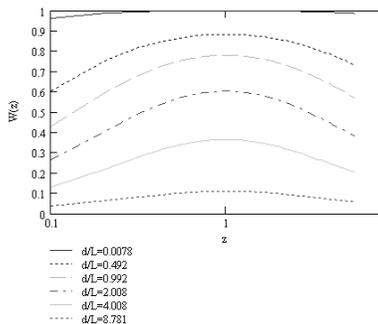


Рис.6

Суть этого эффекта заключается в следующем. Хорошо известны формулы для коэффициента отражения V и коэффициента прохождения звука W через плоскопараллельную пластину, контактирующую с различными средами [6]. Коэффициенты отражения и прохождения являются весьма чувствительными к

соотношению между длиной волны звука в пластине и ее толщиной. Явления волнового согласования и эффекты просветления для полуволновых и четверть волновых пластин хорошо известны в оптике и радиофизике.

На рис.3 – рис.6 представлены зависимости модуля коэффициента отражения и коэффициента прохождения от относительного импеданса и толщины пластины, нормированной на длину волны звука. Хорошо видны немонотонные зависимости от толщины пластины, а также достаточно сильные зависимости от относительного импеданса листьев водоросли. Сходная ситуация реализуется на практике и для рассеяния при случайном совпадении параметров поля и среды. Указанные эффекты в значительной степени спадают для толстых пластин, когда начинают играть роль диссипативные эффекты, а также для пластин с непараллельной или шероховатой поверхностью. В нашем случае, несмотря на относительно высокие частоты, приближение толстой пластины для случая водорослей вряд ли состоятельно. Поэтому большое значение имеет распределение водорослей по размерам (по толщинам). Введение функции распределения водорослей по размерам может привести к заглаживанию рассмотренных эффектов.

Работа была поддержана грантами РФФИ-ДВО РАН 08-05-99085-р_офи и РФФИ 09-02-01030.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sabol B., McCarthy E., Rocha K. Hydroacoustic basis for detection and characterization of eelgrass. // In Proceed. 4th Conf. on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Environ. Res. Inst. of Michigan, Ann Arbor, Michigan. 1997. P. 1-679- 1-693.
2. Sabol B., Burczinski J. Digital echo sounder system for characterizing vegetation in shallow-water environments. // In Proceed. 4th European

- Conf. on Underwater Acoustics, A. Alippi and G. B. Cannelli (eds.), Rome. 1998. P. 165–171.
3. Sabol B.M. et al. Evaluation of a Digital Echo Sounder System for Detection of Submersed Aquatic Vegetation // *Estuaries* V. 25. No. 1, P. 133–141.
 4. Tegowski J., Gorska N., Klusek Z. Statistical analysis of acoustic echoes from underwater meadows in the eutrophic Puck Bay // *Aquatic Living Resources* 2003. V. 16. P.215-221.
 5. Kruss A. et al. Acoustic characterization of benthic habitats in Hornsund Fjord (the Svalbard archipelago) // In Proceed. 8th European Conf. on Underwater Acoustics, S.M. Jesus and O.C. Rodrihuez (eds.), Carvoeiro, Portugal 12-15 June 2006. P. 167–173.
 6. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАГУН ЭСТУАРНОГО ТИПА ПРИ НАЛИЧИИ СУДОХОДНЫХ КАНАЛОВ

Сихарулидзе Д.К. Чубаренко Б.В.

Учреждение Российской Академии Наук Институт Океанологии им.
П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский Проспект д.36,
8(916)8039858, david2006s@rambler.ru

This article is devoted to the problem of influence of deep channels
in estuary lagoons on hydrology and hydrodynamics of these lagoons.

Firstly this work covers three main general factors which are vital for the stream mechanics in the every estuary lagoon. As major instance we are going to observe Vistula lagoon (Baltic Sea) and other similar lagoons situated all over the planet.

Данная работа базируется на имеющихся в литературе примерах и посвящена рассмотрению влияния сложного рельефа дна на гидродинамический и гидрологический режим в эстуарных лагунах.

Лагуны такого типа расположены на берегах всех континентов и являются объектом активной хозяйственной деятельности. Традиционное использование их акваторий для судоходства ведет к модификации подводного рельефа, строительству судоходных каналов, глубина которых может превышать глубину лагуны в несколько раз.

Основной материал почерпнут из результатов изучения Вислинского залива (Chubarenko&Margonski, 2008), мелководной эстуарной лагуны, расположенной в юго-восточной части Балтийского моря. На ряду с этим водоемом рассмотрены примеры других эстуариев.

На гидрологический и гидродинамический режимы эстуарной лагуны оказывают влияние много факторов. В первую очередь, это компоненты водного баланса - водообмен с находящейся рядом морской (или океанской акваторией) через свободные проливы, речной сток, осадки, испарение, поступление воды из подземных источников, поступление или сток воды сквозь барьерные острова или косы, отчленяющие лагуну от моря. Все лагуны в зависимости от их местонахождения на планете можно разделить на две большие группы – приливные лагуны, в которых водообмен между лагуной и

морем (океаном) определяют приливные колебания уровня, и бесприливные, где этот водообмен не является регулярным и определяется колебаниями уровня в морской акватории не приливного характера, а вызванными действием ветра, краевыми волнами, сейшами и пр.

Ветер над акваторией лагуны определяет действие локальных динамических факторов – волнения и ветровых течений, а также является причиной возникновения компенсационных градиентных течений из-за денivelяции уровня внутри лагуны, структура и направление которых будет в большой степени определяться рельефом дна, в частности, наличием или отсутствием глубоководных каналов.

Подобные каналы в лагунах могут иметь совершенно различное происхождение. Они могут быть природного происхождения (например, лагуна Риа Формоза, Португалия, Эстуарий Св. Люсии, США, эстуарий реки Gamtoos) и рукотворного, как например, все судоходные каналы в лагунах Балтийского моря (Щецинский, Вислинский, Куршский заливы, лагуна Дарсс-Цингст, Пуцкая лагуна). Для судоходных каналов можно выделить три варианта расположения по отношению к основной акватории лагуны (рис.1): пересекающие лагуну каналы, каналы, идущие вдоль ее берегов, и короткие каналы в районе входа в лагуну.

Анализ имеющихся литературных данных показал, что наличие сложных форм рельефа дна, в том числе глубоководных каналов, оказывает принципиальное воздействие на формирование течений и механику движения вод в эстуарных бесприливных лагунах. Каналы, прорезая мелководную акваторию лагуны, и, как правило, выходя на большие глубины в прибрежной морской зоне, являются путями преимущественного проникновения более соленых морских (океанских) вод внутрь акватории лагуны. В условиях эстуарной лагуны

они формируют внутренние вертикально-стратифицированные области на фоне, как правило, горизонтально неоднородных условий по распределению солености в мелководной, хорошо перемешиваемой ветром, лагуне.

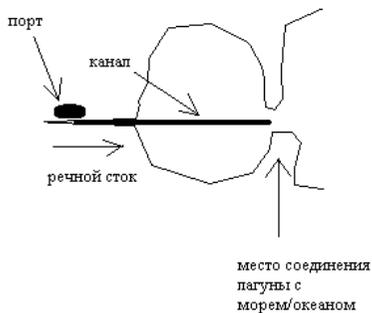
Именно в этих областях наблюдается характерный для эстуариев соленостный клин, степень продвижения которого вглубь акватории зависит от сезона (хорошим примером может послужить Вислинская лагуна).

Если в приливной лагуне основные движения вод при приливном наполнении лагуны и ее освобождении при отливе происходит именно по каналам, то в бесприливной лагуне в каналах концентрируются компенсационные градиентные течения.

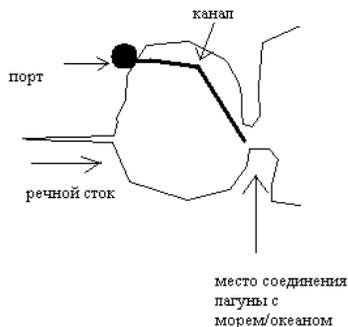
Литература

Chubarenko, B., Margonski, P. The Vistula Lagoon. [In] U. Schiewer (ed.) Ecology of Baltic Coastal Waters. Ecological Studies. 197. Springer-Verlag, 2008. Pp. 167-195.

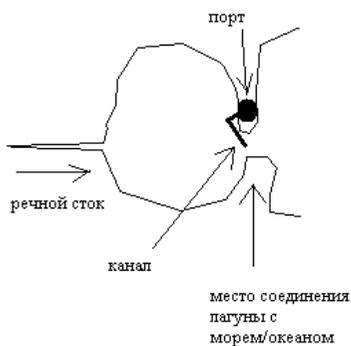
Dias, J.M., Sousa, M.C. Numeric modeling of Ria Formosa tidal dynamics // Journal of Coastal Research.- SI 56- 2009.- Pp. 1345-1349.



а)



б)



в)

Рис. 1. Варианты расположения судоходных каналов внутри лагуны: (а) канал пересекает центральную часть акватории лагуны, (б) канал проходит вдоль берега лагуны, (в) судоходный фарватер не пересекает акваторию лагуны, т.к. порт находится непосредственно у входа в лагуну.

ВЕТРОВОЕ ВОЛНЕНИЕ И ТРАНСПОРТ МАТЕРИАЛА В ЭСТУАРНЫХ ЛАГУНАХ

Синева А.А., Чубаренко Б.В.

Учреждение Российской Академии Наук Институт Океанологии им.
П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва, Нахимовский Проспект д.36,
8(916)8039858, sinastasia@gmail.com

Sediment can enter the estuaries with rivers flow and then redistribute under the action of winds, waves and currents. Due to their motion we can separate sediments on suspended and bottom one. Many environments show that resuspension is the main origin of suspended particles in lagoons. Although transport rate of suspended particles is depended on morphometric and ground relief of reservoir. Estimation of volume rate of sediment transport can be done with Einstein–Brown bedload equation.

Знания о динамике осадочного материала важны не только в геоморфологии, седиментологии и инженерных науках, но и в биологии, экологии и биохимии [Yang et.al, 2004]. По своей физической природе эстуарии и заливы подобны накопительным резервуарам. В них в большом количестве накапливаются осадки, приносимые впадающими реками [Vito&Vanoni, 2006], в то время как волны и течения в основном определяют перераспределение этих осадков внутри водоема, а для берегов волны определяют и поступление осадочного вещества.

При движении все осадки можно условно разделить на два класса: донные, или влекомые, состоящие из наиболее крупных частиц (галыки, гравия, крупного песка), которые за все время перемещения не отрываются от дна, и взвешенные. Последние образуются мелкими частицами ила, песка, оторвавшимися от дна и находящимися во взвешенном состоянии.

В результате многочисленных измерений было выявлено, что взмучивание является основной причиной возникновения транспорта взвешенного материала [Jouon et.al., 2009]. Процесс взмучивания, в результате которого возникает поток взвешенных частиц, является результатом сложного физического взаимодействия между водной массой и слоем осадков. Ход процесса зависит от двух принципиальных условий: динамического влияния воды (волнение и течения) и физических свойств осадочного материала.

Влияние перечисленных факторов зависит от морфометрических характеристик лагуны и её подводного рельефа. Так, в открытых лагунах происходит наложение океанических волн и ветра, что значительно усиливает взмучивание. В закрытых лагунах, например в юго-восточной лагуне Новой Каледонии (рис. 1) проливы, соединяющие её с открытым океаном, относительно узкие в сравнении с протяжённостью ограничивающего её кораллового рифа. К тому же океанические волны оказываются значительно ослабленными из-за обрушения и трения о барьерный риф. Однако некоторые волны всё же проходят в лагуну через проливы. Интенсивность ветра в сочетании с полузакрытой формой бассейна этой лагуны являются причиной возникновения волнения и транспорта взвешенных осадков [Jouon et.al., 2009].

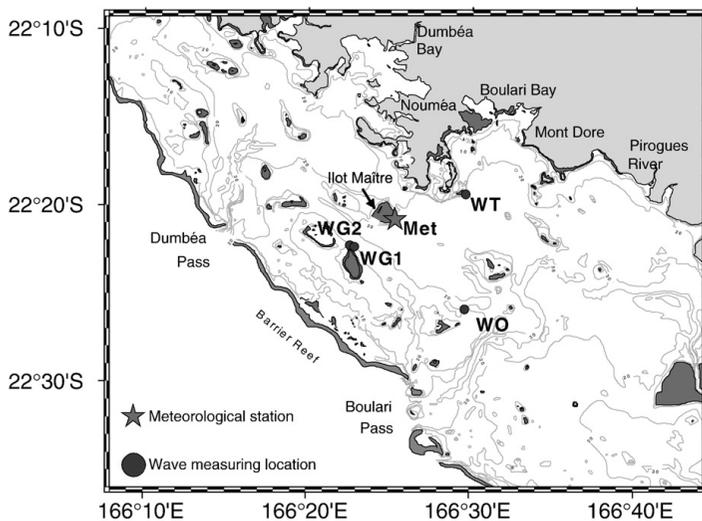


Рис.1 Юго-восточная лагуна Новой Каледонии

Для оценки донного транспорта в статье [Michael&Amos, 2001] предлагается использовать формулу Эйнштейна –Брауна:

$$q = 40W_s D \left(\frac{\rho}{(\rho_s - \rho)gD} \right)^3 U_*^5 |U_*|$$

,где q – объёмное отношение транспорта осадков на единицу длины дна, D – средний диаметр осадков, ρ и ρ_s – плотности воды и осадков соответственно, g – ускорение свободного падения, U_* - skin-friction shear velocity, принимаемая в данном случае

$$U_* = 0.8W_s;$$

W_s – скорость осаждения осадков диаметра D , вычисляемая по формуле:

$$W_s = \frac{\{-3\mu + [9\mu^2 + \rho(\rho_s - \rho)\left(\frac{gD^2}{4}\right)(0.0155 + 0.0992D)]\}^{0.5}}{\rho(0.0116 + 0.0744D)}$$

,где μ – динамическая вязкость воды, равная 1.08×10^{-3} Па*с.

Вислинский залив, эстуарная лагуна в Юго-восточной Балтике (Chubarenko&Margonski, 2008), является достаточно большим мелководным водоемом (средняя глубина 2.7 м, максимальная – 5.2 м, линейные размеры порядка 90 x 10 км), чтобы в нем были все условия для активнейшего ветроволнового взмучивания донных осадков [Chechko&Blazhchichin, 2002]. Наиболее распространёнными в осадках являются мелкий алеврит, покрывающий около 45% дна залива, и пески различного размера, которые располжены в мелководной прибрежной полосе вдоль берегов лагуны и в непосредственной близости от пролива, соединяющего лагуну с морем [Chechko&Blazhchichin, 2002]. Средний диаметр осадочного материала составляет $D=0.3$ мм, а плотности воды и осадков соответственно $\rho=1028$ кг/м³; $\rho_s=2650$ кг/м³. Опираясь на эти данные по была получена оценка для транспорта материала на единицу длины дна $q=1.6 \times 10^{-10}$ м²/с. Расчёты были сделаны при условиях одновременного присутствия и ветрового волнения и донных течений. Скорость ветра при этом составляла 5-8 м/с.

Литература:

Chechko, V., Blazhchichin, A. Bottom sediments of the Vistula lagoon of the Baltic sea.// Baltica, Vol. 15.- 2002.- Pp. 13-22

Chubarenko, B., Margonski, P. The Vistula Lagoon. [In] U. Schiewer (ed.) Ecology of Baltic Coastal Waters. Ecological Studies. 197. Springer-Verlag, 2008. Pp. 167-195.

Jouon, A., Lefebvre, J.P., Douillet, P., Ouillon, S., Schmied, L. Wind wave measurements and modelling in a fetch-limited semi-enclosed lagoon. // Coastal Engineering.- Vol. 56.- 2009.- Pp. 599–608.

Michael, Z. Li, Amos C. L. SEDTRANS96: the upgraded and better calibrated sediment-transport model for continental shelves.// Computers & Geosciences.- Vol. 27.- 2001.- Pp. 619–645.

Vanoni V.A. Sedimentation engineering. / American Society of Civil Engineers. Task Committee for the Preparation of the Manual on Sedimentation.- V. 402.- 2006.

Yang, S. L., Zhang, J., Zhu, J. Response of suspended sediment concentration to tidal dynamics at a site inside the mouth of an inlet: Jiaozhou bay (China).// Hydrology and Earth System Science.- № 8(2).- 2004.- Pp. 170-182

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Амбросимов А.К. 216,219,223

Ананьев Р.А. 143

Андерс Тенгберг 84

Архипкин В.С. 245

Б

Башилов И.П. 9

Беленький В.Н. 114

Березуцкий А.В. 211

Бондаренко А.Л. 240, 245, 253

Борисов В.Е. 240, 253

Борисов Е.В. 245

Буланов В.А. 267, 275

В

Вельтищев В.В. 73

Водяная Е.Г. 63

Вортман М.И. 63

Г

Голдовский Б.И. 78

Гранков А.Г. 198

Гуляр С.А. 105

Гущин О.А. 232

Д

Демченко Н.Ю. 271

Дерновский В.Л. 194,196

Дмитревский Н.Н. 143

Дорохов П.В., 194, 196

Е

Евсюкова Е.Е. 271

Елкин А.В. 88

З

Завьялов И.Н. 259

Зайченко К.В. 156

Закиров А.В. 159

Зацепин А.Г. 110

Зубко Ю.Н. 9

И

Иванов В.Н. 110

Ильин И.А. 9

К

Карабашев Г.С. 95

Карабашева Э.И. 95

Ковалёв Э.П. 207

Коваленко Е.И. 207

Козлова О.И. 203

Корж А.О. 216, 223

Королёв В.С. 194, 196

Коротаев Г.К. 230

Корсков И.В. 267, 275

Л

Левченко В.Д. 9, 159

Левченко Д.Г. 159

Левченко О.В. 143

Леденев В.А. 131

Леденев В.В. 9

Либина Н.В. 216, 223

Лобковский Л.И. 9

Лободин И.Е. 156

М

Маркович И.И. 207

Мартынов М.В. 230

Машошин А.И. 155, 156

Мерклин Л.Р. 143

Мильшин А.А. 198

Мысливец И.В. 88

Мутовкин А.Д. 143

Н

Нерсесов Б.А. 146, 152

Низов С.С. 110

Никитин П.А. 84

Носов А.В. 131

О

Оленин А.Л. 34, 182

Островский А.Г. 110

П

Парамонов А.А. 131

Пименов Н.В. 191

Подымов О. И. 191

Попов П.Н. 267, 275

Р

Ратнер Ю.Б. 230

Римский-Корсаков Н.А. 131

Розман Б.Я. 88

Русак Ю.С. 131

Рыжиков Н.И. 203

С

Селифонова Ж.П. 191

Семеняк П.Л. 207
Скляр В.Е. 211, 213

Синева А.А. 282

Сихарулидзе Д.К. 279

Смирнов Г.В. 34, 114

Соловьев В.А. 110

Соловьева О.Б. 155

Стонт Ж.И. 219, 232

Стороженко А.В. 267, 275

Сычев В.А. 131

Суконкин С.Я. 9, 136

Суркова Г.В. 253

Т

Тимашкевич Г.К. 110

Ф

Федотов Г.А. 194, 196

Фендриков А.Н. 114

Филиппов. Ю.Г. 245

Х

Хони Дж. 63

Ц

Цибульский А.Л. 110

Ч

Часовников В.К. 191

Чубаренко И.П. 203, 236,271,

Чубаренко Н.Б. 203, 236

Чубаренко Б.В. 279, 282

Ш

Шаповалов И.С. 34, 167, 182

Швоев Д.А. 110

Шерстов Е.А. 88

Щ

Щевьев В.А. 227, 263

Шука С.А. 236

Я

Якубов Ш.Х. 219

Якушев Е.В. 191

Ясакова О.Н. 191

