

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. Ширшова РАН
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МГТУ им. Н.Э.Баумана**

XV ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ» (МСОИ-2017)

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том II

МОСКВА 2017

УДК 551.46.07
ББК 26.221, М 34

**Современные методы и средства океанологических исследований:
Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции
«МСОИ-2017». Том II. – М., 2017. – 369 с.
ISBN**

Настоящее издание содержит материалы конференции МСОИ-2017. В сборнике представлены доклады ученых-океанологов, инженеров, аспирантов и студентов, посвященные созданию и эксплуатации технических средств и методов исследования и освоения Мирового океана.

В томе II рассмотрены методы оперативной океанологии, актуальные вопросы экологии Мирового океана, подводные аппараты и роботы, приборная элементная база, а также современные информационные технологии изучения океанов и морей.

This publication contains the materials of MCOI-2017 conference. The reports of scientists-oceanographers, engineers and students included in this edition are dedicated to the development and application of technical equipment and methods of exploring the World Ocean.

Methods of operational Oceanography, current problems of the World Ocean ecology, underwater vehicles and robots, instrument equipment and actual information technology for the study of the oceans and seas are considered in volume II.

Конференция проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 17-05-20083), Российской Академии наук, Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, МГТУ им.Н.Э.Баумана.

Составители сборника: д.т.н. Римский-Корсаков Н.А.,
к.т.н. Зарецкий А.В.

Все доклады публикуются в авторской редакции.

НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ МСОИ-2017

- | | | |
|----|------------------------------|---|
| 1 | Римский-Корсаков Н.А. | д.т.н., заместитель директора по морской технике ИО РАН, председатель |
| 2 | Нигматулин Р.И. | академик РАН, директор ИО РАН, сопредседатель |
| 3 | Смирнов Г.В. | академик РАН, зав. лабораторией ИО РАН, сопредседатель |
| 4 | Лобковский Л.И. | заместитель директора ИО РАН, чл.-корр. РАН |
| 5 | Завьялов П.О. | заместитель директора ИО РАН, чл.-корр. РАН |
| 6 | Флинт М.В. | заместитель директора ИО РАН, чл.-корр. РАН |
| 7 | Алексеев А.В. | чл.-корр.РАН, гл.н.с. ИО РАН |
| 8 | Жмур В.В. | д.ф.-м.н., нач. управления РФФИ |
| 9 | Вельтищев В.В. | д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э.Баумана |
| 10 | Зарецкий А.В. | к.т.н., вед.н.с., ИО РАН, ученый секретарь |
| 11 | Вялышев А.И. | д.ф.-м.н, главный научный сотр. ВНИИ ГОЧС МЧС РФ |
| 12 | Сагалевиц А.М. | д.т.н., зав. лаб. ИО РАН, Герой России |
| 13 | Мотыжѳв С.В. | д.т.н., Морской гидрофизический институт, Севастополь |
| 14 | Добролюбов С.А. | чл.-корр. РАН, декан географического факультета МГУ |
| 15 | Нересов Б.А. | д.т.н., гл.н.с., ИО РАН |
| 16 | Вязилов Е.Д. | д.т.н., зав. лаб. ЦОД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидрометцентра, Обнинск |
| 17 | Суконкин С.Я. | директор ОКБ ОТ РАН |

ОРГКОМИТЕТ МСОИ-2017

- | | | |
|---|------------------------------|--|
| 1 | Соков А.В. | председатель, д.г.н.
врио директора ИО РАН |
| 2 | Римский-Корсаков Н.А. | сопредседатель, д.т.н.,
зам. директора ИО РАН |
| 3 | Вельтищев В.В. | сопредседатель д.т.н.,
зав. каф. МГТУ им. Н.Э.Баумана |
| 4 | Островский А.Г. | сопредседатель, к.г.н.,
вед.н.с. ИО РАН |
| 5 | Зарецкий А.В. | ученый секретарь, к.т.н.,
вед.н.с. ИО РАН |

Члены оргкомитета:

- | | | |
|----|-------------------------|--|
| 6 | Корчагин Н.Н. | д.ф.-м.н., гл.н.с. ИО РАН |
| 7 | Егоров А.В. | к.г.-м.н., зав.лабораторией
ИО РАН |
| 8 | Свиридов С.А. | зав. отделом инф. технологий ИО
РАН |
| 9 | Метальников А.А. | ст.н.с, к.ф.-м.н. ИО РАН |
| 10 | Смирнов А.В. | к.т.н., ученый секретарь НИИСМ
МГТУ им. Н.Э.Баумана |
| 11 | Карабашева Э.И. | научный сотрудник ИО РАН |
| 12 | Тихонова Н.Ф. | секретарь конференции |

Координационная рабочая группа:

Науч. сотр. Пронин А.А., вед. инж. Водяная Е.Г., ст. инж. Ёлкина М.М., вед. инж. Соколов А.А., вед. инж. Молчанов Б.В., Куликова Т.А., вед. инж. Марин В.М., инж. Белевитнев Я.И.

ОГЛАВЛЕНИЕ

III. ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ

Мониторинг и исследование состояния прибрежной зоны моря на постоянно действующем полигоне <i>Зацепин А.Г., Арашкевич Е.Г., Баранов В.И., Куклев С.Б., Кочетов О.Ю., Подымов О.И., Островский А.Г., Часовников В.К. ...</i>	15
Станция автоматического зондирования водной толщи с системой оперативной передачи данных измерений <i>Островский А.Г., Зацепин А.Г., Леденев В.В., Швоев Д.А., Кочетов О.Ю., Макаров К.Е., Мысливец И.В.</i>	19
Адаптивные системы оперативной океанографии как один из инструментов информационной робототехники <i>Мотыжев С.В., Коротаев Г.К., Лунев Е.Г., Ратнер Ю.Б., Зацепин А.Г., Островский А.Г.</i>	23
Использование морских беспилотников повышенной автономности на базе ВИЭ для оперативной океанологии <i>Горлов А.А., Римский-Корсаков А.А.</i>	26
Возможности и перспективы развития оперативной океанологии в России <i>Коротаев Г.К.</i>	30
Исследования гидрофизических процессов методом долговременных полигонов <i>Мельников В.А., Зацепин А.Г., Пиотух В.Б.</i>	34
Исследования гидрофизических процессов на Черноморском полигоне ИО РАН методами математического моделирования <i>Куклев С.Б., Дивинский Б.В., Зацепин А.Г.</i>	38
Методические вопросы дистанционного определения динамических характеристик морской поверхности с помощью однолучевого коротковолнового доплеровского радиолокатора <i>Горбацкий В.В., Дудко Д.И., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Сабинин К.Д., Шпилёв Н.Н.</i>	41
Инструментальные средства биофизического мониторинга Мирового океана <i>Чепыженко А.И., Чепыженко А.А.</i>	45

Опыт использования метода термокомпенсации для автономных регистраторов сигналов <i>Носов А.В., Руссак Ю.С., Тихонова Н.Ф., Юрицын В.В.</i>	49
Непрерывные измерения показателя ослабления света морской водой на ходу судна – новые возможности использования прозрачномера ПУМ-А <i>Артемов В.А., Григорьев А.В., Глуховец Д.И.</i>	55
Оперативные гидрометеорологические прогнозы на неарктических морях России <i>Нестеров Е.С.</i>	59
Метод оперативного определения концентрации минеральной взвеси в морской воде по спектру показателя ослабления направленного света <i>Корчемкина Е.Н., Латушкин А.А., Мартынов О.В.</i>	61
Представления о системе оперативного мониторинга прибрежных районов океана с использованием коротковолновой радиолокации <i>Коваленко В.В., Зенин В.М.</i>	63
Опыт использования ADCP для оперативного контроля состояния водной среды в прибрежной зоне моря <i>Морозов А.Н., Кузнецов А.С., Маньковская Е.В.</i>	71
Новая версия сигма-модели океана ИВМ РАН для воспроизведения циркуляции Мирового океана и её изменчивости <i>Гусев А.В., Фомин В.В., Дианский Н.А.</i>	76
Синоптические вихри в Черном море по спутниковым данным и результатам численного моделирования <i>Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И., Багаев А.В., Сендеров М.В., Пузина О.С.</i>	78
Воспроизведение экстремальных нагонов Азовского моря с помощью системы оперативного моделирования <i>Фомин В.В., Дианский Н.А.</i>	82
Оперативное измерение основных параметров качества воды в приповерхностном слое моря с помощью портативного ультрафиолетового флуоресцентного лидара УФЛ-9 <i>Пелевин В.В., Осокина В.А.</i>	84
Использование арго-модели исследования глобального океана (амиго) для решения задач диагноза и мониторинга морской среды <i>Лебедев К.В.</i>	88

Исследование пространственных характеристик мезомасштабных вихрей Черного моря по результатам автоматической идентификации <i>Сендеров М.В., Мизюк А.И., Кубряков А.А.</i>	92
Состояние и перспективы организации морских исследований в арктических морях России <i>Гогоберидзе Г.Г., Казеев И.В., Заболотников Г.В.</i>	96
Непрерывные дат наблюдения в окраинных морях северо-западной части Тихого океана – необходимость продолжения и развития <i>Кантаков Г.А.</i>	100
Результаты мониторинга структуры и динамики вод северо-восточной части Черного моря в рамках задач оперативной океанологии <i>Григорьев А.В., Зацепин А.Г., Кубряков А.И., Шаповал К.О.</i>	103
Система измерения волнения при помощи ультразвукового дальномера <i>Рахман А.О., Штремель М.Н.</i>	107
Изменчивость переносов массы и тепла в индийском секторе Южного океана в 2005–2014 гг. по данным арго и численного моделирования <i>Лебедев К.В., Тараканов Р.Ю.</i>	111
Современные проблемы океанографических наблюдений на вековом разрезе «Кольский меридиан» <i>Карсаков А.Л., Титов О.В.</i>	115

IV. ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТЫ, ПРИБОРНАЯ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

Роль подводных аппаратов в освоении глубин океана <i>Сагалевиц А.М.</i>	119
Подводный гидропривод на морской воде <i>Вельтищев В.В.</i>	130
Концептуальный облик судна для спасения экипажа аварийной подводной лодки в Арктике <i>Овчинников А.В., Сурма В.А., Гапанюк М.В.</i>	134
Перспективный проект долговременной автономной морской обсерватории на основе стабилизированного буя <i>Бадулин С.В., Вершинин В.В., Зацепин А.Г., Ивонин Д.В., Левченко Д.Г., Островский А.Г.</i>	137

Некоторые вопросы «философии» подводной робототехники <i>Алексеев Ю.К.</i>	141
Водолазные и барокамерные технологии подводных исследований <i>Яхонтов Б.О.</i>	149
Возможные методы создания бароустойчивой электроники <i>Стрельцов А.Я.</i>	153
Возможные методы создания перспективных компактных источников энергии <i>Стрельцов А.Я.</i>	154
Метод снижения скорости коррозии и образования отложений в морской и пресной воде <i>Васильев Н.В.</i>	155
Об опыте использование методов авиазондирования при осуществлении комплексных исследований на акватории, прилегающей к архипелагу Шпицберген <i>Забавников В.Б.</i>	158
Технология передачи глубоководного пнала на аварийную подводную лодку с использованием ТНПА <i>Овчинников А.В., Сурма В.А., Гизатуллин Р.С.</i>	162
Многоэлектродные системы для подводной локальной связи, ориентации и биомониторинга <i>Сюз Вэй, Ольшанский В.М., Волков С.В., Эльяшев Д.Э.</i>	166
Применение интеллектуальных алгоритмов обработки данных для расчета ледовых нагрузок на инженерно-технические сооружения <i>Крамарь В.А., Альчаков В.В., Душко В.Р.</i>	170
Исследование динамики, тягово-цепных свойств и проходимости подводного шагающего аппарата МАК-1 <i>Чернышев В.В.</i>	174
Исследование «компрессионного эффекта», возникающего при смене стоп шагающего движителя на подводных грунтах <i>Арыканцев В.В., Чернышев В.В.</i>	178
Малогабаритный автономный высокостабильный источник света для проверки работоспособности экспедиционных измерителей яркости <i>Григорьев А.В., Храпко А.Н.</i>	182

Оценка пригодности методов контроля параметров гипербарической газовой среды <i>Яхонтов Б.О.</i>	186
Принципы построения и функционирования систем жизнеобеспечения водолазных комплексов <i>Яхонтов Б.О.</i>	190
Применение программного пакета «Blender Game Engine» для разработки тренажера телеуправляемого подводного аппарата <i>Гамазов Н.И., Гамазов И.Н., Новиков В.И.</i>	194
Оценка запасов крабов в Чукотском море и в заливе Петра Великого Японского моря с помощью телеуправляемых подводных аппаратов <i>Одинцов В.С.</i>	198
Направления и способы гидродинамического совершенствования двигательных комплексов подводных аппаратов и роботов <i>Яковлев А.Ю., Маринич Н.В., Шевцов С.П.</i>	202
Бергозащита системой понтонов <i>Шоларь С.А., Душко В.Р.</i>	206
Макет системы широкополосной связи для гидроакустического канала передачи данных <i>Токмачев Д.А., Ченский А.Г.</i>	208
Контроль движения и поиск местоположения необитаемого подводного аппарата судном обеспечения <i>Комаров В.С.</i>	212
Коллекции океанологической техники в музее Мирового океана <i>Стрюк В.Л.</i>	215
Анализ параметров манипулятора для технологических операций под водой <i>Данилов А.В., Кропотов А.Н.</i>	216
Особенности реализации микропроцессорных систем управления высокоточных подводных манипуляторов <i>Данилов А.В., Кропотов А.Н.</i>	220
Многоцелевое универсальное надводное роботизированное судно-носитель <i>Ченский Д.А., Григорьев К.А., Ченский А.Г.</i>	224

Автономный морской smart профилограф <i>Краснодубец Л.А.</i>	226
Применение вентильного погружного электропривода в разработках ИПМТ ДВО РАН <i>Волков Я.Ю., Нечаев В.Д., Михайлов Д.Н., Стороженко В.А.</i>	230
Опыт разработки кабельного барабана с программируемым укладчиком для необитаемых подводных аппаратов с волоконно- оптическим каналом связи <i>Стороженко В.А., Михайлов Д.Н., Гой В.А., Нечаев В.Д., Волков Я.Ю.</i>	234
Обзор систем контроля и управления литий-ионными аккумуляторными батареями для необитаемых подводных аппаратов <i>Волков Я.Ю., Михайлов Д.Н., Нечаев В.Д., Стороженко В.А.</i>	238
Области применения мультикоптеров в океанологических исследованиях <i>Анисимов И.М., Белевитнев Я.И.</i>	242
Опыт разработки и создания подводных аппаратов с гидродинамическими принципами движения <i>Татаренко Е.И., Смирнов В.Д., Рубцов М.Г., Мильто А.Н.</i>	243
Математическая модель прямолинейного и поворотного движений телеуправляемого необитаемого подводного аппарата с гибридным движительным комплексом <i>Гладкова О.И., Вельтищев В.В., Егоров С.А.</i>	247
Сравнительный анализ методов управления движителем подводного аппарата на основе компьютерного моделирования <i>Костенко В.В., Михайлов Д.Н., Толстоногов А.Ю.</i>	250
Оценка возможности применения светодиодов в качестве источника импульсного света для фотосистемы подводного аппарата <i>Михайлов Д.Н., Бабаев Р.А., Воронцов А.В.</i>	254
Метод решения задачи двух тел с гибкой связью с помощью многозвенной аппроксимации для проектирования объектов океанотехники <i>Зарецкий А.В.</i>	257
О создании компьютерных моделей подводных робототехнических систем <i>Зарецкий А.В.</i>	260

Усовершенствование пакета прикладных программ «Подводная механика» в части расчета статики тросовых систем <i>Зарецкий А.В.</i>	267
Буксируемый необитаемый подводный аппарат видеомодуль для осмотровых и поисковых работ <i>Анисимов И.М., Белевитнев Я.И.</i>	270
Автономный дрейфующий профилирующий океанологический буй <i>Островский А.Г., Леденев В.В., Швоев Д.А.</i>	272
Новые аспекты применения параметрических профилографов при зондировании донных осадков под углами, близкими к критическим <i>Душенин Ю.В.</i>	276
Конструирование нового поколения телеуправляемых подводных аппаратов-роботов «ПРО-2» <i>Артамонова А.В., Елкин А.В., Розман Б.Я.</i>	279
Расчет гидродинамических коэффициентов телеуправляемого подводного аппарата методом макетирования <i>Васильчиков А.А., Елкин А.В., Розман Б.Я., Мысливец И.В.</i>	283

V. ЭКОЛОГИЯ ОКЕАНА

Многофункциональная система он-лайн мониторинга подводной обстановки <i>Баранов В.И., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Очередник В.В., Зинченко А.Б.</i>	287
Онлайн-представление параметров, определяющих первичную продуктивность Карского моря <i>Мошаров С.А., Демидов А.Б., Метальников А.А., Шеберстов С.В.</i> ..	289
Применение геликайта для исследования соловецких белух <i>Беликов Р.А., Прасолова Е.А., Краснова В.В.</i>	292
Применение высокоразрешающего рентгенофлуоресцентного анализа для проведения исследований в области экологии океана <i>Кириленко А.С.</i>	296
Распределение зоопланктона в азербайджанском секторе Среднего Каспия <i>Джалилов А.Г., Алекперов И.Х.</i>	298

Изменение свойств пространственно однородной математической модели четырехкомпонентной ($N - P - Z - D$) планктонной пищевой цепи в зависимости от выбора структуры модели <i>Подгорный К.А.</i>	302
Подходы к параметризации влияния мелкомасштабного турбулентного обмена на процесс потребления биогенных элементов фитопланктоном и интенсивность выедания фитопланктона и детрита зоопланктоном <i>Подгорный К.А.</i>	306
Моделирование первичной продукции Карского моря <i>Демидов А.Б.</i>	310
Опыт применения метода определения доли активной фракции бактериопланктона в арктических морях <i>Мошарова И.В.</i>	314
Перекисное окисление липидов – как индикатор уровня воздействия на гидробионтов экологически неблагоприятной среды <i>Галактионова М.Л., Гераскин П.П., Куркембаева Б.М.</i>	317
Экотоксикологический метод оценки устойчивости планктонных сообществ <i>Корсак М.Н., Мошаров С.А., Юсупова К.О.</i>	321
Применение биогеохимической модели в рамках экологического мониторинга Севастопольской бухты <i>Слепчук К.А., Хмара Т.В.</i>	325
Теоретическое обоснование формирования локальных экосистем на искусственных субстратах и их использование в мониторинговых исследованиях биоты Каспийского моря <i>Ушивцев В.Б.</i>	329
Применение мультикоптеров для исследования летних прибрежных концентраций белух <i>Беликов Р.А., Литовка Д.И., Прасолова Е.А., Краснова В.В.</i>	331
Региональный подход к оценке показателей качества вод и продуктивности морских экосистем на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса <i>Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Кривенко О.В., Ефимова Т.В., Моисеева Н.А.</i>	336

Сравнение измеренных и расчетных показателей биомасс диатомового фитопланктона в разных районах Белого моря <i>Колтовская Е.В., Леонов А.В.</i>	338
--	-----

VI. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Мониторинг производства наблюдений и обработки гидрометеорологических данных <i>Вязилов Е.Д., Мельников Д.А.</i>	347
Вклад России в международный обмен океанографической информацией <i>Михеев А.С., Воронцов А.А., Вязилов Е.Д.</i>	351
Система сбора и обработки гидроакустической информации	355
<i>Руссак Ю.С., Нафиков В.М., Тихонова Н.Ф.</i>	355
Опыт применения автономных дрейфтеров в системе наблюдений ледовых полей и верхнего слоя океана в Арктике <i>Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П.</i>	357
Создание отказоустойчивой информационной системы института Океанологии на основе кластерной технологии <i>Свиридов С.А., Новиков Ю.В., Попов А.П., Поляков М.С.</i>	360
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	367

ДОКЛАДЫ

III. ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ

УДК 551.465

МОНИТОРИНГ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ МОРЯ НА ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕМ ПОЛИГОНЕ

**Зацепин А.Г.¹, Арашкевич Е.Г.¹, Баранов В.И.,² Куклев С.Б.²
Кочетов О.Ю.¹, Подымов О.И.², Островский А.Г.¹, Часовников В.К.²**

¹ *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, resty@mail.ru*

² *Южное отделение Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширинова РАН,
8(86141)2-80-69, 353467, Просторная, 1 г, Геленджик-7, Россия,
kuklev@ocean.ru*

The results of long-term observations and monitoring of the shelf-slope zone at the Black Sea SIO RAS research site near Gelendzhik are presented. The data is received through the use of autonomous measuring stations and means of operational data transmission.

С целью развития прибрежной черноморской наблюдательной системы в 2010–13 гг. в прибрежной зоне Черного моря в районе г. Геленджика на базе Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширинова РАН развернут постоянно действующий полигон, предназначенный для перманентного мониторинга состояния водной среды и биоты. Основу полигона составляют автономные закоренные и донные станции, измеряющие профили гидрофизических параметров с высоким пространственно-временным разрешением (рис. 1). Выполняются также регулярные судовые разрезы с комплексными исследованиями состояния морской экосистемы (рис. 2).

Получаемые данные используются для изучения масштабов и механизмов изменчивости морской экосистемы под влиянием антропогенных и естественных (в т. ч., климатических) воздействий, водообменных процессов в системе «шельф–глубоководный бассейн», а также многих других явлений физической, химической и биологической при-

роды. Данные регулярных контактных измерений востребованы для калибровки спутниковых измерений и верификации результатов численного моделирования циркуляции вод. Предлагается распространение методов и средств полигонного мониторинга прибрежной водной среды и биоты на другие сектора Черного моря с целью создания единой системы мониторинга прибрежной зоны Черного моря.

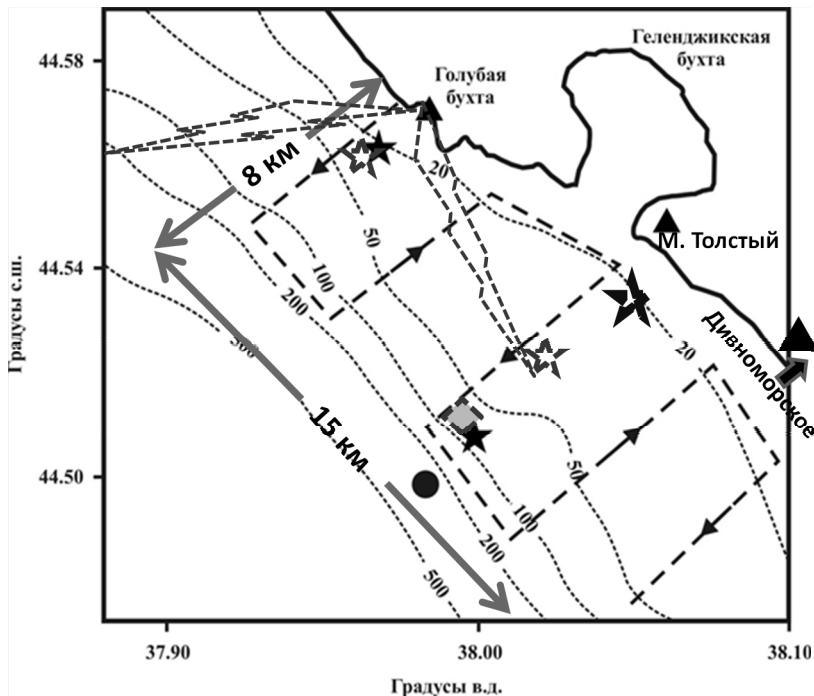


Рис. 1. Схема постоянно действующего полигона ИО РАН в Черном море в районе Геленджика

черный треугольник – метеостанции; **черные звезды** – станции в составе донного ADCP и заякоренной термоксы; **синяя звезда** – утраченная станция; **черный круг** – зонд-профилограф «Аквалог» на заякоренной буйковой станции; **красные звезды** – станции, установленные в 2016 г.; **красные молнии** – доплеровский КВ радар для измерения поверхностных течений на акватории полигона; **красный ромб** – планируемое место постановки метеорологического буя в апреле 2016 г.; **Пунктирная линия со стрелками** – галсы судна при проведении измерений скорости течения буксируемым за судном ADCP

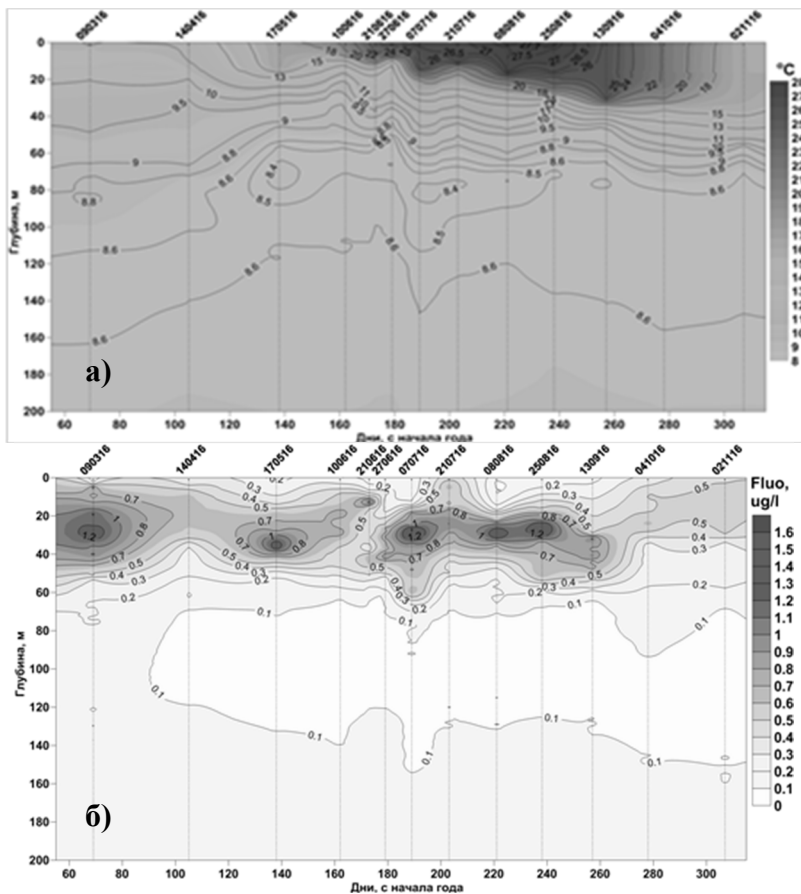


Рис. 2. Временной ход в 2016 г. температуры (а) и флуоресценции хлорофилла-«а» (б) на станции судового разреза с глубиной 500 м

Среди некоторых важных результатов, полученных на полигоне в последние годы, отметим следующие.

Круглогодичный комплексный судовый мониторинг состояния водной среды и биоты на поперечном берегу разреза позволил установить, что продолжается тренд потепления черноморской водной среды: температура Холодного промежуточного слоя (ХПС) третий год подряд превышает 8 °С. Уровень эвтрофикации вод продолжает снижаться, их химическое загрязнение редко превышает ПДК даже в бухтах, влияние

гребневиков вселенцев на зоопланктонное сообщество не прослеживается. Прибрежная морская экосистема в целом находится в удовлетворительном состоянии.

Уточнены оценки встречаемости субмезомасштабных вихрей на акватории полигона. Установлено, что эти вихри диаметром от 2 до 10 км формируются на шельфе, как в холодное, так и в теплое время года, при этом число циклонов и антициклонов приблизительно равно друг другу, а вероятность их обнаружения на полигоне при проведении площадных съемок приблизительно составляет 75%. Они вносят существенный вклад в кросшельфовый водообмен. Данные измерения поперечной берегу составляющей скорости течения показывают, что характерное время перемещения пассивного трассера от побережья до бровки шельфа и наоборот, составляет порядка двух суток. Вероятно, этот масштаб времени поперечного берегу водообмена типичен для узкого шельфа северо-восточной части Черного моря.

На основе данных синхронных измерений профилей температуры морской воды, ее плотности и скорости горизонтального течения, полученных в 2013–2014 гг. в северо-восточной части Черного моря при помощи заякоренного зонда-профилографа «Аквалог», выполнены оценки коэффициента вертикального турбулентного обмена (K_v) в черноморском пикно-халоклине. При этом, для расчета K_v предложена адаптированная к черноморским условиям параметризация типа Манка-Андерссона (1948), содержащая кубическую зависимость K_v от вертикального градиента скорости течения. Выявлена сильная перемежаемость интенсивности вертикального турбулентного обмена, обусловленная вариациями скорости вдольберегового течения. При относительно малой (27.33% от общего числа значений) длительности периодов сильного перемешивания ($K > 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$) по сравнению с периодами относительного покоя, вклад первых в обмен составляет 78%.

Проведены морские испытания макета океанологического дрейфующего зонда с изменяемой плавучестью – российского прототипа поплавка Арго, которые показали соответствие его характеристик тем, что заложены в конструкции зонда и представлены в ТЗ. Испытания будут продолжены в 2017 г.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №14-50-00095.

СТАНЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВОДНОЙ ТОЛЩИ С СИСТЕМОЙ ОПЕРАТИВНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

**Островский А.Г.¹, Зацепин А.Г.¹, Леденев В.В.², Швоев Д.А.¹,
Кочетов О.Ю.¹, Макаров К.Е.², Мысливец И.В.¹**

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

Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)1245983, osasha@ocean.ru

*²ОКБ океанологической техники РАН, ул. Летняя, 1, к. 2, 109387, г. Москва,
8(495)3502612, 8(495)3500329, okb@edboe.ru*

Preliminary results of R&D project for the shallow-water automatic mobile profiler (SWAMP) are presented. SWAMP is full-water-column observational platform for environmental monitoring and observations in seas and lakes. The winch-type tethered profiler has cylindrical body. The pressure proof container made of POM-C houses the followings: winch system motor drive, ARM processor-based microcontroller, data logger, radio/GSM communication modem with inbuilt GPS capability, pneumatic system with air pump and valves, and the 18650-type cell rechargeable power system. Profiler's exterior equipment includes the winch system drum, air bladder, sampling sensor suite with pressure gauge, and communication antenna suite. The key innovation of the SWAMP is its compact and light-weight winch system capable of handling the load up to 150 N. The air pump is used to inflate the air bladder at low pressures that allows for the profiler antenna to be raised well above the sea surface.

За последние 10–15 лет в России и за рубежом было разработано несколько профилирующих аппаратов лебедочного типа [1, 2] (см. также в Интернете информацию об аппарате Thetis фирмы WetLabs, входящей в компанию Sea-Bird Scientific, США, <http://wetlabs.com/thetis-profiler#>). Причем, производимые зарубежные аппараты в основном предназначены для мультidisциплинарных наблюдений, оснащены одновременно несколькими океанологическими датчиками и зондами и имеют большие габаритные размеры и массу, например, профилограф Thetis в диаметре почти 0.8 м и в длину 2.1 м, его масса в воздухе от 100 до 159 кг.

Российская разработка «Аквазонд» более компактная, – имеет диаметр около 0.3 м и длину около 1.8 м, но не нашла широкого применения.

Главная задача данной НИОКР заключается в создании малогабаритной, надежной и удобной роботизированной профилирующей системы, с ресурсом электробатарей для автономной работы в течение как минимум 1 месяца, которая позволяет: а) получать вертикальные профили характеристик водной среды от горизонта 100 м до поверхности моря, б) передавать оперативно данные измерений потребителю. Разрабатываемая нами станция автоматического зондирования водной толщи предназначена для контактных измерений в автоматическом режиме вертикальных распределений гидрофизических и биооптических параметров водной среды (например, солёности, температуры, давления, взмученности, флуоресценции хлорофилла-а) в заданной точке исследуемой акватории морского шельфа или внутреннего водоема. Также как в вышеуказанных образцах, станция оснащена лебедкой, причем верхний конец троса намотан на барабан лебедки, а нижний крепится к якорю, установленному на дне, или к притопленной плавучести.

Конструктивно станция состоит из нижеследующих частей:

- прочного корпуса (ПК),
- электромеханической лебедки (ЭМЛ),
- пневматической системы изменения плавучести (ПСИП),
- блока питания (БП),
- модуля электроники (МЭ),
- комплекта измерительных датчиков (КИД),
- модема и антенн радиосвязи (МАР).

ПК предназначен для размещения аппаратуры и защиты ее от воздействия внешней среды. ПК имеет цилиндрическую форму и выполнен из полиацетала ПОМ-С для обеспечения минимального веса и высокой коррозионной стойкости. Для надежной герметизации на крышках установлены по два стандартных резиновых уплотнительных кольца.

ЭМЛ предназначена для обеспечения режима вертикального профилирования буя за счет разматывания и сматывания лески, соединенной с донным якорем. Лебедка состоит из неподвижной катушки, вмещающей до 100 м высокопрочной лески диаметром 0,8–1,5мм. Катушка установлена на наружной поверхности нижней крышки ПК и зафиксирована штифтом от проворота. Поверх катушки установлено подвижное водило, соединенное с валом электродвигателя, закрепленного на внутренней поверхности той же крышки. Вращение вала электродвигателя передается на водило, обеспечивающее наматывание и сматывание лески на катушку. Катушка и водило закрыты обтекаемой защитной крышкой,

имеющей керамическое выпускное кольцо для схода лески. Для уменьшения веса катушка и водило выполнены из полиацетата POM-C, но водило имеет накладку из нержавеющей стали для обеспечения скольжения и предотвращения износа лески. Вал, передающий вращение от электродвигателя на водило, выполнен из нержавеющей стали 12X18Н10Т, центрируется и опирается на двухрядный радиально-упорный шарикоподшипник и герметизируется керамическим сальником.

ПСИП предназначена для увеличения плавучести станции при выходе его на поверхность воды, что обеспечивает надежность радиосвязи за счет подъема радиоантенн над поверхностью. Система включает в себя пневматический электронасос, обратный клапан, электро-пневмоклапан и эластичный компенсатор. Все компоненты соединены между собой гибкими пневмошлангами. Электронасос обеспечивает перекачку воздуха из ПК в полость под компенсатором, установленным снаружи ПК, в верхней его части. Обратный клапан предотвращает сброс воздуха из полости компенсатора при отключении электронасоса. Электроклапан предназначен для сброса воздуха из компенсатора во внутреннюю полость ПК непосредственно перед погружением буя. Он установлен на магистрали после обратного клапана. Эластичный компенсатор предназначен для увеличения плавучести буя за счет своего расширения под действием воздуха, нагнетаемого электронасосом в его внутреннюю полость. Компенсатор выполнен из эластичной резиновой смеси и закреплен на корпусе с помощью хомутов. Внутренняя полость компенсатора соединена с магистралью через переходник, проходящий сквозь стенку цилиндрического корпуса.

БП предназначен для обеспечения питания всей аппаратуры АПОЛБ. БП включает общий модуль контроля и управления зарядкой и кассету, содержащую 8 модулей питания, каждый из которых представляет собой сборку из 6 аккумуляторов типоразмера 18650 и плату балансировки и контроля. Кассета установлена на верхнюю крышку ПК и закреплена резьбовыми шпильками.

МАР предназначен для обеспечения передачи накопленной информации и приема управляющих команд путем изменения режима работы станции по радиоканалу связи при всплытии станции на поверхность воды. Применены два типа радиоантенн:

- радиоантенна 433 МГц обеспечивает передачу и прием данных на большие расстояния,
- антенна Wi-Fi обеспечивает передачу данных и команд, перепрограммирование режимов и диагностики состояния систем буя на коротких дистанциях.

Радиоантенны расположены в верхней части (установлены на верхней крышке) буя и включаются при выходе станции на поверхность воды.

На верхней крышке ПК также установлены герморазъем и вакуумный порт. Герморазъем предназначен для считывания данных измерений КИД, перепрограммирования МЭ и зарядки БП после подъема станции. Вакуумный порт предназначен для проверки герметичности ПК при помощи вакуумного насоса после сборки и выравнивания давления в ПК перед всплытием.

Комплект программного обеспечения (ПО) состоит из:

- 1) встроенного ПО микроконтроллера управления исполнительными устройствами станции;
- 2) прикладного ПО для тестирования, программирования и обслуживания станции.

НИОКР «Разработка и создание опытного образца станции автоматического зондирования водной толщи до поверхности моря в 2015-2017 г.» выполняется в рамках проекта Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Мировой океан – многофазность, многомасштабность, многокомпонентность», направление – «Методы и технологии измерений в морях и океанах. Базы данных океанологических измерений».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Малашенко, А. Е.** Автономный циклирующий измеритель гидрофизических полей морской среды «Аквазонд» / В.В. Перунов, А.И. Чудаков // Датчики и системы. – 2013. – №11. – С. 61–67.

2. **Yagi, H.**, Measurements of vertical distributions of velocities and water qualities in Sendai sound in summer using a mobile oceanographical observation platform / S. Uehara, T. Nakayama, H. Ogawa, T. Nakamura, K. Adachi // Journal of Japan Society of Civil Engineers. – 2011. – Т. 67. – №2. – С. I_1011-I_1015.

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ КАК ОДИН ИЗ ИНСТРУМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

***Мотыжев С.В., *Коротаев Г.К., *Лунев Е.Г., *Ратнер Ю.Б.,
Зацепин А.Г., **Островский А.Г.

** Морской гидрофизический институт РАН,
ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, РФ,
+7(8692)54-04-50, marlin@marlin-yug.com*

*** Институт океанологии РАН им. П.П. Ширшова
Нахимовский проспект, дом 3, 117997, Москва, РФ.
8(499)1246392, zatsepin@ocean.ru*

Operational Oceanography is the modern tool for monitoring and forecasting of marine variability. The tool includes the observing networks and numerical simulation for prognosis. Adaptive Operational Oceanography means that network can be controlled by the model to change its capabilities, when fast variability takes place.

Оперативная океанография стала на сегодня основным инструментом глобального контроля и прогноза состояния морских акваторий. Цель ОО состоит в том, чтобы знать текущее значение гидрологических параметров в любой точке океана от поверхности до дна и обеспечить прогноз изменчивости этих параметров. Оперативная океанография включает наблюдательный блок контроля состояния среды и блок численного анализа и прогноза ее изменчивости. Современный наблюдательный блок включает около 8000 различных автономных измерительных платформ, спутниковые системы связи, десятки наземных станций приема и обработки спутниковых данных, с которых результаты измерений передаются в научные центры. Морские прогнозы основаны на численном расчете параметров океана с использованием современных высокопроизводительных компьютеров [1].

В современной системе инструментального контроля и численного прогноза поток информации перемещается в одном направлении от измерителей в центры прогнозов. Вмешаться в установленный порядок регулярных измерений невозможно, поскольку платформы работают

автономно в соответствии с заложенными программами. Между тем есть ряд явлений, для которых требуется адаптивный режим измерений. Например, к таким явлениям можно отнести быстро развивающиеся тропические ураганы и полярные циклоны, интенсивно воздействующие на морскую среду. Впервые попытка создания адаптивной наблюдательной сети была предпринята в 2005 г. совместно с американскими коллегами [2]. Дальнейшего развития работа не получила в связи с отсутствием двухсторонней спутниковой связи.

Другим примером могут быть наблюдения вблизи резких фронтальных разделов, где требуется повышенная разрешающая способность наблюдательной сети. Наконец, необходимость резкого повышения разрешающей способности наблюдательной сети может потребоваться при возмущении среды из-за появления посторонних объектов в контролируемом пространстве. В этих случаях желательно иметь возможность управлять режимом наблюдений в реальном масштабе времени, причем, иногда в глобальном масштабе.

Решение этих и других задач, связанных с управлением режимом наблюдений, станет возможным с созданием адаптивной оперативной океанографии (АОО) на основе новых двухсторонних систем спутниковой связи. В этом случае становится возможным оперативно изменять режимы измерений, например, такие как период и разрешение, подключать дополнительные датчики или находящиеся в «спящем режиме» платформы. Последний вариант применим для полярных регионов из-за сложности постановки новых платформ. Принятие решения о смене режимов работы наблюдательной сети может быть автоматизировано на основе анализа результатов численного моделирования посредством передачи управляющих сигналов на определенную группу платформ в соответствии с заложенными критериями. Возможно также внутреннее управление в сети, когда одна платформа, обнаружив аномальную изменчивость одного или нескольких параметров, берет на себя управление другими платформами. По мере перемещения контролируемого объекта роль лидера переходит к другим платформам. Возможно ручное управление, осуществляемого оператором, например на основе независимых наблюдений дистанционного зондирования.

Такая система будет работать самостоятельно, управляя режимами своей работы и формируя различные информационные потоки и управляющие сигналы без вмешательства человека. По таким формальным признакам как адаптация к кругу решаемых задач, программирование движений (информационных потоков), синтез системы управления и её программного обеспечения и т.д., АОО может быть отнесена к робото-

техническим системам, где вместо управления механизмами происходит управление информационными потоками.

Настоящее предложение базируется на длительном опыте работ по развитию национальной ОО в рамках международного сотрудничества, в ходе которого удалось занять лидирующие позиции в мире в области ОО, создать и запустить систему прогноза Черного моря и обеспечить экспорт различных автономных измерительных платформ во многие развитые страны [1-4].

В приложении даны формулировки, раскрывающие суть информационной робототехники и адаптивной оперативной океанографии.

Приложение

Предлагаемые формулировки и наименования

Информационная робототехника – фундаментальная и прикладная наука, занимающаяся разработкой принципов формирования, движения, усвоения и управления информационными потоками в распределенных автоматизированных информационно-измерительных системах оперативных наблюдений.

Адаптивная оперативная океанография (АОО) – фундаментальная и прикладная наука, занимающаяся разработкой управляемых измерительно-информационных сетей и численного моделирования для контроля и прогноза с повышенным разрешением изменчивости морских акваторий.

Цель АОО состоит в адаптивном мониторинге и получении адекватного математического описания текущего состояния контролируемых объектов, а также прогноза их изменчивости на ближайшую и среднюю перспективу для принятия необходимых управляющих решений.

АОО опирается на такие дисциплины, как электроника, механика, телемеханика, информатика, радиотехника, электротехника, численное моделирование.

Под управлением внутри АОО понимается решение комплекса задач, связанных с адаптацией информационных потоков к кругу решаемых задач, программированием движения потоков и синтезом систем управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Смирнов Г.В., Еремеев В.Н., Агеев М.Д., Коротаев Г.В., Ястребов В.С., Мотыжев С.В.** Океанология. Средства и методы океанологических исследований. // Москва: Наука, 2005. 795 с.

2. **Motyzhev S., Horton E., Lunev E., Kirichenko A., Tolstosheev A., Yachmenev.V.** New developments to progress the Smart Buoy idea. // –

2006.– Technological Developments and Applications of Data Buoys for Tsunami Monitoring, Hurricane and Storm Surge Prediction. –UNESCO DBCP CD ROM –Technical Document Series, – No.30.– P.1–8.

3. **Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В., Низов С.С., Пиотух В.Б., Соловьев В.А., Швоев Д.А., Цибульский А.Л., Куклев С.Б., Куклева О.Н, Москаленко Л.В., Подымов О.И., Баранов В.И., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кубряков А.А., Соловьев Д.М., Станичный С.В.** Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря. // ФАО. 2014. №1. С.16–29.

4. **Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьев В.А., Цибульский А.Л., Швоев Д.А.** Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции. // Океанология. 2013. Т.53. №2. С. 259–268.

УДК 551.46.077:629.584

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРСКИХ БЕСПИЛОТНИКОВ ПОВЫШЕННОЙ АВТОНОМНОСТИ НА БАЗЕ ВИЭ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ

Горлов А.А., Римский-Корсаков А.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский проспект, 36, тел/факс: (499) 124-79-87,
e-mail: oceangorlov@yahoo.com*

Renewable energy sources provide an opportunity to create unique marine unmanned underwater vehicles of the large autonomous for oceanological research. The report examines the various types of such AUVs and programs for their of practical use for operational oceanography.

Неограниченные ресурсы различных видов морской возобновляемой энергии, в сочетании с новейшими разработками в области измерительной техники, микроэлектроники, гидроакустики, технологий связи и программного обеспечения позволяют создавать новые уникальные автономные многофункциональные технические средства освоения Мирового океана долговременного срока действия, а также обеспечить

полную автоматизацию наблюдений, сбора и обработки информации для оперативной океанологии. Стоимость топлива для обеспечения плавания судна-носителя морского беспилотника очень высока, при этом работы только с одним АНПА могут продолжаться месяцами, что определяет значительные эксплуатационные расходы. Они будут многократно возрасти, если потребуется проведение работ десятками подводных аппаратов в различных акваториях. Поэтому повышение срока непрерывного действия (автономности) морских беспилотников на основе ВИЭ является важнейшей задачей инвестиционной привлекательности, направленной как на расширение возможностей, числа и типов самих беспилотников, так и различных программ их применения. Существенное повышение автономности АНПА может быть достигнуто двумя путями: за счет комбинированных ВИЭ, установленных непосредственно на борту аппарата, или же за счет его периодической автоматической подзарядки от автономной плавучей или донной станции с электроснабжением от океанских ВИЭ. В докладе рассматриваются различные типы поверхностных и подводных беспилотников повышенной автономности и проекты зарядных станций, а также приводятся примеры их практического использования для оперативной океанологии в режиме близком к «реальному времени» [1, 3]. Океанографическим институтом Скриппса создан беспилотник «SOLO-TREC», в котором питание измерительных датчиков, блоков электроники, связи и коммутации, систем движения и изменения плавучести обеспечивается за счет разницы температур на поверхности и в океанских глубинах при регулярных погружениях на глубину до 500 м. Для этого используется воскообразный материал с фазовым переходом, находящийся в десяти внешних трубках, размещенных на прочном корпусе АНПА. Когда аппарат всплывает, то при температуре около 18°C вещество плавится и его объем увеличивается примерно на 13%, а когда погружается – затвердевает и объем сокращается. Пульсирующее изменение объема материала создает переменное давление в гидравлической системе аппарата, обеспечивающее работу электрогенератора и подзарядку батареи. Тепловой глайдер «SLOCUM», разработанный институтом Океанографии Вудс-Холла (WHOI), способен погружаться на глубину 1.3 км и снова подниматься на поверхность через каждые 5 км, где с помощью спутниковой антенны, закрепленной в хвостовой части он получает корректировку курса, программы новых миссий, сообщает собранные данные и свое местоположение по GPS. Используя планирующий эффект с помощью крыльев, глайдер движется по пилообразной траектории без двигательной системы. Блоки электроники, связи и управления АНПА получают

питание от бортовых аккумуляторов, а тепловая энергия океана используется для его передвижения за счёт изменения дифферента и плавучести. Глайдер этого типа совершил в 2009 году автономное плавание через Атлантический океан за 221 дней. Проект разработанного в России беспилотника с солнечной энергетикой лёг в основу создания в США институтом AUSI (Autonomous Undersea Systems Institute) целой серии подобных аппаратов типа SAUV, разработаны программы совместного использования нескольких АНПА для выполнения специальных задач океанологических исследований. Компания Eco Marine Power разработала поверхностный АНПА «Aquarius», оснащенный солнечными панелями для зарядки бортовых аккумуляторов. Перемещение аппарата обеспечивается электрическими двигателями. На АНПА «Aquarius» установлен блок датчиков, которые собирают данные об окружающей водной и воздушной среде. Вся полученная информация может быть передана на берег по каналам связи.

Компания «Liquid Robotics» (США) создала волновой беспилотник «Wave Glider». Волновые колебания существенно уменьшается с глубиной. Именно этот эффект заложен в конструкцию АНПА, состоящего из поплавка на поверхности, соединенного кабелем с самим глайдером, скользящим на глубине около 7 м. Шесть поперечных крыльев, закреплённых шарнирно на подводном глайдере, обеспечивают тяговую силу аппарата независимо от направления волнения. Глайдер развивает скорость до 2 узлов. В поплавке размещены два герметичных блока с электроникой. Сверху каждого блока на поверхности поплавок установлены две панели солнечных элементов со спутниковой антенной и короткой мачтой между ними для гидрометеорологических датчиков. Для измерительных блоков, бортовой электроники и связи используются ионно-литиевые аккумуляторы, подзаряжаемые от солнечных элементов. Программное обеспечение позволяет управлять любым АНПА при помощи оснащенного Интернетом компьютера. При выполнении в океане различных миссий эти беспилотники оказались очень надежными, проходя без остановки тысячи миль в течение полугода, иногда в очень суровых условиях при волнении более 7 м высотой и ветре более 50 узлов. Существенным недостатком волнового беспилотника является малая скорость движения, не позволяющая аппарату преодолевать сильные течения. Альтернативой явилось создание парусного АНПА «Saildrone», использующего энергию ветра как более эффективный способ проведения океанологических исследований и морских работ. Этот аппарат может двигаться со скоростью до 9,0 узлов. При этом он сохраняет устойчивость и управляемость даже при сильном шторме при углах крена

достигающих 75°. Для питания бортовой аппаратуры, системы навигации GPS и блока датчиков используются солнечные батареи. Созданы и другие беспилотники с управляемым автоматически парусом, например, АНПА «DataMaran» (США), обеспечивающий каждый день покрытие акватории более 5000 кв. км. Беспилотный катамаран C-Enduro способен находиться в море несколько месяцев, используя энергию ветра и солнца, перемещаясь со скоростью до 7,0 узлов. В докладе рассматривается проект использования волнового буя PowerBuoy (США) для энергообеспечения подводной зарядки аккумуляторов нескольких АНПА путём их последовательной автоматической состыковки с терминалом в подводном гараже [1, 3], а также проект волнового буя с МГД генератором (Китай) для бесконтактной подзарядки беспилотников. В последнее время за рубежом все чаще рассматривают возможность использования беспилотников повышенной автономности для создания распределённых сетей долговременных океанологических исследований (например, например создатель АНПА «DataMaran» компания AMS (США)). Следует отметить, что подобная, но более универсальная концепция автоматизированной автономной системы океанологических исследований (АСОИ ЭО) была предложена нами ещё в 2011 году [1, 2, 4]. Сегодня выполняются десятки уникальных научных проектов с использованием новейших средств океанской техники, которые можно рассматривать в качестве основных элементов АСОИ ЭО. После крупной аварии нефтяной платформы компании BP, четыре волновых глайдера «WaveGlider», стали проводить постоянный экологический мониторинг в Мексиканском заливе, контролируя многочисленными датчиками качество воды и содержание углеводов, а также поведение морских млекопитающих с помощью акустической аппаратуры. Подобные долговременные программы изучения рыб и океанских животных (дельфинов, китов и других) с использованием АНПА выполняют ученые Института океанографии Скриппса. Там же разработан проект глобального мониторинга землетрясений и предупреждения о цунами на базе глубоководной сети донных сейсмометров и постоянной ретрансляции данных от них, получаемых волновыми глайдерами с помощью своего гидроакустического модема, на береговую базу в режиме реального времени. Экологическая лаборатория (PMEL) при NOAA с помощью «WaveGlider» проводит постоянные измерения содержания углекислого газа водах Тихого океана на западе США, что важно для обеспечения там успешного выращивания устриц. Поверхностные и подводные АНПА также широко используются и в других долговременных океанских научных программах: экологического мониторинга; изучения ураганов непосредственно в их эпицентре (на-

пример, в «глазе» сильнейшего за последние 40 лет тайфуна Rammasun), разнообразных гидрофизических и акустических измерений температуры, солености, скорости течений, турбулентности и т.п. В докладе дается подробное описание проектов ИО РАН по разработке поверхностного беспилотника для оперативной океанологии и гидроакустических исследований, а также универсальной зарядной станции АНПА на базе стабилизированного буя с электроснабжением от преобразователей энергии волнения, течения, солнца и ветра [3].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Горлов А.А.** Возобновляемые источники энергии для повышения эффективности исследований Мирового океана // «Энергетический вестник» Международного центра устойчивого энергетического развития под эгидой ЮНЕСКО. – М., 2014. №18. С. 14–32.

2. **Горлов А.А.** Энергетика океана для океанологических исследований, Материалы XII международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований», ИО РАН, М., 2011.

3. **Горлов А.А.** Морские беспилотники повышенной автономности на базе ВИЭ». Сессия «Морские роботы уже завтра: на транспорте, в добыче и рыбном промысле» / РГ МариНет НТИ, V Международный Форум «Открытые инновации», Технопарк «Сколково». М., 26-28.10. 2016.

<https://forinnovations.ru/program/section/3860>

4. **Gorlov A.A., Rimskiy-Korsakov N. A.** System Long-Term Monitoring on Base Ocean Energy, Proceedings of the Twenty-sixth (2016) International Ocean and Polar Engineering Conference Rhodes, Greece, June 26–July 1, 2016. pp. 468–475.

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ В РОССИИ

Корогаев Г.К.

*ФГБУН Морской Гидрофизический Институт РАН
Капитанская 4 299011 Севастополь Россия
+7 (8692)547279 gkorotaev@gmail.com*

Paper discusses potential of the Russian scientific community to contribute to the development of operation oceanography. New

equipment development, pace remote sensing investigation and high resolution numerical modelling with data assimilation could provide the base of the national operational oceanography program

Внедрение технологий оперативных наблюдений, таких как дистанционное зондирование океана из космоса, использование со свободно дрейфующих и закоренных буев с передачей наблюдений через ИСЗ, значительно трансформировало современную океанологию. Использование современных компьютеров, численных моделей океанических процессов и методов ассимиляции наблюдений дает возможность создавать системы диагноза и прогноза морской среды, аналогичные метеорологическим системам прогноза погоды, позволяющие воспроизводить непрерывную эволюцию океанических полей. Развитие методов и средств оперативных наблюдений, создание численных моделей океанической циркуляции и экосистемы, а также создание систем производства морских прогнозов стало темой оперативной океанологии – нового направления океанологической науки [1].

Наблюдательная и прогностическая оперативные системы, отвечающие международным стандартам, созданы на Черном море консорциумом исследовательских организаций Европейского Союза и стран причерноморья. В частности, в МГИ РАН в рамках проектов седьмой рамочной программы «Мой Океан 1, 2» в полном соответствии со стандартами европейской Морской службы программы Коперникус создан и эксплуатируется центр анализа и прогноза черноморской динамики и экосистемы, работающий в реальном масштабе времени [2]. Продукты центра доступны свободно через интернет для всех заинтересованных пользователей. Опыт организации черноморского центра анализа и прогноза может быть полезен при создании национальной системы прогнозов Мирового океана, Арктического бассейна и морей России.

В России различными научными коллективами ведутся разработки отдельных направлений в области оперативной океанологии на высоком научном уровне. Это касается исследований в области дистанционных наблюдений океана с ИСЗ (в том числе и отечественных), работ по созданию современных аппаратных комплексов, необходимых для проведения оперативных наблюдений и реализации численных вихререшающих моделей циркуляции вод как отдельных морей, так и всего Мирового океана, отвечающих современному международному уровню.

Среди национальных программ дистанционного зондирования океана из Космоса наибольший интерес представляют радиолокационные наблюдения с синтезированием апертуры. Исследования показывают,

что радиолокатор с синтезированием апертуры (РСА), обладающий полным набором поляризаций, потенциально позволяет определять скорость поверхностных течений с высоким пространственным разрешением. Запуск такого локатора позволил бы существенно дополнить международную систему спутниковых наблюдений океана.

Поверхностные дрейфующие буи с термокосами отечественного изготовления уже востребованы международным сообществом. Существует перспектива создания буюв с термохалокосами, что позволит повысить точность анализов и прогнозов солености морской воды. Россия может также внести вклад в поддержание сети буюв – профилемеров, ориентируясь на собственные разработки. Особый интерес представляет развитие сети оперативных наблюдений в Арктике, где не работают апробированные в умеренных широтах подходы. Модификации дрейфующих буюв с термокосами для наблюдений с ледовых полей уже показали свою эффективность. Дальнейшая их модификация должна дать возможность контролировать процессы в верхнем слое моря, как в открытой воде, так и подо льдом. Необходимо также развитие зондирующих автономных комплексов для проведения измерений профилей температуры и солености подо льдом.

В России функционирует несколько моделей циркуляции Мирового океана, отвечающих требованиям оперативного прогноза. На основе архитектуры системы черноморских прогнозов может быть построен макет системы прогнозов состояния Мирового океана, соответствующий по своим характеристикам глобальному компоненту Морской службе программы Коперникус при условии ассимиляции всех свободно доступных наблюдений. Ввиду особенностей гидрологического режима Арктического бассейна, так же, как и в Морской службе программы Коперникус, целесообразно выделение специального модуля прогнозов в этом районе. Основным компонентом системы анализа и прогноза в Арктике должна стать региональная модель, встроенная двусторонним образом в глобальную модель Мирового океана. Она должна иметь достаточно высокое разрешение для успешного воспроизведения распространения теплых вод Атлантики, разрешения сложной структуры сезонного пикноклина, обусловленного прогревом, таянием льдов и речным стоком, воспроизведения синоптических процессов как в открытой части моря, так и подо льдом, а также локальных очагов субдукции холодных вод с морской поверхности. Глобальные прогнозы могут детализироваться в окраинных и внутренних морях России. В наиболее важных прибрежных регионах при этом целесообразно создание специализированных прибрежных наблюдательных модулей, по-

звolyающих контролировать более быструю и имеющую меньшие пространственные масштабы изменчивость гидрологических полей.

С целью развития исследований в области оперативной океанологии в России целесообразно создание целевой программы, ориентированной на создание макетов информационных и прогностических систем, а также экспериментальных образцов аппаратуры для оперативных наблюдений. Весьма важным аспектом является развитие исследований в области оптимизации наблюдательных систем, что позволило бы в дальнейшем создавать национальную наблюдательную сеть наиболее эффективным образом. Координация усилий отдельных групп в рамках целевой программы позволит поэтапно создать национальную систему оперативного мониторинга, диагноза и прогноза состояния океана, обеспечивающую потребности России в оперативной информации в Арктике, окраинных и внутренних морях и других стратегически важных районах Мирового океана.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Марчук Г.И., Патон Б.Е., Коротаев Г.К., Залесный В.Б.** Информационно – вычислительные технологии – новый этап развития оперативной океанографии / Марчук Г.И., Патон Б.Е., Коротаев Г.К., Залесный В.Б. Информационно – вычислительные технологии – новый этап развития оперативной океанографии Изв. РАН Физика Атмосферы и Океана. – 2013. – Т. 49 – №6. – С. 1 – 14.

2. **Коротаев Г.К., Ратнер Ю.Б., Иванчик М.В., Холод А.Л., Иванчик А.Л.** Оперативная система диагноза и прогноза состояния Черного моря / Коротаев Г.К., Ратнер Ю.Б., Иванчик М.В., Холод А.Л., Иванчик А.Л. // Оперативная система диагноза и прогноза состояния Черного моря Изв. РАН Физика Атмосферы и Океана. – 2016. – Т. 52 – №5. – С. 609–617.

ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ПОЛИГОНОВ

Мельников В.А., Зацепин А.Г., Пиотух В.Б.

*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Нахимовский
проспект, 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-83, vmelnikov@ocean.ru*

Shirshov Institute of Oceanology tradition is to perform World ocean research by means of hydro-physical polygons. Several famous polygon examples are considered. A new modern challenge can be met by means of long-term polygon network to explore interacting hydrodynamic processes, ranging from turbulence up to climatic variations.

Исследования гидрофизической системы океана во взаимодействии с атмосферой, глобально и на региональных акваториях, имеют большое фундаментальное и прикладное значение. В Институте океанологии РАН предпринимались значительные усилия для проведения экспедиционных измерений. На основе накопленного опыта экспедиционных работ, с учётом океанологических задач и доступных материальных ресурсов, в «доспутниковые» времена была выработана оптимальная схема проведения контактных измерений – метод гидрофизических полигонов. В результате были получены новые представления о разно-масштабных гидрофизических процессах, а метод полигонов стал традицией ИО РАН.

Большой интерес вызывают знаменитые полигоны, такие как: Аравийский Полигон-67, Атлантический Полигон-70 [1], ПолиМоде [2], Мезополигон-85 [3], Мегаполигон-87 [4]. Примеры ярких наблюдений на известных гидрофизических полигонах приводятся в докладе: 1 – вихри открытого океана, внутритермоклинная интрузионная линза Средиземноморских вод, крупномасштабные внутренние волны над Срединно-Атлантическим хребтом(эксперимент «Мезополигон» и др.,[5]); 2. – особенности структуры гидрологических полей над банкой Ампер [6]; 3 – сезонная эволюции полей в сложной многофронтальной зоне в области Продолжения Куроиси, в районе выполнения исследований по программе «Мегаполигон»; 4 – большие вариации гидрофизических параметров в Карском море на пространственно-временных масштабах,

начиная от 10 см и 10 сек., и существенная турбулизация прибрежных (мутных) вод по сравнению с мористыми (относительно прозрачными) водами, [7].

В эпоху спутниковой информации (PathFinder, AVISO, ARGO, ARGOS, ETOPO и др.), метод полигонов приобретает особое значение для интеркалибрации контактных и дистанционных измерителей. В условиях ограниченности материальных ресурсов, необходима концентрация усилий и средств и проведение систематических и долговременных измерений на одном полигоне. В задачи осуществления полигона входят: а) развертывание адекватной изучаемым пространственно-временным масштабам динамических процессов современной измерительной сети с использованием контактных и дистанционных зондирований; б) создание инфраструктуры для обеспечения сбора, передачи, хранения данных; в) применение современных гидродинамических моделей с усвоением данных измерений для интерполяции полевых параметров на требуемую сетку по времени и пространству.

Для этого, в рамках ряда проектов по исследованию системы атмосфера-море в северо-восточной части Черного моря, на базе Южного отделения Института океанологии РАН, развивается опытный морской Полигон, предназначенный для автоматизированного гидрометеорологического мониторинга. Измерительный комплекс включает в себя береговые метеостанции, датчики температуры и уровня моря на пирсе в Голубой бухте (г. Геленджик), три долговременные заякоренные станции (ADCP и термокоса на каждой), сканирующий зонд-профилограф «Аквалог», различные гидрофизические зонды, [8]. При анализе контактных данных используется спутниковая информация: температура поверхности моря (PathFinder), динамические аномалии уровня моря (AVISO), ветер на поверхности моря (QuikSCAT), а также массив высот рельефа земной поверхности и дна моря по модели «ETOPO-1».

Гидрофизические работы выполняются различными методами, включая: 1) анализ текущей спутниковой информации; 2) судовые разрезы с регулярным выполнением СТД зондирований; 3) пространственные съемки поля течений с помощью буксируемого доплеровского профилографа ADCP; 4) измерения по времени профилей параметров на заякоренных станциях в 4 точках; 5) статистический анализ временных рядов. Важной вспомогательной задачей является интеркалибрация измерителей.

К настоящему времени получено, что в регионе существенную роль играют разномасштабные самоподобные ветровые циклы, каждый из которых состоит из комбинации северо-восточного и юго-восточного

ветров, последовательно сменяющих друг друга, что соответствует попеременному влиянию отрогов Азорского и Сибирского антициклонов [9]. В долговременном и крупномасштабном планах десятилетние циклы поддерживают Основное черноморское течение. Ветровые циклы с временным масштабом порядка 20 суток вызывают апвеллинги с той же периодичностью. Связанная с апвеллингом перестройка структуры вод сопровождается интенсивной горизонтальной адвекцией. По энергии доминируют вдольбереговые течения, причём направление периодически меняется на обратное. При увеличении течений до пороговой величины отмечаются инерционные релаксационные колебания. Апвеллинги вызывают существенные вариации потоков импульса, явного и скрытого тепла, плавучести [10].

Параметры гидрометеорологической системы, имеет ярко выраженные свойства нестационарности реализаций по среднему значению, дисперсии и частотам. Пример перемежающихся колебаний уровня моря приводится на рис. 1. Обращает на себя внимание уменьшение периода доминирующих долговременных колебаний с 7 до 4 лет. Амплитуды и ширина вэйвлет-пиков годовых и полугодовых колебаний также изменяются со временем.

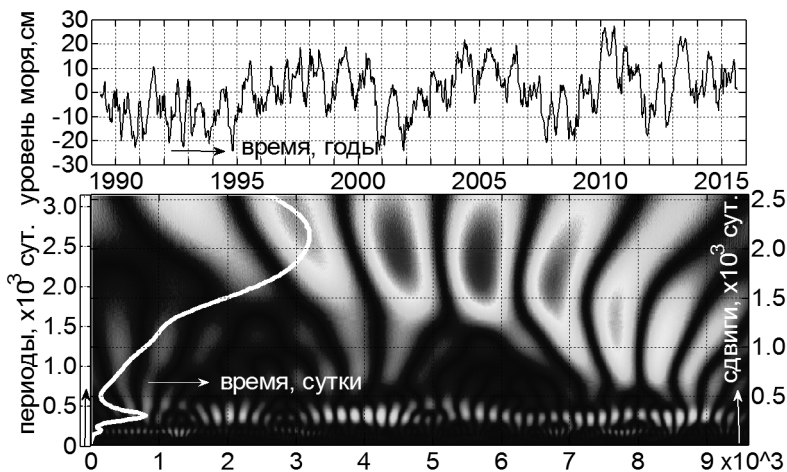


Рис.1. Вэйвлет-диаграмма колебаний уровня моря, по данным метеостанции г. Геленджика, в период 1989 – 2015 гг.

Работы выполнены при поддержке гранта РФФ №14-50-00095.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлантический гидрофизический полигон-70. Метеорологические и гидрофизические исследования // Отв. ред. В. Г. Корт и В. С. Самойленко. – М.: Наука, 1974. – 317 с.
2. Атлас ПОЛИМОДЕ // Под ред. А. Д. Вуриса, В.М. Каменковича, А.С. Моница. – Woods Hole, 1986. – Т.6077. – 375 с.
3. Гидрофизические исследования по программе «Мезополигон». Сб. науч. трудов, АН СССР, Институт океанологии им. П. П. Ширшова/ Отв. ред. В. Г. Корт. – М.: Наука, 1988. – 263 с.
4. Эксперимент «Мегаполигон»: Гидрофизические исследования в северо-западной части Тихого океана. Сборник статей. АН СССР, Институт океанологии им. П.П. Ширшова// Отв. ред. Ю. А. Иванов. М.: Наука, 1992. – 414 с.
5. **Корт В.Г.** 31-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» (основные научные результаты) /В.Г. Корт// Океанология. – 1981. – Т.21. – №1. – С. 183-187.
6. **Гамсахурдия Г.Р.** Пространственные особенности и временные изменения гидрологических полей в районе банки Ампер// Г.Р. Гамсахурдия, В.А. Мельников, А.Н. Парамонов // Океанологические исследования. – М.: Наука, 1990. – № 43. – С. 73–82.
7. **Архипов В.В.** Особенности разномасштабных гидрофизических процессов в Карском море / В.В.Архипов, В.А.Мельников, А.С. Цвездинский // Одиннадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – 2013. – С. 204.
8. **Зацепин А.Г. и др.** Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой части Черного моря/ А.Г. Зацепин и др.// Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2014. – Т.50. – №1. – С.16–29.
9. **Мельников В.А.** Особенности разномасштабных вариаций метеоэлементов /В.А.Мельников, Л.В. Москаленко, Н.И. Кузеванова // Международная конференция памяти академика А.М. Обухова «Турбулентность, динамика атмосферы и климата». – М.: ГЕОС, 2013. – С.74.
10. **Melnikov V.A.** Multiscale wind cycles and current pulses at the Black Sea eastern boundary/V.A. Melnikov, L.V. Moskalenko, V.B. Piotoukh, A.G. Zatsepin // Geophysical Research Abstracts. – 2015. – Vol.17. – EGU General Assembly, Vienna, Austria. – EGU2015-7184-1.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА
ЧЕРНОМОРСКОМ ПОЛИГОНЕ ИО РАН МЕТОДАМИ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Куклев С.Б.¹, Дивинский Б.В.¹, Зацепин А.Г.²

*¹Южное отделение Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
ул. Просторная, 1Г, 353467, г. Геленджик 8(86141) 2-80-69,
kuklev@ocean.ru*

*²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
zatsepin@ocean.ru*

The study results at the Black Sea hydrophysical testing site of
IO RAS with application of mathematical model approaches are
presented.

В ЮО ИО РАН на основе комплекса DHI MIKE Датского гидравлического института [1] разработан ряд моделей, которые широко используются для исследований различных процессов шельфово-склоновой зоны Черного моря ([2], [3], [4]). При разработке моделей учитывалось, что локальные особенности динамики прибрежных вод, в той или иной степени, являются откликом крупномасштабных процессов глубоководной части моря. Поэтому задачи решаются в два этапа.

1. Воспроизведение крупномасштабной динамики Черного моря на основе региональной модели с целью получения граничных условий для локальных моделей прибрежных участков.

2. Детализированные исследования с использованием локальных моделей выбранных прибрежных полигонов.

Мелкомасштабная сетка локальной модели позволяет учитывать особенности батиметрии, орографии линии берега, не разрешаемые крупномасштабной сеткой региональной модели, и добиваться более точного соответствия результатов расчетов данным натурного эксперимента.

Одной из проблем локальных моделей является задание корректных условий на внешних проницаемых границах. Задача сопряжения данных региональной модели на проницаемых границах локальной решается с помощью встроенной процедуры «mapping» комплекса DHI MIKE.

В рамках численного эксперимента по локальной гидродинамической модели выполнена реконструкция динамики прибрежной шельфовой зоны района полигона ИО РАН (Геленджикский район Черного моря), на котором в период 28.09.2008 инструментально был зарегистрирован антициклонический субмезомасштабный вихрь [5]. По принятой расчетной схеме за месячный период (сентябрь 2008 г.) были выполнены расчеты глобальной динамики Черного моря, которые были использованы в качестве граничных условий локальной модели. Результаты расчетов и натурных измерений представлены на рис. 1.

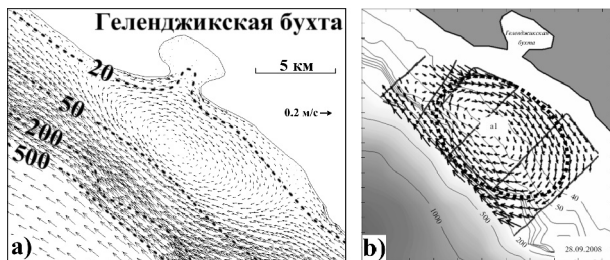


Рис. 1. Структура осредненной по глубине скорости течений 28.09.2008: (а) – по результатам моделирования; (б) – по натурным измерениям

Анализ результатов показывает, что локальная численная модель достаточно достоверно описывает реально наблюдаемую динамику прибрежной зоны района исследований. Отметим, что представленные на рисунке 1 результаты, получены в предположении однородного моря (баротропная модель). Включение в модель бароклинных эффектов, блока расчета ветрового волнения позволили исследовать динамические процессы шельфово-склоновой зоны моря с учетом более широкого диапазона внешних влияющих факторов.

На рис. 2 представлены результаты сравнения измеренных ADCP параметров течения с результатами моделирования по бароклинной гидродинамической локальной модели и объединенной (с учетом волновых эффектов) гидродинамической модели в период полного апвеллинга, зарегистрированного в сентябре 2013 года на гидрофизическом полигоне ИО РАН [6].

Анализ полученных результатов показал, что характеристики зарегистрированного апвеллинга воспроизводятся лучше объединенной гидродинамической моделью, взаимосвязанной со спектральным волновым блоком.

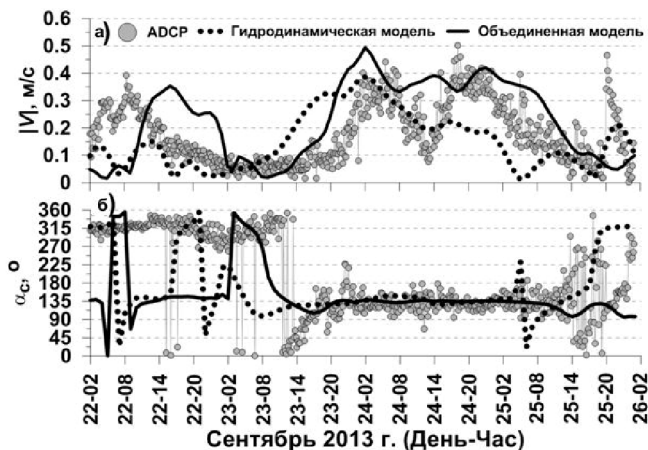


Рис. 2. Экспериментальные данные ADCP и результаты моделирования по гидродинамической и объединенной моделям: а) модуль скорости течений на глубине 5 м, б) направление течений на глубине 5 м

Теоретическая часть (модельные расчеты) выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-05-08659, обработка и анализ экспериментальных данных выполнены при поддержке гранта РНФ № 14-50-00095. Модель MIKE DHI была внедрена частично при поддержке проекта Seagull RC и темы 01201177526, подготовка используемой ее инсталляции проводилась в рамках проекта РНФ 14-17-00547.

ЛИТЕРАТУРА

1. MIKE 3, Spectral Wave Module. // DHI Water&Environment. 2007.
2. **Дивинский Б.В., Куклев С.Б., Зацепин А.Г., Чубаренко Б.В.** Моделирование субмезомасштабной изменчивости морских течений в прибрежной зоне Черного моря. // *Океанология*. – 2015. – Том 55. – №6. – С. 903–908.
3. **Дивинский Б.В., Косьян Р.Д.** Климатические тенденции в волновом энергетическом потенциале Черного и Азовского морей по результатам численного моделирования // *Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон моря*. – Севастополь. – 2016. – Выпуск 1. – С. 14–21.
4. **Дивинский Б.В., Косьян Р.Д., Куклев С.Б.** Параметры ветрового волнения на защищенных акваториях // Сб. Учреждения РАН Санкт-Петербургский научный центр РАН, г. – С.-Петербург. – 2010. – №4(10).

– С.5–16. (Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики).

5. Зацепин А.Г., Баранов В.И., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кременецкий В.В., Островский А.Г., Соловьев Д.М. Субмезомасштабные вихри на кавказском шельфе Черного моря и порождающие их механизмы // Океанология. – 2011. – Том 51. № 4. – С. 592–605.

6. Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Пиотух В.Б., Подымов О.И., Сильвестрова К.П. Наблюдение цикла интенсивного апвеллинга и даунвеллинга на гидрофизическом полигоне ИОРАН в Черном море // Океанология. – 2016. – Т.56. №2. – С.203–214.

УДК 551.465

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ОДНОТОЧЕЧНОГО КОРОТКОВОЛНОВОГО ДОПЛЕРОВСКОГО РАДИОЛОКАТОРА

**Горбачкий В.В.¹, Дудко Д.И.¹, Зацепин А.Г.², Куклев С.Б.³,
Сабинин К.Д.⁴, Шпилёв Н.Н.¹**

¹ *Федеральное государственное унитарное предприятие Крыловский государственный научный центр, 196158, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, 8(812) 415-46-07, v.gorbatsky@gmail.com*

² *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, resty@mail.ru*

³ *Южное отделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Шириова РАН, 8(86141)2-80-69, 353467, Просторная, 1 г, Геленджик-7, Россия, kuklev@ocean.ru*

⁴ *Акустический институт им. академика Н.Н. Андреева, 117036, Москва, Шверника, 4, Россия, 8(499)1267401, ksabinin@mail.ru*

The report presents the results of experiments on measuring of the velocity of surface currents by HF Doppler radar in the Black Sea shelf-slope sea area that includes the SIO RAS testing site near the city of Gelendzhik. The radar measurements are compared with the simultaneously fulfilled ADCP-measurements.

В 2016 г. проводились работы по исследованию возможности использования доплеровского КВ-радиолокатора Sea Sonde (CODAR, США) для измерения пространственной структуры поверхностных течений на акватории экспериментального полигона ИО РАН в шельфово-склоновой зоне Черного моря в районе г. Геленджик.

Радиолокация приповерхностного слоя моря осуществлялась океанографическим радиолокатором КВ диапазона Sea Sonde (CODAR, США) с несущей частотой 25 мГц [1]. Для измерения скорости течения в толще моря использовались донная станция ADCP Workhorse (RDI, США) с несущей частотой 600 кГц установленная на глубине 22 м, донная станция ADCP Sentinel (RDI, США) с несущей частотой 300 кГц, установленная на глубине 85 м, а также буксируемый за судном ADCP Rio Grande (RDI, США) с несущей частотой 600 кГц. Целью экспериментов было: 1) тестирование различных вариантов расположения радиолокационных средств; 2) комплексное использование различных средств измерения течений; 3) попарная кросс-верификация всех элементов комплексной измерительной системы. Показаны основные достоинства и недостатки используемых измерителей течений. Предложена схема совместного использования имеющихся приборов для мониторинга течений на полигоне.

Особенностью выполненных экспериментов являлось использование только одного радара КВ диапазона, который позволял измерять только радиальную компоненту скорости течений. В сентябре–октябре 2015 г. использовалась двухточечная схема измерений течений, протестированная ранее [1], с попеременным перемещением раз в несколько часов КВ радара между точками постановки антенн в районе Голубой бухты и в Дивноморском (расстояние между точками – 13 км.). При этом, для построения полных векторов скорости течения, использовалось (и тестировалось) предположение о квазистационарности поля скоростей течений на протяжении всего цикла измерения из обеих точек. В апреле и октябре 2016 г. была протестирована схема измерений течений со стационарной установкой КВ радара в одной точке (рис. 1 и 2).

В этом случае также возможно восстановление полного вектора течения, однако подробное описание методики этого восстановления является предметом отдельной работы.

Измерения проводились непрерывно на протяжении двух периодов времени: с 11 по 20 апреля и с 01 по 10 октября 2016 г. Перед началом каждого цикла измерений были выполнены измерения характеристик диаграммы направленности приёмной антенны с помощью транспондера, установленного на катере и перемещаемого по дуге окружности на

расстоянии около 500 м от антенны. После настройки приемной антенны радиолокатора поле радиальных составляющих скорости восстанавливалась на площади, окружающей точку постановки антенн с радиусом около 20 км (рис. 2).



Рис. 1. Размещение передающей и приемной антенн радиолокатора Sea Sonde на крышах кунгов на пирсе ЮО ИОРАН в Голубой бухте

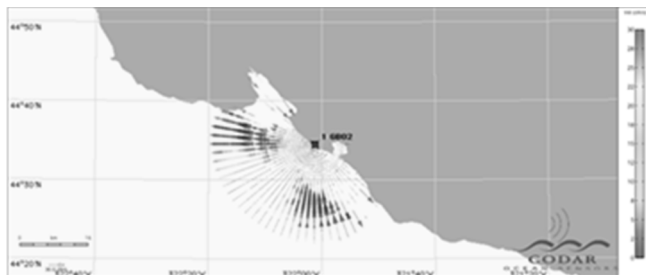


Рис. 2. Пример карты радиальных скоростей течений измеренной радаром 5 октября в 22:00 после настройки диаграммы направленности приёмной антенны

В данной работе внимание сосредоточено на сопоставлении результатов измерения составляющей скорости вдоль избранных радарных лучей с проекциями на эти лучи скоростей течения, измеряемых двумя донными станциями ADCP, расположенными поблизости от этих лучей (рис. 3). Одна из станций ADCP, располагалась на расстоянии 1 км от радара, вблизи луча с углом около 80° по отношению к линии берега, а другая – на расстоянии порядка 10 км от радара вблизи луча с углом около 50°.

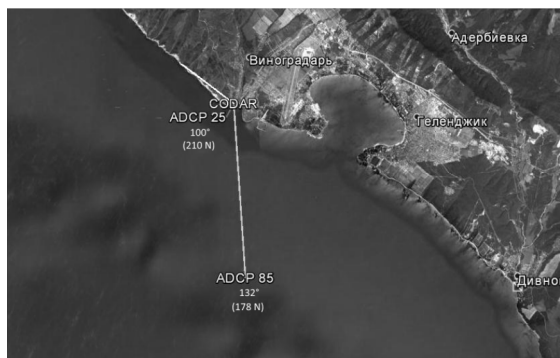


Рис. 3. Схема сопоставления радиальных скоростей течения, измеряемых радаром, с проекциями на ближайшие радарные лучи скоростей течения, измеряемых ADCP

Зеленый пунктир – радарный луч, проходящий под углом 100° к береговой линии через точку расположения донного ADCP, расположенного на глубине 85 м на расстоянии около 7 км от берега, синий пунктир – радарный луч, проходящий под углом 132° к береговой линии через точку расположения донного ADCP на глубине 25 м на расстоянии около 1 км от берега, сплошная – линия берега, составляющая 50° к северному направлению

Оказалось, что значения скорости течения, измеренные радаром и донным ADCP, в среднем неплохо совпадают для точки расположения дальнего донного ADCP. Значения скорости течения, измеренные радаром и донным ADCP для точки расположения ближнего донного ADCP довольно сильно расходятся по амплитуде практически для всего периода измерений.

В докладе обсуждаются возможные причины выявленных различий между измерениями скорости радаром и ADCP и намечаются планы проведения дальнейших экспериментов, по их дальнейшему сопоставлению и по установлению зависимостей радарных измерений скорости течения от ветра и волнения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ№14-50-00095.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбацкий В.В., Сабинин К.Д., Телегин В.А., Зацепин А.Г., Куклев С.Б. Применение доплеровского КВ-радиолокатора для исследования пространственной структуры течения в Черном море // МГЖ. – 2017. – №2. (в печати).

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА БИОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МИРОВОГО ОКЕАНА

Чепыженко А.И.¹, Чепыженко А.А.²

¹ *Морской гидрофизический институт РАН,
Капитанская ул., 4, 299011, г. Севастополь, +7978-7096-101,
ecodevice@yandex.ru*

² *НПП Аквастандарт, ул. Кирпичная 40,
299011, г. Севастополь, +7978-7256-347, annacher87@ya.ru*

Multiparametric biophysical probing and towed complex involving the measurements of photosynthetically active radiation, bioluminescence, chlorophyll-a, phycoerythrin, CDOM, fDOM, TSM, CTD is performed. The results of investigations are presented.

В докладе обоснован состав и представлен биофизический комплекс «Сальпа-М-ГБФ» – одна из разработок НПП Аквастандарт, г. Севастополь оснащенный современными оптико-биофизическими измерительными каналами собственной разработки, метрологически аттестованный и апробированный в многочисленных экспедициях научных учреждений России и Украины.

Биофизический мониторинг акватории Мирового океана основан на комплексном анализе параметров, описывающих звенья природного сообщества обладающих сложным многоуровневым строением с разнообразными трофическими и топическими связями, дающими представление о целостности и взаимосвязи водной экосистемы – от процессов фотосинтеза и первичного продуцирования и синтезирования органического вещества, и последующей трофической цепи – концентрации фито- и зоопланктона.

Наиболее информативными параметрами среды, которые обеспечены инструментальными средствами выбраны – *фотосинтетически активная радиация (ФАР)*, позволяющая оценить процесс фотосинтеза, фотический слой – условие продуцирования первичной органической биомассы; концентрация цветного и флюоресцирующего органического вещества (CDOM, fDOM), позволяющего по *концентрации растворенного органического и общего взвешенного вещества* оценить синтез углеводов и белков, концентрации хлорофилла-а, фикоэритрина, общего

взвешенного вещества, позволяющего оценить особенности вертикальной стратификации концентрации фитопланктона, детрита, РОВ в условиях лимитирующих факторов и концентрации зоопланктона – по интенсивности биолюминесцентного излучения организмов, позволяющей оценить взаимосвязь концентраций фитопланктона и зоопланктона и их взаимообусловленность.

Измерение фоновых характеристик – температуры, солёности и расчетной плотности позволяет оценить роль термохалинной структуры на стратификацию био-физических характеристик. Глубина исследований, как правило, не превышает 150-200 метров и ограничивается как фотическим слоем, который в Черном море не превышает 50-60 метров, так и вертикальной стратификацией БФ характеристик обусловленных градиентами плотности на границах ХПС и задачей биофизических исследований в REDOX-слое.

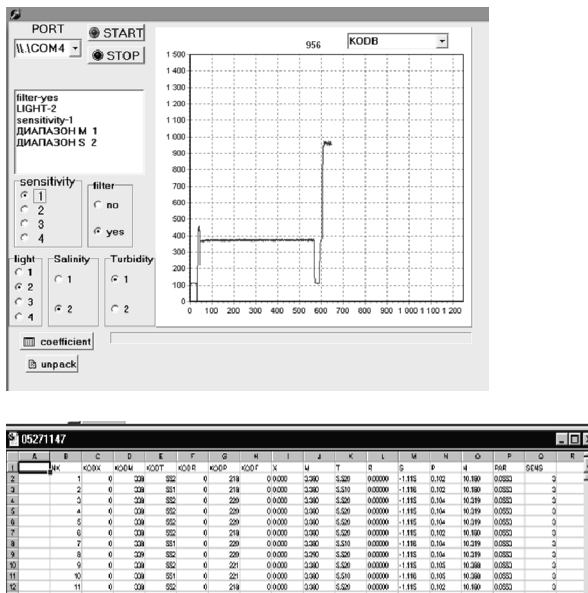


Рис. 1. Биофизический комплекс САЛЬПА-М, представление данных

Биофизический зондирующий комплекс в различных модификациях – «ГБФ» и «Сальпа-М» разработанный НПП Аквастандарт, г. Севастополь (<http://ecodevice.com.ua>) с 2007 года по настоящее время

применяется в научных организациях Украины и России включал наряду с фоновыми характеристиками – гидростатическим давлением, температурой и электропроводностью (расчетная соленость) ряд биофизических характеристик – измерительные каналы фотосинтетически активной радиации, концентрации: растворенного органического вещества (спектрофотометрические и флуоресцентные – CDOM, fDOM), хлорофилла-а и фикоэритрина (флуориметрический), зоо-планктона (биолюминесцентный потенциал). Наряду с вышеперечисленными измерительными каналами, разработанными в компании НПП Аквастандарт, комплекс комплектовался дополнительными каналами, в частности – растворенного кислорода. Наличие возможности расширения состава информационного кадра предоставляет исследователю доукомплектовывать комплекс в зависимости от задачи исследований. Комплекс предназначен для исследований в деятельном слое Мирового океана до 200 метров в режиме многократного вертикального зондирования со скоростью до 1,2 м/с и горизонтального (буксировка) зондирования со скоростью до 7 км/час.

Компановка миниатюрных измерительных моделей и управление комплексом с персонального компьютера обеспечила минимальные весо-габаритные характеристики, позволяющие его применение с любых сплав-средств, включая маломерные.

Измерительные каналы разработаны с учетом объективности измерений, долговременной стабильности. Коротко о принципах измерения. Одним из эффективных методов определения концентрации и состояния биомассы в водной среде является измерение биолюминесценции микроорганизмов. Возникающая, в частности, при механических воздействиях свечение микроорганизмов, избыточное над их тепловым излучением при данной температуре регистрируется как вынужденная кратковременная люминесценция. Интенсивность биолюминесценции характеризует не только концентрацию микроорганизмов как одного из звеньев биологической продуктивности водной среды, но и степень токсичного влияния на микроорганизмы. Примененный метод стимулирования микроорганизмов методом *dinoflagellates* и формирование турбулентности в рабочей камере обеспечивает в спектральном диапазоне от 400 до 700 нм интегральную чувствительность 13×10^{12} Вт. Применение двухуровневого дискриминатора и образцового источника опорного излучения обеспечило требуемую временную и температурную стабильность.

Измерение *подводной* фотосинтетически-активной радиации (photosynthetically active radiation PAR) в фотической зоне в числе кван-

тов $\mu\text{Einsteins}/\text{m}^2\text{sec}$ наиболее полно выражают физический процесс, происходящий в биологической системе при фотосинтезе. При этом спектральная чувствительность измерительного канала пропорциональна длине волны и показания соответствуют

$$Q = \text{const} \times h \times c \int_{380\text{nm}}^{700\text{nm}} N(\lambda) \times d\lambda.$$

Канал измерения ФАР представляет

собой широкодиапазонный (до 10 порядков) высокочувствительный измеритель энергетических величин в видимом диапазоне спектра с нормированной спектральной квантовой чувствительностью.

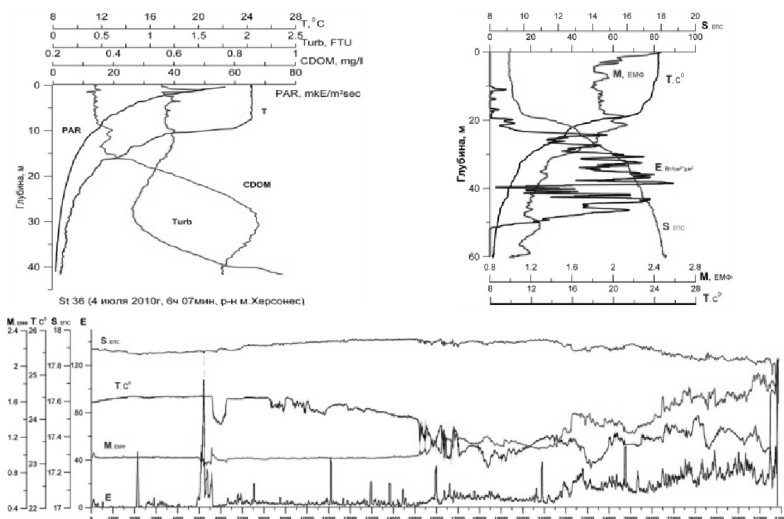


Рис. 2. Вертикальное (а, б) и пространственное (в) распределение параметров

Измерительные каналы хлорофилла-а, фикоэритрина и растворенного органического вещества (fDOM) построены на флуоресцентном принципе измерения, при котором возбуждение производится в узком диапазоне длин волн максимального поглощения (450, 525 и 360нм, соответственно), стробировании и регистрации флуоресценции на 680, 570 и 450 нм, соответственно.

Особая двухбазовая оптическая схема, примененная при измерении суммарного взвешенного вещества (на 660нм) и спектрофотометриче-

ского измерения РОВ (на 370 и 570нм) решила проблему погрешности обусловленной загрязнением иллюминаторов при длительном нахождении прозрачномера в морской воде.

Многочисленные новые сехмо-технические решения направлены на повышение стабильности и достоверности измерений. Проведенные калибровки по стандартным методикам и интеркалибрация подтвердили заявленные технические характеристики. Получение более подробной информации по почте ecodevice@yandex.ru.

УДК 53.088.228

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ТЕРМОКОМПЕНСАЦИИ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ РЕГИСТРАТОРОВ СИГНАЛОВ

Носов А.В., Руссак Ю.С., Тихонова Н.Ф., Юрицын В.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)128-87-49*

Paper presents materials received in design of autonomous data registrators for underwater seismic survey.

Регистраторы автономных донных станций, обеспечивающие высокоточную временную привязку данных к астрономическому времени без доступа к спутниковой навигации в ходе измерений и при соблюдении требований к минимальному энергопотреблению используют метод термокомпенсации [1, 2]. Данная работа представляет один из возможных алгоритмов использования термокомпенсированных кварцев для точной временной привязки наблюдаемых событий.

Основой для временной привязки автономного регистратора данных является сборка из двух кварцев. Один из них – тактирует контроллер регистратора, по возможности его резонансная частота мало зависит от температуры. Частота этого кварца, использовавшегося в регистраторах, близка к 7 МГц. Другой кварц – термозависимый, его частота близка к 32 КГц. Конструктивно оба кварца расположены в миниатюрном металлическом корпусе типа микросхемы, который обеспечивает равенство их температур. Неотъемлемой частью этой конструкции является калибровочная таблица, содержащая данные о соответствии частот кварцев при разных температурах в диапазоне рабочих условий регистратора.

Для временной привязки измерений используются два счетчика контроллера регистратора. Главный счетчик – аппаратно-программный, состоит как из собственно счетчика, так и нескольких дополнительных байтов. Главный счетчик предназначен для подсчета всех тактов быстрого кварца в течение всего процесса регистрации, количество дополнительных байтов определяется необходимой емкостью счетчика. Другой счетчик предназначен для формирования временных интервалов (около 10 с), используемых для учета температурного ухода частоты главного кварца. Медленный счетчик подсчитывает фиксированное количество периодов термозависимого кварца, по совпадению вырабатывает прерывание и перезапускается. Таким образом, формируется последовательность импульсов с периодом следования около 10 с.

Помимо счетчиков, в процессе временной привязки существенно используется внешний эталон астрономического времени. В нашем случае им служил приемник GPS, имеющий в качестве выходных сигналов PPS и СОМ-порт. PPS служит для точной аппаратной привязки контроллера к астрономическому времени, а СОМ-порт – для считывания информации об астрономическом времени, соответствующем фронту сигнала PPS.

При включении питания регистратора счетчики начинают подсчитывать соответствующие импульсы. Перед переводом регистратора в режим автономной работы производится его временная калибровка. Суть калибровки состоит в захвате состояния

главного счетчика по фронту ближайшего пришедшего импульса PPS и фиксации соответствующего ему значения астрономического времени. В ходе регистрации в каждый момент возникновения прерывания от медленного счетчика (температурно зависимого) производится захват состояния главного счетчика. Важным для обеспечения точности является то обстоятельство, что считывание состояния главного счетчика производится именно путем захвата, тем самым учитывается каждый такт главного кварца, и если он не попал в предыдущий температурный интервал – будет учтен в последующем. После вывода регистратора из автономного режима также производится его временная калибровка.

Для производства привязки измерений к астрономическому времени после завершения регистрации производятся следующие действия. Калибровочная таблица соответствия частот кварцев пересчитывается в таблицу зависимости точной частоты главного кварца от количества тактов главного кварца, попадающих во временной интервал, равный длительности заданного количества периодов температурно зависимого кварца при соответствующей температуре. Для каждого 10-секундного интервала между прерываниями от температурно зависимого кварца

вычисляется количество тактов главного кварца, попавшего в него, далее с помощью пересчитанной калибровочной таблицы вычисляется его точная длительность в астрономическом времени. Вычисления производятся с максимальной доступной точностью (в Дельфи – 20 десятичных разрядов). Для крайних неполных временных интервалов оценка частоты главного кварца берется из ближайших полных температурных интервалов. Длительности всех температурных временных интервалов суммируются, и результат сравнивается с астрономическим временем финальной временной калибровки. Разность равномерно растягивается по всему времени регистрации.

Таким образом, каждый момент прерывания от температурного кварца оказывается привязан к астрономическому времени. Для привязки ко времени какого-либо события достаточно зафиксировать в момент его появления состояние главного счетчика. Используя привязку ко времени предшествующего температурного прерывания и точную частоту главного кварца на текущем температурном интервале можно оценить точное время возникновения события.

Следует отметить, что данный метод временной привязки записей не требует высокой точности предварительной калибровки и автоматически компенсирует эффект старения кварца, если при старении температурная зависимость его частоты не меняется.

Для проверки точности описанного способа термокомпенсации был поставлен эксперимент, в ходе которого с помощью сейсморегистратора принимались и записывались импульсы подрыва пневмопушки, синхронизированные с источником точного времени (GPS приемник). Первая запись была сделана в течение примерно 15 суток, вторая – в течение нескольких часов. Первая запись была начата в лаборатории при комнатной температуре, затем регистратор был перемещен в провизионную кладовую, температура воздуха в которой была близка в 2 град. Затем регистратор на несколько суток был возвращен в лабораторию и соединен с источником импульсов подрыва пневмопушки. По окончании регистрации сигналов регистратор вновь был перемещен в кладовую и окончательно вернулся в лабораторию в конце сеанса регистрации для финальной временной калибровки. На рис.1 представлены зафиксированные регистратором данные о температуре. По горизонтальной оси отложено время в секундах, по вертикальной – количество импульсов тактового кварца (7МГц), попавших в 10-ти секундный временной интервал.

На рис. 2 представлена аналогичная зависимость, полученная в ходе второй записи. Относительно высокочастотные колебания на графике

второго рисунка связаны с периодическим включением лабораторного кондиционера.

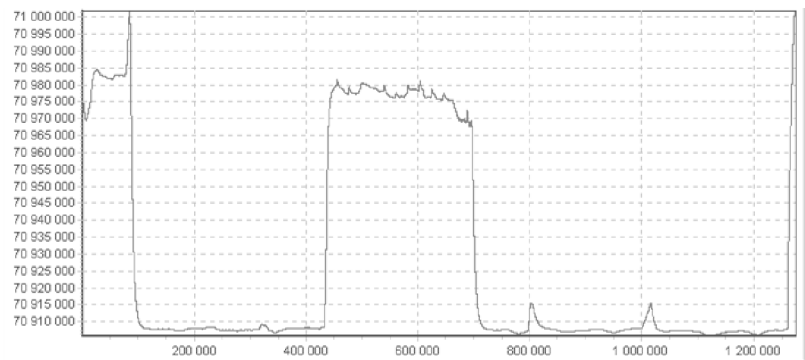


Рис.1. Зависимость частоты главного кварца от времени в течение первой записи

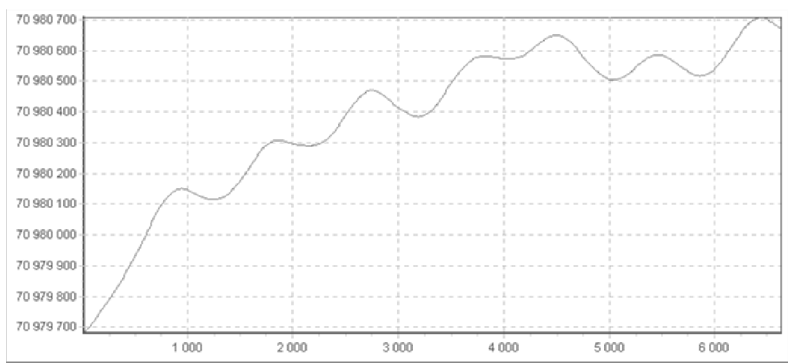


Рис.2. Зависимость частоты главного кварца от времени в течение второй записи

На рис. 3 приведен результат расчета временных поправок, полученный с помощью данного метода термокомпенсации. По горизонтальной оси отложено время в секундах, по вертикальной – поправки в миллисекундах. Прямая наклонная линия – уход внутренних часов регистратора. Рис. 3 демонстрирует тот факт, что при отсутствии компенсации зарегистрированное регистратором время отличалось бы от астрономического на величину порядка 400 мс. На рис. 4 представлены аналогичные дан-

ные второй записи. Поскольку вторая запись была короткая и проводилась в относительно стабильных условиях, вводимые временные поправки не превышают 0.04 мс.

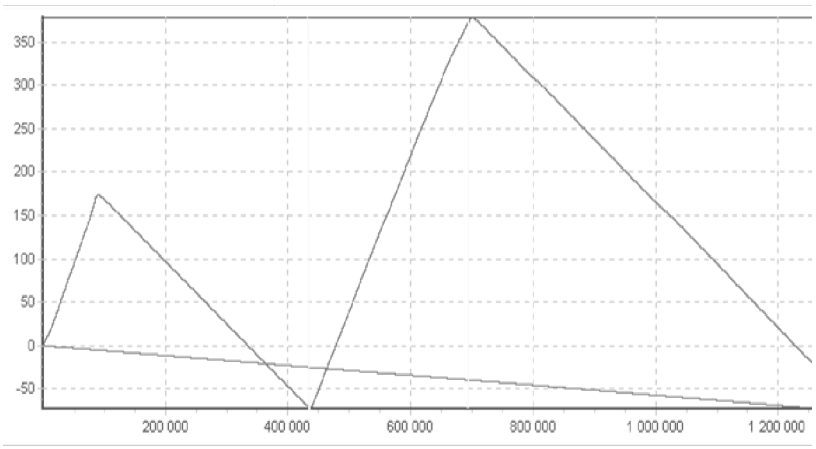


Рис. 3. Временные поправки для первой записи, миллисекунды. Зависимость временных поправок ΔT , мс (ось Y) от времени T , сек (ось X)

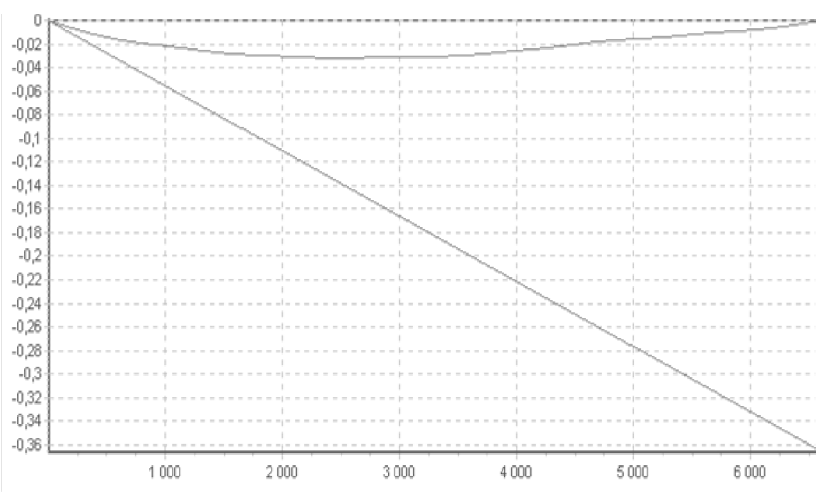


Рис. 4. Временные поправки для второй записи, миллисекунды. Зависимость временных поправок ΔT , мс (ось Y) от времени T , сек (ось X)

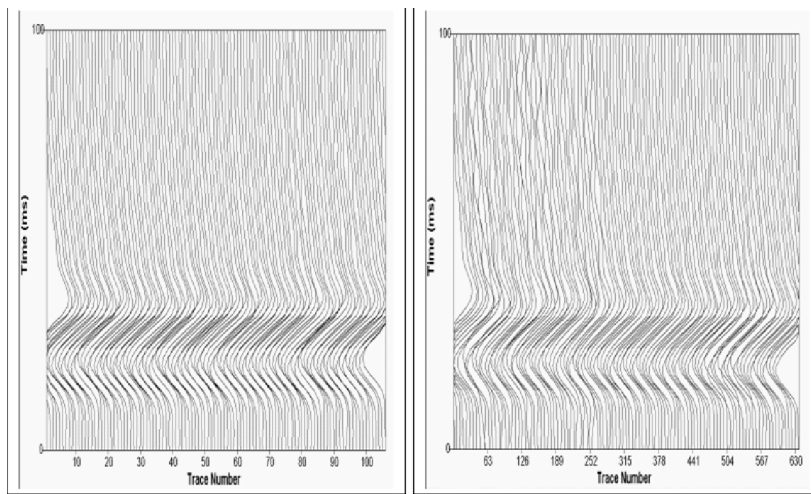


Рис. 5. Сравнение двух записей. Графики сигналов подрыва пушки

На рис. 5 представлены графики сигналов подрыва пневмопушки для двух записей. Сигналы сглаженные, поскольку подверглись фильтрации. Полоса пропускания фильтра – от 5 до 125 Гц. По горизонтальной оси отложены номера трасс, по вертикальной – время в мс. Каждая трасса извлечена из общей записи с учетом временных поправок на основании зарегистрированного независимым устройством точного астрономического времени момента генерации импульса. Оценивая стабильность фронта сигнала величиной около 1 мс, имеем оценку эквивалентной временной точности измерения в $10^{-3} / 10^6 = 10^{-9}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левченко Д.Г., Носов А.В., Парамонов А.А., Симонов В.Н. Устройство и способ (варианты) хронирования информации автономной информационно-измерительной системы // Патент РФ №2277298, 22.09.2004.
2. Левченко Д.Г., Носов А.В., Парамонов А.А., Симонов В.Н. Устройство хронирования информации автономной информационно-измерительной системы // Научное приборостроение, 2007. Том 17. №3. С. 88–94.

НЕПРЕРЫВНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА МОРСКОЙ ВОДОЙ НА ХОДУ СУДНА – НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОЗРАЧНОМЕРА ПУМ-А

Артемьев В.А.¹, Григорьев А.В.¹, Глуховец Д.И.^{1,2}

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

Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)129-27-36,

²*Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный, 141700,*

artemiev195@yandex.ru, anatoliigav@mail.ru, glukhovets@ocean.ru

A modification of an equipment and development of new software for the PUM-A transmissometer was done. It has allowed to perform continuous under way measurements of a seawater attenuation coefficient C by a flow-through system.

Прозрачномер ПУМ-А – универсальный, малогабаритный, разрабатывался как автономный прибор – питание осуществлялось от встроенных батарей, данные измерений записывались на энергонезависимую память, что позволяло его использовать одновременно с другими зондирующими приборами или самостоятельно, в том числе при проведении измерений с малых плавсредств [1, 2].

Первая модернизация состояла в дооборудовании ПУМ-А пластиковой кюветой, что позволило проводить исследования проб морской воды в лабораторных условиях, результаты измерений регистрировались на экране ноутбука в реальном масштабе времени. Это существенно расширило возможности применения прибора, позволило исследовать пробы воды из батометров и поверхностные пробы, взятые на ходу судна. В перегонных рейсах, где не планировалось использование прибора в зондирующем режиме, часть гермокорпуса с блоком батарей автономного питания отсоединялась, это позволяло существенно уменьшить габариты и вес прибора. Первые измерения в лабораторном режиме были проведены в 2012 году, где во время 57 РАЭ, на борту НЭС «Академик Федоров», было исследовано 130 проб морской и талой воды.

Последующим шагом доработки было интегрирование прибора ПУМ-А в проточную систему судна, в которой на протяжении многих лет используется проточный флуориметр ПФД-2, разработанный в ла-

боратории оптики ИО РАН [3]. Ранее проведенные исследования показали надежную корреляционную зависимость между показателем ослабления S и концентрацией взвеси различного происхождения, которая, в свою очередь, связана с гидрологической структурой вод, особенно во фронтальных зонах. Кроме того, результаты оптических измерений необходимы для интерпретации данных, полученных со спутниковых сканеров цвета.

С технической точки зрения, подключение ПУМ-А к проточной системе особых проблем не вызывало – кювета было рассчитана на рабочее давление до 1 Бар. Для удаления пузырьков воздуха и осадков взвеси ПУМ-А устанавливался на кронштейне под углом $\approx 15^\circ$. Вода из протоки подводилась к нижнему штуцеру, слив производился через верхний, приподнятый штуцер, пузырьки уходили в слив, взвесь осаждалась у нижнего штуцера, откуда периодически, по мере накопления, удалялась при осушении кюветы (рис. 1, слева).



Рис. 1. Прозрачномер ПУМ-А подключен к проточной системе (слева), функциональное окно программы «PUMs_Scan_V1» (справа)

Основная проблема была в разработке программного обеспечения, которое при работе в проточном режиме должно было обеспечивать:

- Надёжность работы при длительном измерении.
- Создание непрерывной записи измерений, позволяющее исключить потерю данных.
- Возможность синхронизации результатов измерений с данными других приборных комплексов.
- Возможность визуального отображения хода работы прибора в проточном режиме.
- Возможность установки различных режимов графического отображения измеренных данных.

- Автоматическое распределение записи данных на каждый день.

В результате проведенных работ, было разработано новое программное обеспечение «PUMs_Scan_V1», в котором перечисленные выше проблемы были успешно решены. Для надежной синхронизации измерений, в программе были задействованы аппаратные системные часы, что также позволило синхронизировать результаты измерений ПУМ-А с данными других приборных комплексов, задействованных в проточной системе.

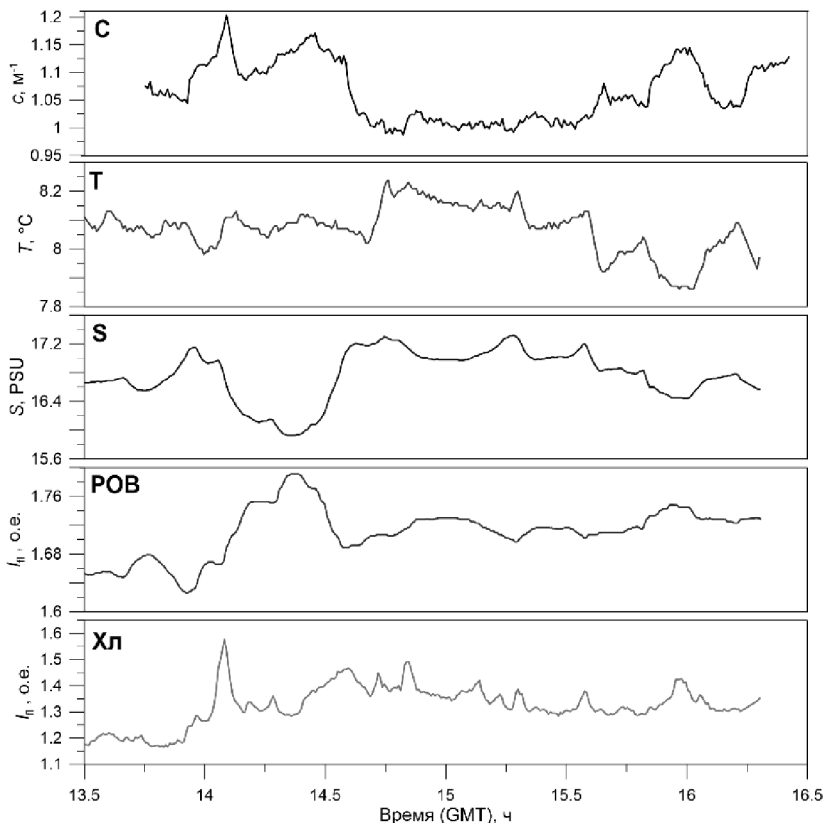


Рис. 2. Распределение показателя ослабления C , температуры T , солености S , интенсивности флуоресценции POB и $Хл$ «а». Разрез длиной ~ 20 км, северо-западная часть Карского моря ($76,7^\circ$ с.ш., $71,0^\circ$ в.д.). 1 сентября 2015 г.

Программная часть осуществляла вывод графического изображения результатов измерений в реальном масштабе времени, а так же обеспечивала стабильную работу в течение продолжительного периода времени, автоматически и непрерывно записывая результаты измерений, что позволило исключить потерю данных при появлении возможных сбоев. На рис. 1, справа, приведено функциональное окно программы.

Для обработки и сопоставления результатов измерений прозрачномером ПУМ-А с данными других приборов была написана программа на языке «Python». Впервые прозрачномер ПУМ-А был интегрирован в проточную систему НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 63-м рейсе в Карском и море Лаптевых, в 2015г. Испытания прошли успешно. На Рис.2, в качестве примера, приведены результаты одновременных измерений приборными комплексами проточной системы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-50-00095), предоставленного Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Artemiev V.A., Taskaev V.R., Burenkov V.I., Grigoriev A.V.** Multi-purpose compact transmissometer. Proceedings of III International Conference «Current Problems in Optics of Natural Waters (ONW 2005) Ed. I. Levin and G. Gilbert. St. Peterburg. 2005.

2. **Artemiev V.A., Grigoriev A.V., Vortman M.I.** Advanced meter of the seawater beam attenuation coefficient. Current problems in optics of natural waters (OWN'2011). St-Petersburg, Russia, September 8-11, 2011. Proceeding. 173-178.

3. **Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А., Венцкут Ю.И., Гуреев Б.А., Копелевич О.В.** Исследования пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части Черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т.8. № 1. С.17–26.

ОПЕРАТИВНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ НА НЕАРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ

Нестеров Е.С.

Гидрометцентр России,

*Бол. Предтеченский пер., 11-13, 123242, г. Москва, 8(499)795-22-46,
nesterov@mecon.ru*

Paper presents an overview of the operational methods and technologies of diagnosis and forecasting of hydrometeorological parameters on non-arctic seas of Russia.

В докладе дается краткий обзор оперативных методов и технологий диагноза и прогноза гидрометеорологических параметров на неарктических морях России (ветер, волнение, течения, уровень, ледовые характеристики). Диагностическая и прогностическая гидрометеорологическая информация стала важным фактором нормального функционирования судоходства, рыболовства, нефте- и газодобычи на шельфе и т.д. [1,2].

В Гидрометцентре России разработана система прогноза на 5 суток характеристик ветрового волнения на основе спектральной модели WaveWatch [3]. Прогнозы регулярно выпускаются для Баренцева, Белого, Балтийского, Черного, Азовского и Каспийского морей.

В Дальневосточном научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (ДВНИГМИ) с использованием модели WAVEWATCH разработаны технологии прогноза ветрового волнения для дальневосточных морей (Берингово, Охотское, Японское) и отдельных акваторий (залив Петра Великого, Татарский пролив) [4].

В оперативной практике прогнозов уровня и течений большое внимание уделяется штормовым нагонам, которые представляют опасность для прибрежных населенных пунктов. Особенно большие нагоны характерны для северо-западной части Каспийского моря, Финского залива, юго-восточной части Баренцева моря и др.

В Гидрометцентре России разработана система краткосрочного прогноза уровня и течений для Баренцева, Белого, Азовского и Каспийского морей, в основе которой лежит трехмерная бароклинная гидродинамическая модель [5]. В Государственном океанографическом институте

имени Н.Н.Зубова создана система диагноза и прогноза на 3 суток течений Черного моря с использованием модели циркуляции POM (Princeton Ocean Model) с разрешением 5 км для всего моря и 1 км для его северо-восточной части [6].

Ледовый покров является одним из наиболее важных факторов, определяющих состояние поверхности моря. Даже на частично замерзающих морях, к которым относятся неарктические моря, ледовая обстановка бывает сложной и требует ледокольной проводки судов и специализированного гидрометеорологического и ледового обслуживания.

В Гидрометцентре России в холодную часть года еженедельно составляются карты анализа ледовой обстановки на неарктических морях России с текстом прогноза на неделю. Разработан новый статистический метод долгосрочного ледового прогноза [7]. Результаты прогноза регулярно публикуются в бюллетене «Долгосрочный прогноз ледовых условий на неарктических морях на предстоящий ледовый сезон». В бюллетене содержатся прогнозы следующих характеристик:

- даты первого появления льда в портах;
- максимальная за ледовый сезон ледовитость моря;
- максимальная за ледовый сезон толщина припайного льда в районе портов;
- даты окончательного очищения моря ото льда в районе портов;
- продолжительность ледового периода в районе портов.

В ДВНИГМИ выпускаются прогнозы положения кромки льда с месячной заблаговременностью для Японского, Охотского и Берингова морей.

Развитие морских прогностических систем происходит по нескольким направлениям: увеличение разрешающей способности, усвоение новых видов информации, развитие атмосферных и морских прогностических моделей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Абузяров З. К.** Оперативное океанографическое обслуживание/ З. К. Абузяров, И.О. Думанская, Е.С. Нестеров. – М.: ИГ «Социн», 2009. – 287 с.: ил. – Библиогр.: с.273.

2. **Абузяров З.К.** Морское метеорологическое обслуживание в системе Росгидромета: современное состояние и перспективы развития/ З. К. Абузяров, Е.С. Нестеров//Метеоспектр. 2014. № 2. С.99–111.

3. **Зеленько А.А.** Система прогнозирования ветрового волнения в Мировом океане и морях России/ А.А. Зеленько, Б.С. Струков, Ю.Д. Реснянский, С.Л. Мартынов // Труды ГОИН. 2014. № 215. С.90–101.

4. **Вражкин А.Н.** Применение спектральных моделей волнения для акваторий дальневосточных морей и Тихого океана // Труды ДВНИГМИ.- Юбилейный выпуск ДВНИГМИ-60 лет. – Владивосток: Дальнаука, 2010. С.88–96.

5. **Зильберштейн О. И.** Метод краткосрочного прогноза штормовых нагонов в северной части Каспийского моря и результаты его испытаний / О. И. Зильберштейн, О. А. Вербицкая, С. К. Попов, А. Л. Лобов// Информационный сборник № 29. – Гидрометцентр России. 2002. С. 76–89.

6. **Григорьев А.В.** Численное моделирование вод южных морей России в рамках задач оперативной океанографии/ А.В. Григорьев, В.А. Кубряков, Л.Д. Федотова, И.В. Чариков // Труды ГОИН. 2011. №213. С. 80–90.

7. **Думанская И.О.** О методике долгосрочного прогноза ледовых условий на европейских морях России // Метеорология и гидрология. 2011. №12. С.64–77.

УДК 551.463.5

МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МИНЕРАЛЬНОЙ ВЗВЕСИ В МОРСКОЙ ВОДЕ ПО СПЕКТРУ ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ НАПРАВЛЕННОГО СВЕТА

Корчемкина Е.Н., Латушкин А.А., Мартынов О.В.

Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, 8(0692)545241, korchemkina@mhi-ras.ru

Measurements of beam attenuation coefficient (BAC) provide information about the vertical biooptical structure of natural waters. Method of determining concentration of suspended matter in seawater based on BAC data is presented. Obtained suspended matter concentrations can be used for validation of remote sensed data.

При проведении экологического мониторинга широко используются оптические методы исследования, которые позволяют получать оперативную информацию о состоянии водной среды с высокой точностью. При этом одним из основных широко используемых оптических параметров является показатель ослабления направленного света (ПОС).

Значения ПОС обусловлены наличием в водной среде растворенного, взвешенного и коллоидного вещества (глина, ил, мелкодисперсные органические и неорганические вещества), а также планктона и других микроскопических организмов. Таким образом, показатель ослабления является оптическим проявлением содержания в водной среде рассеивающей и поглощающей свет взвеси и растворенной органики. Связь ПОС с концентрацией общего взвешенного вещества зависит от состава взвешенного вещества и его свойств – размера, формы, показателя преломления частицы, цветового контраста. Все эти свойства определяют региональные особенности акватории. Показатель ослабления направленного света дает возможность объективно оценить концентрацию в водной среде суммарного взвешенного вещества от малых концентраций, характерных для открытых районов Мирового океана (менее 0,2 мг/л) до концентраций более 100 мг/л.

В частности, в отделе оптики и биофизики моря ФГБУН МГИ (Севастополь) был разработан и изготовлен малогабаритный спектральный измеритель показателя ослабления направленного света, предназначенный как для проведения исследований вертикальных профилей ПОС (зондирующий режим), так и в составе проточных систем, при попутных исследованиях с судов, либо со стационарных платформ [1]. Целью настоящей работы является демонстрация возможности использования измерителя показателя ослабления направленного света (прозрачномера) для проведения оперативного мониторинга водной среды.

На протяжении нескольких последних лет гидрооптические измерения прозрачномером в Черном море проводились в рейсах на НИС «Профессор Водяницкий», «Бирюза», «Денеб», а также на океанографической платформе Черноморского гидрофизического полигона. В результате получены большие массивы данных спектрального показателя ослабления направленного света для различных акваторий Азово-Черноморского бассейна.

На основе массива данных измерений спектров ПОС и концентрации общего взвешенного вещества, определявшейся независимым методом, для открытых и прибрежных акваторий были получены регрессионные уравнения связи.

Концентрации взвеси, рассчитываемые при помощи полученных уравнений, показывают хорошее совпадение с данными дистанционных измерений рассеяния взвеси, однако имеются также и различия, обусловленные особенностями исследуемой акватории. Данные о концентрации взвеси дают основу для модификации региональных биооптических алгоритмов обработки спутниковых данных [2].

Разработанный спектральный измеритель показателя ослабления света позволяет оперативно определять состав и биопродуктивность вод, выявлять источники поступления загрязняющих веществ и пути их распространения. Получаемые данные могут быть использованы при оперативном мониторинге экологического состояния водной среды и валидации данных спутниковых сканеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Латушкин А. А.** Многоканальный измеритель коэффициента ослабления света для проведения океанографических подспутниковых исследований / Управление и мехатронные системы (Севастополь, 16-19 апреля 2013 г.). – Севастополь: Изд. СевНТУ. – 2013. – С. 231-236.

2. **Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Корчемкина Е.Н., Мартынов О.В.** Определение концентрации примесей в морской воде по спектру яркости восходящего излучения // Морской гидрофизический журнал. – 2015. – №6. – С. 17 – 33.

УДК 551.46

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ ОКЕАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Коваленко В.В., Зенин В.М.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8(499)129-20-36, hydrophys@mail.ru*

Views on operational oceanographic coastal monitoring as holistic system based on HF radar observing networks, coastal ocean models and assimilation procedures are discussed. The purpose of the system is to deliver current analyses and forecasts based on assimilation of high frequency radar surface current measurements. The implementation of HF radar data assimilation is found to yield good information for analyses.

Введение. Роль и место прибрежной радиолокации в системах оперативной океанографии. Вследствие своего географического положения и относительно большей ресурсной доступности литоральные

области океана оказались связанными с повышенным уровнем всех видов морской деятельности, называемых ниже приложениями. К этим видам следует отнести вопросы безопасности от природных и антропогенных угроз и природопользование. Современный подход к обеспечению необходимого качества указанных видов морской деятельности часто связывается с оценкой текущей информации о состоянии океанической среды, когда усредненных (климатических) данных оказывается недостаточно. Такой подход оказался естественным образом связан с развитием оперативных методов и инструментария наблюдения, оценки и прогноза состояния океана. Этот инструментарий получил название оперативной океанографии. Среди характерных для оперативной океанографии средств реально-временного измерения и съема данных об океанической среде заметное место заняли радиолокационные системы, эксплуатирующие эффект дальнего распространения волн вдоль поверхности моря при настильном приповерхностном зондировании и эффекты взаимодействия поля зондирующих сигналов с неровностями поверхности. Причины этой значимости связаны с повышенной пространственной и временной изменчивостью свойств океанической среды в прибрежных районах (прибрежных водах [1]). Эти причины стоит отметить в сравнении с другими средствами наблюдения. Среди этих средств: различные контактные измерители в виде океанологических станций и средств, развертываемых с различных носителей (CTD, XBT, ADCP) и средства дистанционного зондирования океана со спутниковых платформ. В общем случае справедливо следующее утверждение. Чем выше изменчивость океанической среды, тем больше требуется измерений, тем плотнее в пространстве должны быть размещены измерители и тем чаще пользователь должен получать соответствующие данные. Даже при построении наблюдательной системы в виде нерегулярных сеток, при которых плотность размещения измерителей согласуется с изменчивостью среды, указанное утверждение по отношению к прибрежным областям остается справедливым. Здесь требование большого числа станций должно быть признано трудновыполнимым. Периоды съема океанических данных со спутников известны. При всей полезности спутниковых данных в приложениях оперативной океанографии, временная изменчивость среды оставляет желать более частых измерений, чем обеспечивают спутниковые системы. В этих условиях *радиолокация оказалась в положении единственного инструмента*, способного покрыть практически непрерывными реально-временными измерениями прибрежные районы [2]. Вопрос лишь в качестве указанных измерений и их способности усваиваться теми моделями, которые

также должны соответствовать изменчивости прибрежных районов и, таким образом, связывать с нужным разрешением поверхностные и под – поверхностные процессы.

Состав систем оперативной океанографии. В общем виде системы оперативного мониторинга можно представить состоящими из трех крупных частей. Это: 1) наблюдательная сеть, функцией которой является получение натуральных данных о состоянии океанической среды и о связанном с этим состоянием атмосферном форсинге, 2) физическая модель, описывающая изменчивость океанической среды в пространстве и времени и 3) механизм подгонки натуральных данных и модели, называемый ассимиляцией данных в моделях. Таким образом, входом в систему являются наборы или поля натуральных (измеренных) данных и данных о воздействующих факторах. Выходом системы являются поля океанических характеристик, информация о которых востребована приложениями (рис. 1).



Рис. 1. Состав систем оперативной океанографии

В рассматриваемом нами случае наблюдения производятся в прибрежной зоне с помощью коротковолновой радиолокации (HF-Radar или HFR). Данными наблюдений являются характеристики поверхностных течений и волнения. Внешние воздействия – это атмосферный форсинг.

Инструмент наблюдений, особенности моделей и их настройки под физические процессы, особенности ассимиляции рассматриваются ниже. Радиолокация HFR, как измерительный инструмент.

Особенности HFR [3]. Использование HFR для съема информации об океанских течениях началось в 1970-х годах.

Объект измерений – течения, прибрежные вихри, характеристики морского волнения. На больших площадях измеряются радиальные

компоненты скорости течений и/или компоненты скорости течений, характерные для бистатической (мультистатической) локации, когда излучатель и приемник разнесены. Физика отражений от морской поверхности – брэгговское резонансное рассеяние. Этот тип рассеяния связан с когерентным отражением зондирующего сигнала неровностями океанской поверхности на длинах волн, равных $\frac{1}{2}$ длины океанской волны. Системы HFR обеспечивают получение в реальном времени информации в виде *синоптической картины распределения векторов поверхностных течений* и информации о волнении (синоптическая информация о поверхностном волнении). Характерный для типовых HFR диапазон частот: 3–30 МГц (длина волны 100–10 м). Характерная длина поля приемных антенн (L) – 100 м. Наибольшее распространение получили HFR, рассчитанные на диапазон частот 12 МГц. Порядок характерных показателей HFR: разрешение по углу $\delta\theta \approx (\lambda/L) \approx 15$ град., разрешение по расстоянию $ds = r\delta\theta > 5$ км для расстояний > 20 км. Излучается частотно-модулированный (ФМ) зондирующий сигнал. Информация обновляется через периоды времени, равные десяткам минут. Со стороны пользователей уже эксплуатирующихся систем эти показатели считаются удовлетворительными для картирования океанских течений применительно к различным прикладным задачам. Важна **обработка данных в HFR**. Суть обработки данных в HFR (существует ряд подходов) заключается в следующем.

* В большинстве вариантов HFR векторы течений определяются путем обработки данных о радиальных компонентах скоростей течений, полученных от 2-х и более HFR. Однако существуют решения такой задачи с помощью одной станции, но распространения такое решение не получило. Существуют алгоритмы обработки данных для схем бистатической и мультистатической локации. За счет мультистатической организации работы пространственное покрытие улучшается на 30–100%. В бистатике излучатель и приемник разнесены на расстояния порядка значимой доли дальности действия HFR. Данные HFR позволяют получать информацию о поверхностных течениях, но при этом амплитуды и изменчивость оценок HFR могут содержать существенные ошибки, достигающие иногда порядка самой измеряемой величины. Для преодоления этого затруднения обработка HFR-данных должна быть робастной и включать соответствующие процедуры фильтрации и интерполяции измерений.

* В наиболее распространенной схеме сети моностатических станций эхо-сигналы HFR содержат информацию о расстояниях, азимутальном угле и о доплеровском сдвиге (r, fd, θ). (Бины по расстоянию δr и по

доплеровскому сдвигу). Эхо-сигналы с заданного расстояния интегрируются на временном интервале T с тем, чтобы сформировать доплеровский спектр для заданного бина по расстоянию (рис. 2). Общая картина, принимаемых вследствие брэгговского рассеяния сигналов, оказывается сегментированной по r и fd . В процессе измерений усредняется сигнал от сотен горбов волн.

* Радиальные составляющие скоростей течений определяются по малым (мГц) доплеровским сдвигам по информации, содержащейся в бинах по расстоянию δr и доплеровскому сдвигу.

* Из данных о расстоянии и доплеровском сдвиге (r и fd) получаются значение и знак радиальной скорости и дальность.

* Получение θ . Паре измеренных значений δr и δfd (ячейка-разрешение) может соответствовать не более 2-х ячеек по углу. (При одном и том же значении радиальной скорости течения может быть не более 2-х ячеек по углу). Обработка данных с ряда антенн устраняет эту неоднозначность.

В дополнение к сказанному отметим, что системы наблюдения часто представляют собой обсерватории, включающие, сети HFR различного частотного диапазонов, а также океанологические станции, метеорологические радары, станции погоды, измерители приливов.

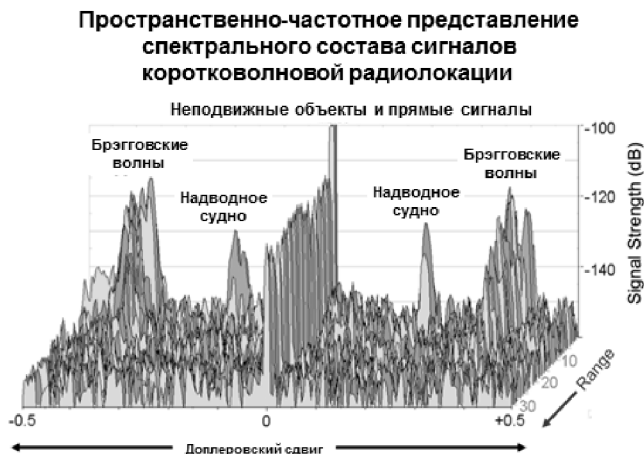


Рис. 2. Спектры эхо-сигналов HFR, как данные для последующей обработки

Модели. Так же, как и большинство моделей, используемых оперативной океанографией, прибрежные модели основываются на системе уравнений геофизической гидродинамики (примитивных уравнений). При этом физику прибрежных районов эти модели должны воспроизводить адекватно. К особенностям прибрежных районов относят влияние береговой линии, мелководье (обычно до 200 м), сильные вдольбереговые течения и пространственно-временную изменчивость океанических процессов. Учитывая сделанный акцент на то, что наблюдаться будут, в основном поверхностные явления, важно в модели учесть влияние физических факторов на поверхность.

Модели характеризуются переменными состояниями (state variables) – свойствами морской среды и параметрами (parameters). Переменными состояниями являются: температура, соленость, компоненты скорости течений. Перечень и физический смысл параметров используемых динамических океанических моделей можно найти в ряде источников, например, в [4] (модель HOPS). Это: коэффициенты, определяющие вертикальное и приливное перемешивание, трение у дна и граничные условия. Именно параметры относятся к тем регуляторам, которые ответственны за настройку модели к физическим особенностям конкретной акватории. Применительно к условиям мелкой воды и, соответственно, к прибрежному моделированию оправданно выделяются [5] параметры, связанные с дном. При прочих равных условиях они считаются основным регулятором адекватности прибрежной модели. Это: «напряжение у дна» (bottom stress) и коэффициенты трения (bottom friction coefficients) в различных направлениях. Определяемые этими параметрами характеристики придонных течений влияют на общую динамику и состояние водных масс, в том числе на поверхностные течения. Граничные условия определяются из соображений общности процессов в океане, частью которого являются прибрежные акватории. Отсюда модели прибрежных региональных или локальных акваторий обычно вкладываются (nesting) в крупномасштабные (глобальные) модели. Граничные условия в значительной степени определяются общей картиной пространственной изменчивости состояния океана и процедурой вложения.

Ассимиляция натуральных данных в моделях. Следуя [6], различаем ошибки измерений (разница между измеренными и истинными значениями), ошибки моделей (как следствие неадекватности описания физических процессов) и *ошибки – невязки* (ϵ) между измеренными и соответствующими им модельными значениями. Ошибки – невязки включают и ошибки измерений, и ошибки физической модели. Эти ошибки могут быть реально оценены. Для работы с ними введены модели оши-

бок-невязок. Статистики невязок получили название неопределенностей. Изменчивость этих статистик по пространству названа полями неопределенностей. Изучение неопределенностей стало в настоящее время важным научным направлением [6]. Информации об истинных значениях измеряемой величины, как правило, нет. Поэтому в отношении ошибок измерений существуют только статистические модельные представления. Неадекватность физических моделей конкретным природным условиям априори оценить сложно. Эта сложность согласно [6] преодолевается путем, так называемого, *адаптивного моделирования*. Мы определяем ассимиляцию как процедуру подгонки физической динамической модели и измеренных данных. У такой подгонки есть критерий. В качестве критерия принимается минимум некоторой нормы соответствия измеренных и модельных значений. Обычно это квадратичная норма невязок (ϵ). Решение задачи ассимиляции вследствие нелинейных модельных зависимостей осуществляется с использованием различных формальных процедур (методов). Среди них выделяются, так называемые, ансамблевые, вариационные и гибридные (вариационно-ансамблевые) методы. Важно понимать, чем в процессе минимизации нормы расхождения модели и экспериментальных данных (ошибки) управляется процесс подгонки. Измерения при заданном измерителе изменить невозможно. Менять можно модель. В физической модели можно менять начальные и граничные условия и параметры. По существу, в связи с этими обстоятельствами конкретные методы ассимиляции данных в моделях разделяются на методы статистического оценивания и обратные методы. В процессе подгонки модели и экспериментальных данных идеальным можно считать одновременное оценивание параметров модели и переменных состояния, удовлетворяющее выбранному критерию. В случае неадекватности или низкого качества модели она подлежит улучшению. Анализ неопределенностей может выявить также потребность в улучшении качества измерений. В нашем случае улучшение измерений может быть связано с изменением плотности расположения HFR, их разрешающей способности, минимизации ошибок за счет предварительной обработки и привлечения дополнительных измерителей.

Фазы разработки систем оперативного мониторинга прибрежных акваторий. Создание наблюдательной сети из прибрежных радиолокаторов, позволяющей производить оценки поверхностных течений и характеристик волнения, не решает полностью задачу мониторинга. Это лишь один из элементов целостной системы. Другим важным элементом является разработка адекватной прибрежной модели. Здесь мы вы-

деляем ряд этапов такой работы. Первым из них, по-видимому, является проведение необходимых исследований. Надо выявить доминирующие в конкретной прибрежной зоне процессы и их масштабы. Особенно те, которые связаны с поверхностными явлениями, в том числе суб-мезомасштабными. Надо выявить влияние характеристик дна на придонные и поверхностные течения. При разработке физической модели надо учесть результаты, полученные на исследовательской фазе. Надо предусмотреть возможность настройки модели (подобно HOPS) под изменяющиеся условия района. От использования жесткой модели с назначенными параметрами или ранее разработанной и универсально применяемой модели ожидать адекватности не стоит. Далее, применительно к разработанной модели надо разработать процедуры ассимиляции данных, потенциально получаемых от прибрежной радиолокации. Процедуры ассимиляции должны предусматривать подгонку переменных состояния модели к соответствующим экспериментальным данным и оценку параметров модели. Следующей фазой могла бы стать калибровка сочетания элементов будущей системы. Далее следует предусмотреть реально-временные эксперименты и верификацию системы. Последней фазой может стать инженерное проектирование вариантов целостной системы.

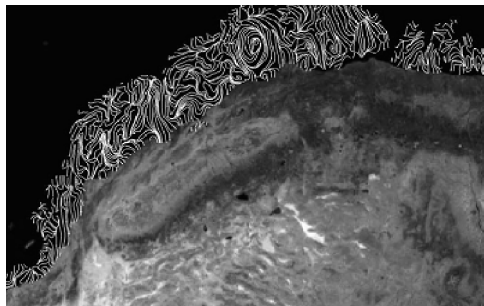


Рис. 3. Восстановленная по радиолокационным данным картина прибрежных течений [7]

Полезный эффект. Можно ожидать, что результаты применения систем оперативного мониторинга прибрежных акваторий будут носить как практический, так и научный характер. Реально-временной мониторинг и прогноз поверхностных эффектов улучшит управление транспортной и природоохранной деятельностью и приведет к предупреждению опасных явлений. Оценка и прогноз подповерхностных явлений

улучшит качество подводного наблюдения. Научный результат выразится в улучшении физических моделей и представлений о природных явлениях в прибрежной зоне.

Ожидается улучшение разрешения прибрежных вихрей и фронтов, когда модель ассимилирует HFR – данные и данные о поверхностном ветре.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Боуден К.** Физическая океанография прибрежных вод. Изд. «Мир», 1988.
2. **Helzel T., Hansen B.** How monitoring by Coastal Radar becomes more and more important as tool for hazard management and environmental protection. Press-release WERA. www.helzel.com.
3. **Wyatt L.R.** HF-Radar for coastal monitoring. Comparison of methods and measurements. Proceedings of Conference «Oceans 2005», Brest, 2005.
4. **Brown W. S., Gangopadhyay A. and Yu Z.** An Operational Circulation Modeling System for the Gulf of Maine / Georges Bank Region: Applications. IEEE Journal of Oceanic Engineering, June 2005.
5. **Mayo T., Butler T., Dawson C., Hoteit I.** Data assimilation within the Advanced Circulation (ADCIRC) modeling framework for the assimilation of Manning's friction coefficient/ Ocean Modeling, 76, 2014.
6. **Lermusiaux Pierre F.J.** Adaptive modeling, adaptive data assimilation and adaptive sampling. Physica D 230 (2007) 172–196.
7. Towards a global HF Radar Network. Journal of Operational Oceanography. V.5, #1, 2012.

УДК 551.465

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ADCP ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ

Морозов А.Н., Кузнецов А.С., Маньковская Е.В.

*Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, 2, 299011,
г. Севастополь, 8(692)54-52-41, amorozov@mhi-ras.ru*

The results of ADCP current velocity measurements made by special technique in coastal and shelf waters near Heracleian peninsula in September 2016 are discussed. The device was mounted

on the vessel and was used as the profiling current meter and as a high frequency echo sounder.

В докладе представлен практический опыт использования *ADCP*, приобретенный в ходе экспедиционных работ, в части локализации и определения характерных пространственных масштабов потенциальных загрязнений. Рассматриваются результаты *ADCP*-измерений, выполненных на ходу судна в режиме, наиболее сложном в плане обработки данных и наиболее информативном в отношении определения размеров области потенциального антропогенного загрязнения.

Экспедиция проходила 04:00 – 12:55 UTC 12 сентября 2016 г. на маломерном судне «Бирюза». Район проведения измерений – прибрежные воды Гераклеийского полуострова, Черное море. На рис. 1 красными линиями представлены треки судна в прибрежной (микрополигон А) и шельфовой (микрополигон В) зоне моря. Положение маркеров соответствуют началу выполнения серии галсов в виде «змейки». Зеленые точки обозначают места проведения комплексных зондирований.

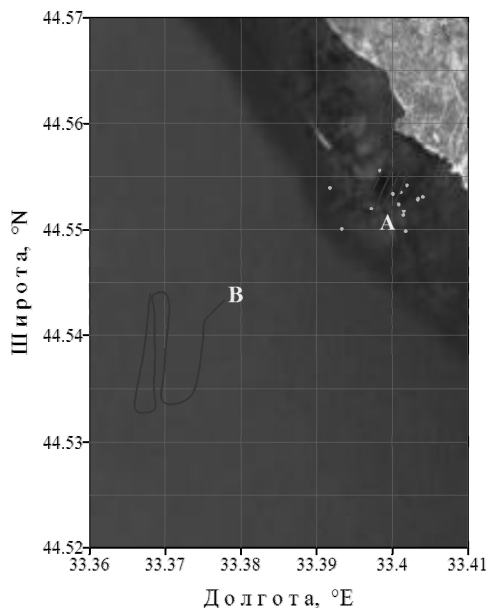


Рис. 1. Расположение микрополигонов А и В

Для измерения течений использовался акустический доплеровский профилометр течений (*ADCP*) *WHM300* (Work Horse Monitor, рабочая частота 300 кГц) производства RDI США. При выполнении измерений прибор жестко крепился к левому борту судна по центру, на специально изготовленной раме, так что заглубление его преобразователей составляло в среднем, около 0,4 м. Запись данных велась непрерывно, что обеспечивало возможность проведения измерений на ходу судна. Параметры работы *ADCP*: дискретность по глубине 4 м, по времени 1 с, включена опция LADCP. Слой измерения составил от 7 м от поверхности моря до 10–15 м до дна. Обработка данных выполнялась с учетом влияния корпуса судна на показания магнитного компаса прибора и других проблемных вопросов, в соответствии с работой [1]. Расчет параметров обратного рассеяния звука по данным интенсивности эхосигнала производился в соответствии с рекомендациями производителя [2], по уточненному соотношению, приведенному в работе [3]. Сила и поперечное сечение обратного рассеяния звука выражены в относительных единицах, из-за отсутствия возможности выполнить калибровку.

Микрополигон А. Начало измерений 08:12 UTC 12.09.2016, конец 08:31 UTC 12.09.2016. Расстояние между галсами около 100 м, протяженность в направлении 30° от Севера по часовой стрелке около 800 м. Средняя скорость движения судна около 2,2 м/с.

В верхней части рис. 2 приведена временная развертка поперечного сечения обратного рассеяния (*BCS*, отн. ед.). Данный параметр выбран для обсуждения, так как хорошо согласуется с концентрацией взвешенного вещества. Для частоты 300 кГц резонансное обратное рассеяние будет происходить на частицах размерами около 2,5 мм.

В верхнем 10 метровом слое и в прибрежной зоне с глубиной моря менее 25 м значения *BCS* не превосходят 1. Области повышенного значения параметра (>6), которые наблюдаются в слое глубин 15–25 м, имеют характерные горизонтальные размеры 100–200 м, и, потенциально, могут быть вызваны антропогенным загрязнением. Эти области располагаются в окрестности изобаты 45 м. Выраженный звукорассеивающий слой на глубине 30–40 м, согласуется с положением сезонного термоклина, и, предположительно, формируется биологическими организмами.

Распределение вдольбереговой составляющей скорости течения ($U_n=U_{45}$) выявляет незначительное ее усиление на горизонте 15 м в окрестности изобаты 35 м. В районах, удаленных от берега (9 мин), наблюдается слоистая вертикальная структура с максимальным значением сдвига в слое сезонного термоклина. Нормальная берегу составляющая

($V_n=V_{45}$) скорости течения проявляет выраженную слоистую вертикальную структуру в районах моря с глубиной более 25 м.

Микрополигон В. Начало измерений 11:54 UTC 12.09.2016, конец 12:35 UTC 12.09.2016.

Временная развертка *BCS* приведена на рис. 3. Здесь наблюдаются более слабые значения параметра, чем в прибрежной зоне. Хорошо выражен звукорассеивающий слой с центром на горизонте около 40 м, имеющий биологическое происхождение. В верхнем 20-м слое моря наблюдаются области повышенных значений параметра, которые, предположительно, имеют антропогенное происхождение и будут проявляться на спутниковых снимках.

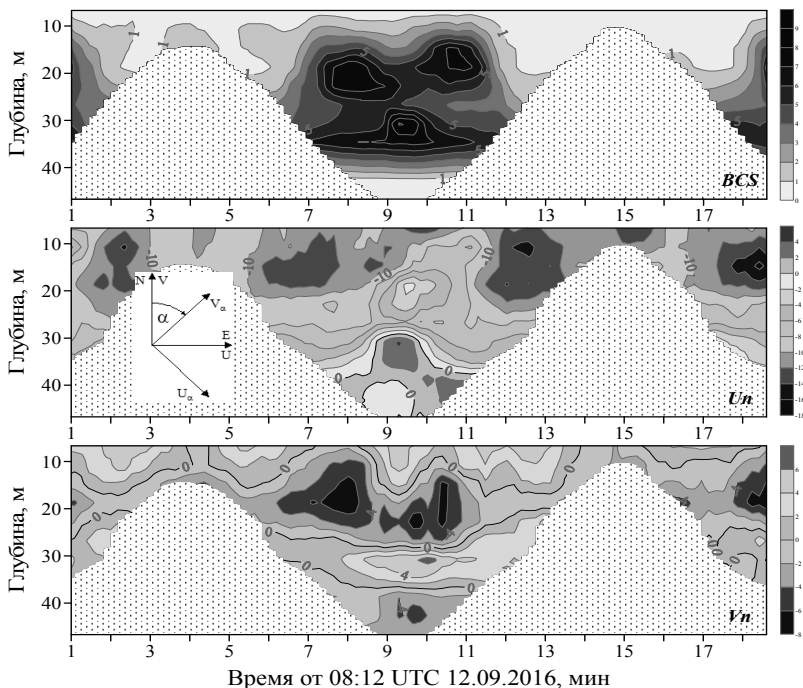


Рис. 2. Сверху вниз – временная развертка поперечного сечения обратного рассеяния звука (*BCS*, отн. ед.), вдольбереговой (U_n , см/с) и нормальной берегу (V_n , см/с) составляющих скорости течения на микрополигоне А

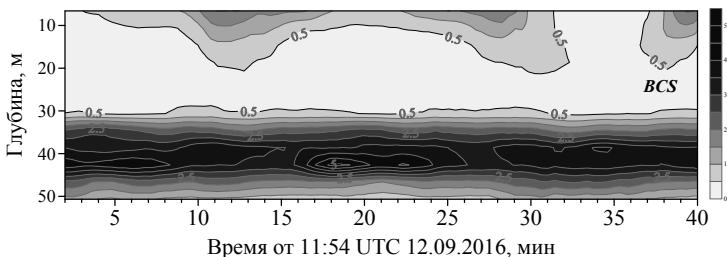


Рис. 3. Временная развертка поперечного сечения обратного рассеяния звука (BCS, отн. ед.) на микрополигоне В

Заключение. В данной статье приведены результаты *ADCP*-измерений, выполненных на ходу судна, которые показывают возможности использования прибора одновременно как профилометра течений, так и эхолота. Серии относительно коротких галсов в виде «змейки» позволили локализовать и определить пространственные размеры неоднородностей параметров обратного рассеяния звука. Соответствие обнаруженных неоднородностей областям антропогенного загрязнения может быть выяснено в результате совместной обработки комплексных зондирований, выполненных в экспедиции. Использование прибора в условиях жесткого крепления к борту судна имеет проблемные вопросы в отношении измерения скорости течений, которые решаются на уровне специальной обработки первичных данных.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме № 0827-2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей на основе современных методов контроля состояния морской среды и гирдтехнологий»

ЛИТЕРАТУРА

1. **Морозов А.Н.** Коррекция данных *VMADCP* / А.Н. Морозов, В.К. Павлов // Системы контроля окружающей среды. – 2012. – Вып. 18. – С. 7 – 10.
2. **Deines K.L.** Backscatter estimation using broadband acoustic Doppler current profiler / K.L. Deines // Proceeding IEEE/OES 6th Working Conference on Current Measurement Technology. – 1999. – P.259 – 264.
3. **Морозов А.Н.** Оценка концентрации взвеси по данным *ADCP WHM1200* / А.Н. Морозов, Е.М. Лемешко // Системы контроля окружающей среды. – 2010. – Вып. 14. – С. 42 – 46.

НОВАЯ ВЕРСИЯ СИГМА-МОДЕЛИ ОКЕАНА ИВМ РАН ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ МИРОВОГО ОКЕАНА И ЕЁ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Гусев А.В.^{1,2}, Фомин В.В.³, Дианский Н.А.^{1,3}

¹ *Институт вычислительной математики РАН,
ул. Губкина, 8, 119333, г. Москва, 8(495)989-80-24,
anatoly.v.gusev@gmail.com*

² *Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-77-33,*

³ *Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова,
Кропоткинский пер., 6, 119034, г. Москва, 8(499)246-72-88,*

We present the improved version of the ocean general circulation sigma-model developed in the Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences (INM RAS). The main aim of the model development is using it as the oceanic component of the next version of the INM RAS climate system model INMCM

Представлена новая версия сигма-модели общей циркуляции океана, разработанная в ИВМ РАН. Предыдущая версия, получившая в международной практике наименование INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model), используется в качестве океанического компонента модели климатической системы INMCM (Institute of Numerical Mathematics Climate Model [1,2]. Кроме того, INMOM единственная из сигма-моделей в мире использовалась для расчётов по программе сравнения CORE-II (Coordinated Ocean-ice Reference Experiments, Phase II) [3-6]. В целом, результаты, полученные с помощью INMOM, на уровне других моделей-участников CORE-II и были использованы для исследования климатической изменчивости Северной Атлантики [7,8]. Тем не менее, подробный анализ некоторых результатов CORE-II показал особенности воспроизведения некоторых характеристик, такие как завышенный расход Антарктического Циркумполярного течения или заметное отклонение термохалинной структуры от климатических данных.

По итогам анализа предыдущих результатов расчёта было решено усовершенствовать модель INMOM. Ей было дано новое название

INMSOM (Institute of Numerical Mathematics Sigma Ocean Model), которое позволяет отличить её от предыдущей версии INMOM, а также от модели в z -координатах, разработанной совместно в ИВМ РАН и ИО РАН, называемой INMIO [9]. В модели INMOM был проведён ряд модификаций. Среди них формулировка задачи в терминах полной нелинейной свободной поверхности с учётом изменения объёма бассейна, усовершенствование описания горизонтального и вертикального турбулентного обмена, использование более совершенного алгоритма расчёта атмосферного воздействия [10], а также изменение схемы интегрирования по времени.

Новая модель INMSOM была протестирована на задаче воспроизведения циркуляции и термохалинного состояния Мирового океана с использованием высококачественных данных CORE для расчёта атмосферного воздействия. В докладе анализируются результаты новых расчётов, оценивается их качество и проводится сравнение результатами, полученными ранее по INMOM. Главная цель разработки INMOM – её дальнейшее использования в качестве океанического компонента новой версии модели климата INMCM.

Работа выполнена в ИВМ РАН при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-27-00126).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Володин Е.М., Дианский Н.А., Гусев А.В.** Воспроизведение современного климата с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана INMCM4.0 // Изв. РАН. Физ. атм. и океана. – 2010. – Т. 46. – № 4. – С. 448–466.

2. **Володин Е.М., Дианский Н.А., Гусев А.В.** Воспроизведение и прогноз климатических изменений в 19-21 веках с помощью модели земной климатической системы ИВМ РАН // Изв. РАН. Физ. атм. и океана. – 2013. – Т. 49. – № 4. – С. 379–400.

3. **Danabasoglu, G., Yeager S.G., Bailey D., et al.** North Atlantic simulations in Coordinated Ocean-ice Reference Experiments phase II (CORE-II). Part I: Mean states // Ocean Modelling. – 2014. – V. 73. – P. 76-107.

4. **Danabasoglu, G., Yeager S.G., Kim W.M. et al.** North Atlantic simulations in Coordinated Ocean-ice Reference Experiments phase II (CORE-II). Part II: Inter-annual to decadal variability // Ocean Modelling. – 2016. – V. 97. – P. 65–90.

5. **Downes S.M., Farneti R., Uotila P. et al.** An assessment of Southern Ocean water masses and sea ice during 1988–2007 in a suite of interannual CORE-II simulations // Ocean Modelling. – 2015. – V. 94. – P. 67–94.

6. **Farneti R., Downes S.M., Griffies S.M. et al.** An assessment of Antarctic Circumpolar Current and Southern Ocean Meridional Overturning Circulation during 1958–2007 in a suite of interannual CORE-II simulations // Ocean Modelling. – 2015. – V. 93. – P. 84–120.

7. **Гусев А.В., Дианский Н.А.** Воспроизведение циркуляции Мирового океана и ее климатической изменчивости в 1948–2007 гг. с помощью модели INMOM // Изв. РАН. Физ. атм. и океана. – 2014. – Т. 50. – № 1. – С. 3–15.

8. **Дианский Н.А., Гусев А.В.** Моделирование процесса изменения климата и современного замедления глобального потепления с помощью модели INMOM // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2015. – № 1. – С. 96–118.

9. **Ушаков К.В., Гранкина Т.Б., Ибраев Р.А.** Моделирование циркуляции вод Северной Атлантики в рамках эксперимента CORE-II // Изв. РАН. Физ. атм. и океана. – 2016. – Т. 52. – № 4. – С. 416–427.

10. **Large W., Yeager S.** The global climatology of an interannually varying air-sea flux data set // Clim Dyn. – 2009. – V. 33. – P. 341–364.

УДК 551.465

СИНОПТИЧЕСКИЕ ВИХРИ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ И РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Кубряков А.А., Станичный С.В., Мизюк А.И., Багаев А.В.,
Сендеров М.В., Пузина О.С.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Морской гидрофизический институт РАН»,
Ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь,
8(798)74-11-045, arskubr@ya.ru*

Satellite altimetry data and high-resolution modeling data together with automated eddy-identification method are used to study the characteristics of the Black Sea eddies. Geometric and kinematic properties of the eddies, their seasonal and interannual variability, changes during evolution, impact on the thermohaline structure was investigated.

Для исследования синоптической вихревой динамики Черного моря используется метод автоматической идентификации вихревых структур, основанный на определении замкнутых линий тока в поле аномалий скорости течений [1]. В первой части работы на основе регионального массива картированных аномалий уровня и средней динамической топографии из работы [2] были восстановлены ежедневные поля геострофической скорости течений. На основе этих данных за период с 1993 по 2015 гг. было идентифицировано более 1300 вихрей различного знака с временем жизни более 4 недель и диаметром более 40 км. Для каждого найденного вихря были определены следующие параметры: радиус, орбитальная скорость частиц в вихре, скорость перемещения центра, завихренность. На основе полученных массивов исследованы районы преимущественного возникновения и исчезновения вихрей, характерные траектории вихрей различного знака. Проведен анализ количества и продолжительности существования вихревых структур, построено пространственное распределение частоты наблюдения вихрей, их радиуса (рис. 1), скорости [3].

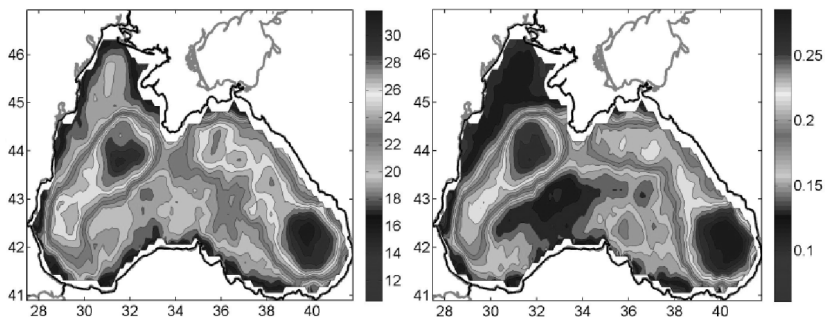


Рис. 1. Пространственное распределение среднего радиуса (слева) и скорости (справа) синоптических вихрей в Черном море

По данным спутниковой альтиметрии проведено исследование сезонной и межгодовой изменчивости количества, кинетической энергии, и размеров синоптических вихрей Черного моря. Показано, что период ослабления крупномасштабных течений сопровождается увеличением количества антициклонических вихрей, что связано с неустойчивостью Основного Черноморского Течения (ОЧТ) при его ослаблении [4]. В период возрастания скоростей ОЧТ, осенью – ранней зимой развиваются циклонические вихри. При максимально развитых течениях вихревая

динамика в бассейне подавляется и ОЧТ занимает практически всю акваторию[5,6].

На основе композитного метода исследованы особенности структуры вихрей в поле скорости, уровня, поверхностной температуры.

На основе комбинирования данных альтиметрии и исторических гидрологических измерений, в том числе данных буев Арго исследованы особенности термохальной структуры вихрей Черного моря. Определены средне аномалии солености и температуры в вихрях различного знака. Наибольшие отрицательные аномалии солености ($-0.2...-0.6$ psu) в антициклонах наблюдаются в слое 50–200 м. В циклонах аномалии солености положительные и меньше по амплитуде. В слое 50–150 м они составляют $+0.2...+0.5$ psu.

Аномалии температуры в синоптических вихрях разнонаправлены на различных глубинах, что связано с наличием Холодного Промежуточного Слоя (ХПС). В антициклонах скопление вод ХПС вызывает холодную аномалию в слое 70–400 м с максимумом -0.2° на глубине 120 м. В верхних слоях из-за скопления теплых поверхностных вод наблюдается теплая аномалия, которая на поверхности составляет $\sim +0.8^\circ$, на глубине 50 м $\sim +0.3^\circ$.

Отдельное внимание уделено эволюции динамической и термохальной структуры в процессе существования вихря. Размеры и орбитальные скорости вихрей интенсивно растут на протяжении первых 20% времени их существования (рис. 6а и 6б). К середине жизни они достигают максимальных значений: для антициклонов максимумы значений составляют в среднем $R=45$ км, $V_{max}=0.26$ м/с, для циклонов в среднем $R=35$ км, $V_{max}=0.18$ м/с. После достижения $\sim 80\%$ времени существования эти параметры начинают интенсивно убывать. Соответственно, наибольшие аномалии солености и температуры наблюдается в середине жизни вихря. В первую половину жизни в антициклоне пикноклин заглубляется, достигая самого низкого положение в центре существования вихря, затем пикноклин начинает подниматься до средних значений. Аналогичная, но обратная ситуация наблюдается в циклонах. На основе вертикального смещения изопикн получены профили вертикальной скорости в вихрях различного знака. Для антициклонов показано, что скорость направлена вниз в первую половину жизни и максимальна в начальный период времени. Максимум вертикальной скорости составляет $-8 \cdot 10^{-6}$ и наблюдается на глубинах 100–120 м. После середины жизни вертикальная скорость меняет знак и направлена вверх. Противоположная ситуация наблюдается для циклонов.

Для подробного исследования особенностей вертикальной структуры вихрей и её эволюции, а также получения информации о вихрях малых масштабах методы автоматической идентификации были развиты для трехмерных полей скорости, полученных по результатам численных расчетов. Для расчетов трехмерной эволюции полей Черного моря за 2004–2005 гг. использовалась конфигурация модели NEMO для Черного моря [6], с пространственным разрешением 2,5 км. В результате проведенного анализа были получены карты пространственного распределения циклонов и антициклонов Черного моря с радиксами от 5 км. Результаты показали, что крупные циклоны находятся справа от ОЧТ, а антициклоны слева, над континентальным склоном. В то же время между крупными антициклонами и берегом наблюдается пояс мелких циклонов, образование которых было описано в работах (Елкин Зацепин, 2014). На основе метода автоматической идентификации были рассчитаны также средние распределения нижней границы и толщины вихрей, вертикальное распределение динамических и геометрических параметров в вихре, их эволюция, исследована сезонная изменчивость параметров в вихрях Черного моря.

Работа Кубрякова А.А. выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60036 мол_а_дк Работа Багаева А.В., Мизюка А.И., Сендерова М.В., Пузиной О.С. выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00264 А.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Chaigneau A., Gizolme A., Grados C.** Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns // *Progress in Oceanography*. – 2008. – Т. 79. – №2. – С. 106–119.

2. **Kubryakov A. A., Stanichny S. V.** Mean Dynamic Topography of the Black Sea, computed from altimetry, drifter measurements and hydrology data // *Ocean Science*. – 2011. – Т. 7. – №6. – С. 745–753.

3. **Kubryakov A. A., Stanichny S. V.** Mesoscale eddies in the Black Sea from satellite altimetry data // *Oceanology*. – 2015. – Т. 55. – №1. – С. 56–67.

4. **Zatsepin A. G., Denisov E. S., Emel'yanov S. V., Kremenetskiy V. V., Poyarkov S. G., Stroganov O. Yu., Stanichnaya R. R., and Stanichny S.V.** Effect of Bottom Slope and Wind on the Near-Shore Current in a Rotating Stratified Fluid: Laboratory Modeling for the Black Sea / *Oceanology* – Vol. 45, Suppl. 1, 2005. pp. S13–S26

5. **Kubryakov A. A., Stanichny S. V.** Seasonal and interannual variability of the Black Sea eddies and its dependence on characteristics of the large-

scale circulation //Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. – 2015. – Т. 97. – С. 80–91.

6. **Kubryakov A. A.** et al. Long-term variations of the Black Sea dynamics and their impact on the marine ecosystem //Journal of Marine Systems. – 2016. – Т. 163. – С. 80–94.

7. **Елкин Д. Н., Зацепин А. Г.** Лабораторное исследование механизма сдвиговой неустойчивости морского вдольберегового течения //Океанология. – 2014. – Т. 54. – №. 5. – С. 614–621.

8. **Madec G.** NEMO reference manual, ocean dynamics component // Note du rôle de modélisation, IPSL, France N°27 ISSN N. 2008. P.1288–1619.

УДК 551.465

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ НАГОНОВ АЗОВСКОГО МОРЯ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Фомин В.В.¹, Дианский Н.А.^{1,2}

¹ *Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение
«Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова»,
Кропоткинский пер., 6, 119034, г. Москва, 8 (499) 246-72-88,
adm@oceanography.ru*

² *Институт Вычислительной Математики РАН, ул. Губкина, 8, 119333,
г. Москва, 8 (495) 984-81-20, director@mail.inm.ras.ru*

Paper presents results of numerical simulation of the strong surges occurred over the Sea of Azov in 2013, 2014 years. With using numerical simulation, its reproduction was carried out to study the formation features and find out the requirements for the precision of simulating atmospheric and marine circulation in the Sea of Azov.

В результате прохождения 24.03.2013 мощного циклона над южной частью Европейской территории России, способствовавшего формированию сильного юго-западного ветра со скоростями до 22 м/с в Азовском море, образовалась нагонная волна, направленная к устью р. Дон. Ветровой нагон вызвал повышение уровня воды в восточной части Таганрогского залива и в устье р. Дон. После сильнейшего исторического

таганрогского нагона 1997 г., в ряду наблюдений за 1881-2013 гг. исследуемый нагон 2013 г. с 3-метровой величиной перепадов максимального и минимального уровней моря у г. Таганрог стоит на втором месте. С помощью численного моделирования было проведено воспроизведение этого экстремального нагона с целью изучения особенностей формирования и выявления требований к точности воспроизведения атмосферной и морской циркуляции в акватории Азовского моря.

Для этого на основе б-модели морской циркуляции INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model), основанной на полных уравнениях морской гидротермодинамики, были реализованы версии модели Азовского моря с пространственным разрешением 4 км и 250 м. Для задания реалистического атмосферного форсинга над Азовским морем использовались три типа данных: реанализа ERA-Interim с пространственным разрешением 0.75° и результаты расчетов по региональным моделям атмосферной циркуляции RegCM (Regional Climate Model) с разрешением 20 км и WRF (Wether Reaserch Forecast) с пространственным разрешением 10 км. При этом для модели RegCM использовались исходные данные Era-Interim, а для модели WRF были произведены расчеты с 3-мя типами исходных данных: Era-Interim, CFSR и FNL. Главными факторами атмосферного форсинга, формирующего экстремальные морские нагоны являются ветер и давление на уровне моря.

Было показано, что расчет атмосферного воздействия с высоким пространственным разрешением по негидростатической модели WRF позволяет воспроизводить экстремальный нагон с наиболее высокой точностью. Было показано также что для акватории Таганрогского залива повышение пространственного разрешения несколько улучшает качество воспроизведения развития во времени экстремального нагона, особенно в прибрежных областях. Однако это улучшение по величине составляет в не более 3-5%, что говорит о том, что формирование нагона в основном определяется откликом на атмосферное воздействие циркуляции всего бассейна Азовского моря.

Также было показано, что результаты моделирования, полученные с использованием баротропной 3-х мерной версии модели и бароклинной 3-х мерной версии модели практически идентичны. Таким образом, не наблюдается существенного влияния вытока пресных вод р. Дон на формирование уровня в Таганрогском заливе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (молодежный грант № 16-35-00502).

ОПЕРАТИВНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРЯ С ПОМОЩЬЮ ПОРТАТИВНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ЛИДАРА УФЛ-9

Пелевин В.В., Осокина В.А.

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

UFL-9 provides real-time data about chlorophyll a, total organic carbon and total suspended matter concentration in the upper water layer. High-resolution maps of water quality parameters distribution are produced based on the measurements' results. The report presents the results of a research of the Atlantic Ocean upper water layer near the Rio Grande in December 2016.

На протяжении нескольких лет в экспедициях, организованных институтом океанологии им П.П.Ширшова, успешно используется ультрафиолетовый флуоресцентный лидар УФЛ-9 [1, 2].



Рис. 1. Ультрафиолетовый лидар УФЛ-9 на борту различных плавсредств

Данный прибор в режиме реального времени измеряет флуоресценцию и обратное рассеяние в верхнем слое воды на выбранных длинах волн, что позволяет оценить в режиме реального времени концентрации хлорофилла «а», окрашенного органического вещества в растворенном и взвешенном состоянии и концентрацию минеральной (общей) взвеси. Прибор собирает данные с частотой 2 Гц и транслирует на монитор компьютера, что позволяет принимать решение о траектории следова-

ния судна в оперативном режиме. Работа ведется в двух режимах – «разрез», когда измерения ведутся на ходу судна с частотой до 2 Гц одновременно в каналах флуоресценции органики, хлорофилла и обратного упругого рассеяния лазерного импульса на частицах взвеси, и «станция», с последовательной сменой 11 спектральных каналов приемника для получения более подробной картины флуоресценции воды.

Диапазоны измеряемых величин:

<i>концентрация хлорофилла «а», мг/м³</i>	<i>0,01÷400</i>
<i>концентрация общего органического углерода, мг/м³</i>	<i>0,1÷100</i>
<i>содержание взвеси, мг/л</i>	<i>0,1÷500</i>
<i>толщина слоя зондирования (функция мутности), м</i>	<i>0,1-10</i>

УФЛ-9 полностью автоматизирован, управление работой прибора и запись данных измерений осуществляется с помощью программного интерфейса. Оперативная информация и результаты зондирования обрабатываются в соответствии с разработанной методикой и отображаются на экране монитора.

Основные параметры лидара УФЛ-9:

Длина волны лазера – 355, 532 нм

Частота зондирования – 2 Гц

Энергия зондирующего импульса – 1,5 мДж

Длительность зондирующего импульса – 6 нс

Входная апертура приемника – 140 мм

Диапазон дальностей работы – 2 – 30 м

Спектральные каналы – 355, 385, 404, 424, 440, 460, 497, 550, 620, 651, 685 нм

Вес прибора, габариты – 35 кг, 700x500x230 мм

Электропитание – АС 110-220V

GPS-привязка каждого лазерного импульса

Ниже в качестве примера приведены результаты экспедиции в Бразилию в период с 30 ноября по 2 декабря 2016 года. Было сделано 3 дневных выхода на малом НИС *Larus*, лидар был доставлен в Бразилию самолетом в личном багаже участников экспедиции. На основании собранного массива данных и лабораторного анализа отобранных для калибровки проб были построены карты пространственного распределения хлорофилла «а», общего органического углерода и минеральной взвеси (рис. 2, 3, 4) в поверхностном слое на континентальном шельфе Атлантического океана, в районе города Рио-Гранди, Бразилия (рис. 5).

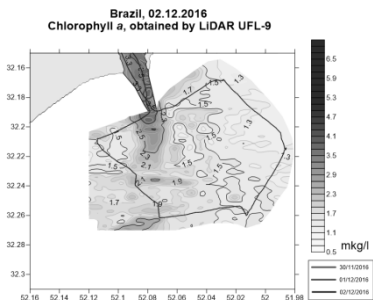


Рис. 2. Распределение концентрации хлорофилла «а»

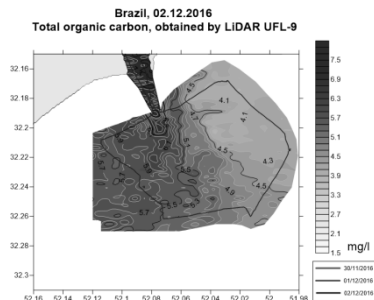


Рис. 3. Распределение концентрации общего органического углерода

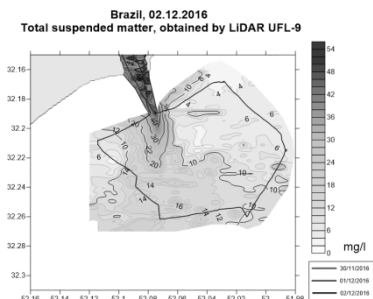


Рис. 4. Распределение концентрации минеральной взвеси



Рис. 5. Район работ на территории шельфа Атлантического океана

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Собранный лидаром массив данных был обработан сразу же по окончании экспедиции, откалиброван по данным пробоотбора и по результатам были построены карты пространственного распределения параметров качества воды с высоким пространственным разрешением.

2. С учетом полученного опыта работы лидаром УФЛ-9 на водоемах разного типа, возможен оперативный сбор подспутниковой информации для сопоставления с данными измерений спутниковыми радиометрами [3]. Значительные массивы параллельных измерений могут быть использованы для создания и улучшения региональных алгорит-

мов обработки спутниковых снимков, поскольку возможен оперативный сбор большого количества данных с акватории значительных размеров за несколько часов, при этом практически одновременно со спутниковыми измерениями.

3. Лидар успешно применялся более, чем в 40 экспедициях, в том числе в Карском, Северном, Аральском, Южно-Китайском, Черном, Каспийском, Балтийском морях, в шельфовой части Атлантического океана, озерах Балатон и Иссык-Куль.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Пелевин В.В., Завьялов П.О., Беляев Н.А. и др.** Пространственная изменчивость концентраций хлорофилла «а», растворенного органического вещества и взвеси в поверхностном слое Карского моря в сентябре 2011г. по лидарным данным // *Океанология* – 2017. – 57, 1. – С.1-11

2. **Palmer S.C., Pelevin V.V., Goncharenko I.V. et al.** Ultraviolet Fluorescence LiDAR (UFL) as a Measurement Tool for Water Quality Parameters in Turbid Lake Conditions // *Remote Sens* – 2013. – 5. – С.4405-4422. <http://www.mdpi.com/2072-4292/5/9/4405>

3. **Pelevin V., Zavalov P., Konovalov B., Zlinszky A., Palmer S., Toth V., Goncharenko I., Khymchenko L., Osokina V.** Measurements with high spatial resolution of chlorophyll-a, CDOM and total suspended matter in coastal zones and inland water bodies by the portable UFL lidar. // *Proceedings of 35th EARSeL Symposium, 2015.*

<http://www.earsel.org/symposia/2015-symposium-Stockholm/pdf/proceedings/Pelevin.pdf>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРГО-МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ОКЕАНА (АМИГО) ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИАГНОЗА И МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ СРЕДЫ

Лебедев К.В.

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

The newly developed Argo-Based Model for Investigation of the Global Ocean (AMIGO) variationally interpolates irregularly located Argo floats measurements to a regular global $1^\circ \times 1^\circ$ grid and makes it possible to obtain current velocity using a model hydrodynamic adjustment of variationally interpolated fields.

Наступление эры спутниковых наблюдений за поверхностью океана и развитие проекта Арго, направленного на сбор с использованием спутников информации о толще океана, дает сегодня ученым уникальные возможности непрерывного мониторинга состояния Мирового океана. Целью международного проекта Арго является создание и поддержание постоянно действующей глобальной сети океанографических станций на основе дрейфующих буй-измерителей. Работа измерителей происходит по следующей схеме. Буй дрейфует около 10 суток на заданной глубине, затем опускается на глубину 2 км и всплывает на поверхность, измеряя температуру и соленость. Во время нахождения на поверхности данные передаются на спутники, которые определяют точное местоположение прибора, после чего буй снова опускается на глубину. Энергии батарей хватает на 3–4 года работы. По состоянию на сегодняшний день в Мировом океане непрерывно работает около 4000 измерителей Арго.

В 2014 г. в Институте океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН) была разработана не имеющая аналогов в мире Арго-модель исследования глобального океана (АМИГО) и началось создание новых массивов океанологических данных, основанных на измерениях Арго [1]. Модель позволяет рассчитать по измерениям Арго полный набор характеристик океана: температуру, соленость, плотность и, что самое важное, скорость течений. Выполненные расчеты с исполь-

зованием данных Арго охватывают 10-летний период с 2005 по 2014 гг. [2]. Представленные ниже карты солёности и температуры, полученные с использованием методики АМИГО, являются наглядной иллюстрацией тех новых возможностей по мониторингу океана, которые получили ученые после начала измерений по программе Арго.

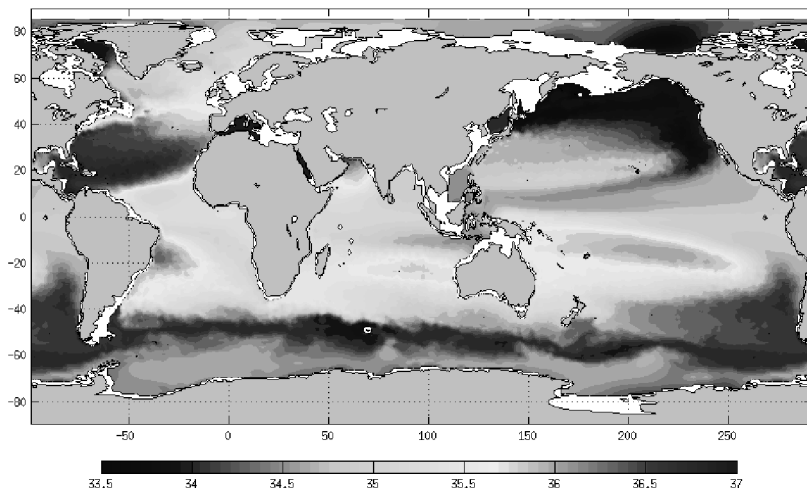


Рис. 1. Среднеклиматическое поле солёности Мирового океана на горизонте 200 м

На распределение солёности (рис. 1), кроме потоков влаги с поверхности и процессов перемешивания, большое влияние оказывают течения. В южной части океанов отчетливо выражено самое сильное течение Мирового океана – Антарктическое циркумполярное, замкнутый круговой поток восточного направления, положение которого хорошо прослеживается по минимуму солёности окружающих Антарктиду вод. На востоке Индийского океана в районе южнее экватора виден распределенный язык, сформировавшийся в результате поступления через Индонезийские проливы вод пониженной солёности из Тихого океана. Относительно низкая солёность северной части Тихого океана является следствием преобладания осадков над испарением. Высокая солёность вод тропической и субтропической Атлантики и Средиземного моря связана с осолонением поверхностных вод, вызванным интенсивным испарением в этих районах.

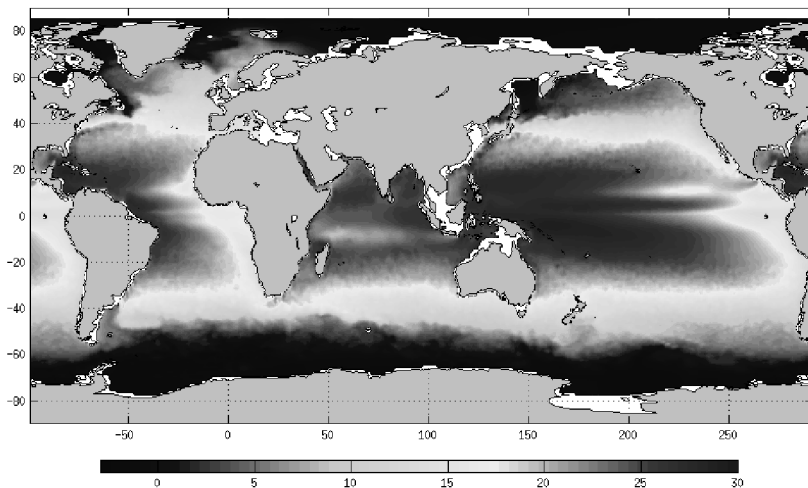


Рис. 2. Среднеклиматическое поле температуры Мирового океана на горизонте 75 м

В распределении температуры (рис. 2) преобладает зональность, а заметные в восточных частях океанов отклонения от зонального распределения обусловлены течениями. Хорошо видны антициклональные субтропические круговороты Тихого и Атлантического океанов. Круговороты асимметричны, центры круговоротов значительно сдвинуты к западу, что определяется хорошо известной океанологам западной интенсификацией течений, ярким примером которой может служить течение Гольфстрим в Атлантическом океане. Заметное отклонение температуры от зонального распределения, наблюдаемое в северной части Атлантического океана, вызвано переносом на север теплых вод Гольфстрима его продолжением, Северо-Атлантическим течением, и поступлением холодных арктических вод из моря Лабрадор. Перенос теплых вод Северо-Атлантического течения в Арктический бассейн является определяющим фактором, формирующим погоду в Северной Европе и на севере европейской территории России, в частности, в Мурманской и Архангельской областях, Баренцевом и Карском морях.

Тепло Гольфстрима переносится на север Европы Норвежским течением. Массивы океанологических данных АМИГО за 2005–2014 гг. позволяют проследить изменчивость этого переноса.

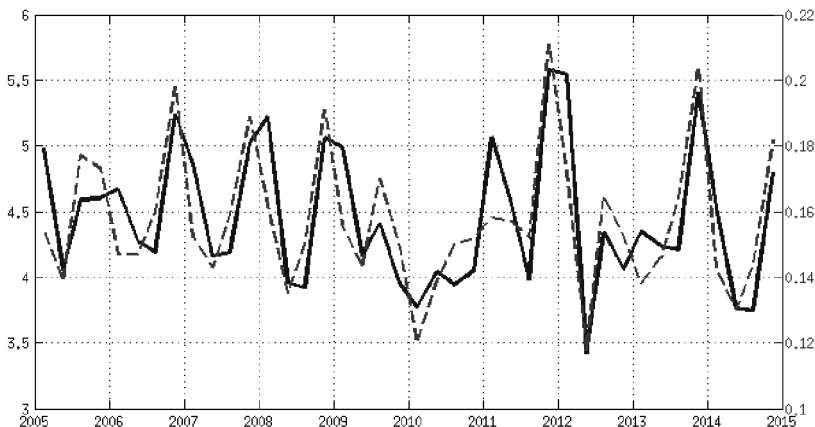


Рис. 3. Изменчивость расхода (сплошная) и теплопереноса (пунктир) в Норвежском течении в 2005–2014 гг.

На рис. 3 показаны рассчитанные по данным АМИГО графики изменений среднесезонных расходов и переносов тепла Норвежским течением за последние 10 лет. Их анализ позволяет выделить anomalно низкие зимние переносы в 2010 и 2013 гг. и большую положительную аномалию зимой 2012 г. То огромное влияние, которое оказывают колебания зимних расходов Норвежского течения на формирование погодных аномалий, хорошо видно из анализа данных метеонаблюдений на севере европейской части России: записи метеостанций показывают, что температуры на севере европейской территории России в феврале 2010 г. и марте 2013 г. были одними из самых низких за всю историю метеонаблюдений, а январь 2012 г., напротив, был одним из самых теплых.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-50-00095.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лебедев К.В.** АМИГО – Argo модель исследования глобального океана // Двенадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва. ИКИ РАН, 10-14 ноября 2014. Тезисы докладов. 2014. С. 260.
2. **Лебедев К.В.** Argo-модель исследования глобального океана (АМИГО) // Океанология. 2016. Т.56. №2. С. 186–196.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕЗОМАШТАБНЫХ ВИХРЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Сендеров М.В., Мизюк А.И., Кубряков А.А.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Морской гидрофизический институт РАН»
ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, смотри образец
E-mail: senderovmaxim@gmail.com*

The procedure of the automatic eddy identification is applied to results of high-resolution modelling of the Black and Azov Sea hydrophysics. The statistics of the horizontal and vertical length scales of the eddies is presented

Синоптические вихри являются важнейшими элементами динамической структуры черноморского бассейна. Существует несколько способов их изучения. Контактные методы имеют ряд несомненных достоинств: они позволяют получить информацию о трехмерной структуре вихрей в полях различных параметров. Их недостаток связан с нерегулярностью измерений. Спутниковые изображения в инфракрасном (ИК) и оптическом диапазонах спектра имеют большее пространственное разрешение, однако облачность препятствует получению спутниковых данных на регулярной основе.

Преимущество имеют спутниковые альтиметрические измерения. Такие данные доступны на регулярной основе. Этим данным не препятствует облачность, что позволяет охватывать всю исследуемую область. Исследование синоптических вихрей в Черном море с применением данных спутниковой альтиметрии проводились ранее [1- 3]. В работах [1, 2] анализ проводился на основе визуальной идентификации вихрей. Процедура автоматической идентификации вихрей позволила повысить точность обнаружения вихревых структур [3]. Однако, альтиметрические данные не дают представления о вертикальной структуре вихрей.

Полученный программный продукт легко адаптируется к результатам численного моделирования циркуляции.

Процедура автоматической идентификации вихрей основана на методе «winding angle» – «угол намотки» [3–5]. Данный метод основан на выделении областей, ограниченных замкнутыми линиями тока.

Для идентификации вихря в конкретный момент времени поле скоростей замораживается и на его основе запускается виртуальная частица в каждом узле сетки. Ее траектория рассчитывается методом Эйлера [5]. На каждом шаге работы алгоритма рассчитывается суммарный угол отклонения частицы – «угол намотки». При превышении угла в 360° предполагается, что частица совершила круговой оборот, т. е. располагается на замкнутой линии тока. Объединение линий тока будет образовывать вихрь.

Далее необходимо разделить найденные области на индивидуальные вихри. Затем проводится процедура кластирования по центрам траекторий. Частицы, обращающиеся вокруг двух различных центров кластеров, соответствуют разным вихрям. После того, как вихревые образования были выделены, выполняется процедура определения траекторий отдельных вихрей [5].

Приведенная процедура была адаптирована к данным численного моделирования гидродинамики Черного и Азовского морей с пространственным разрешением 2,5 км, которые получены посредством модельного комплекса NEMO [6].

Использование процедуры автоматической идентификации позволило изучить статистические параметры вихрей. В работе исследуются пространственные характеристик мезомасштабных вихрей, например, распределение радиусов циклонов и антициклонов в Черном море (рис. 1). Можем заметить, что антициклоны с наибольшими радиусами располагаются (лаг — лож! Не проверял грамматику хотя бы самим либром) вдоль свала глубин, в районах севастопольского и батумского антициклонов (рис. 1 а, в). Циклоны с максимальными радиусами расположены главным образом в глубоководной части бассейна (рис. 1 б, г).

Еще один исследуемый параметр – глубина проникновения циклонов и антициклонов (рис. 2). Максимальная глубина проникновения достигаются в районе свала глубин у северозападного шельфа (рис. 2 а, в). В отличие от них циклоны в глубоководной части проявляются на меньших глубинах (рис. 2 б, г).

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00264_А.

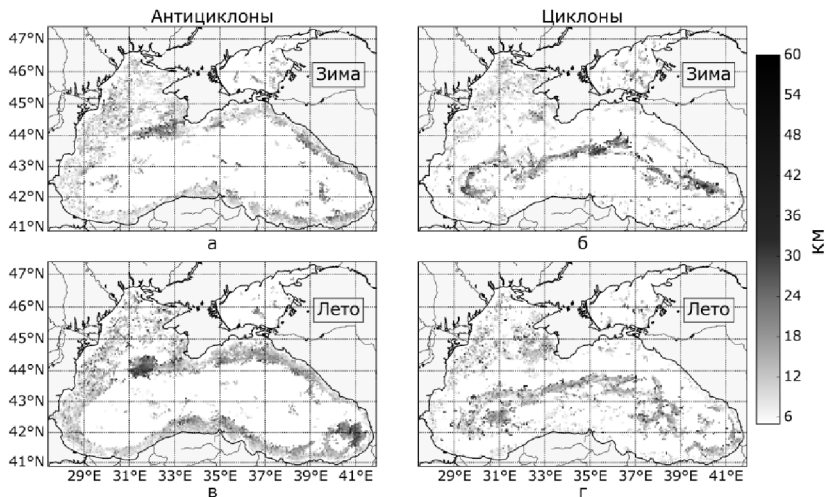


Рис. 1. Распределение радиусов вихрей в антициклонах и циклонах, зимой (а, б) и летом (в, г)

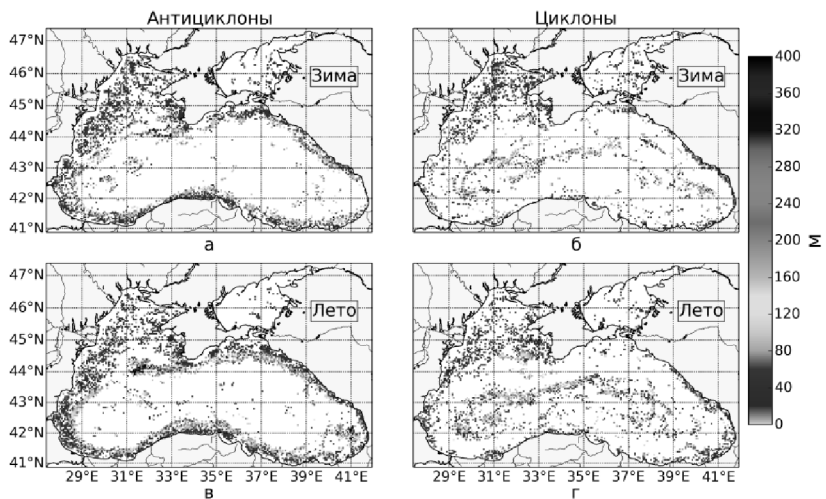


Рис. 2 Максимальные глубины проникновения антициклонов и циклонов зимой (а, б) и летом (в, г)

ЛИТЕРАТУРА

1. **Korotaev G., Oguz T., Nikiforov A. et al.** Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data / Korotaev G., Oguz T., Nikiforov A. et al. // *J. Geophys. Res.* 2003. V 108. No C4. P. 3122.
2. **Staneva J.V., Dietrich D.E., Stanev E.V. et al.** Rim Current and coastal eddy mechanisms in an eddy resolving Black Sea general circulation model / Staneva J.V., Dietrich D.E., Stanev E.V. et al. // *J. Mar. Syst.* 2001. V. 31. No 1. P. 137–157.
3. **Кубряков А. А., Станичный С. В.** Синоптические вихри в черном море по данным спутниковой альтиметрии / А. А. Кубряков, С. В. Станичный // *Океанология*, 2015, том 55, № 1, с. 65–77.
4. **Chaigneau A., Gizolme A., Grados C.** Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns / Chaigneau A., Gizolme A., Grados C. // *Progr. Oceanogr.* – 2008. – 79, No 2. – P. 106–119.
5. **Ari Sadarjoen I., Post F.H.** Detection, quantification, and tracking of vortices using streamline geometry / Ari Sadarjoen I., Post F.H. // *Comp. and Graph.* – 2000. – 24, No 3. – P. 333–341.
6. **Madec G.** NEMO reference manual, ocean dynamics component / Madec G. // *Note du pôle de modélisation, IPSL, France N°27 ISSN N. 2008. P.1288–1619.*

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ РОССИИ

Гогоберидзе Г.Г.¹, Казеев И.В.², Заболотников Г.В.¹

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр., 98, 195196, г. Санкт-Петербург, +7-812-633-0192, ggg@rshu.ru

² Министерство образования и науки Российской Федерации, Департамент науки и технологий, Тверская ул., 11, 125993, г. Москва, ГСП-3, kazeev-iv@mon.gov.ru

The paper presents the main challenges to the sustainable development of the Russian Arctic and the importance marine research and monitoring, highlighting the main objectives of their development.

Сегодня в мире наблюдается резкий всплеск интереса к Арктической зоне. В Арктике содержится колоссальное количество неразработанных энергоресурсов – нефти и газа, и разведанные запасы нефти в Арктике (как на шельфе, так и на суше) составляют немногим меньше 100 млрд баррелей. Через Арктику проходит кроссполярный авиамост (кратчайший путь между Северной Америкой и Азией) и Северный морской путь — кратчайший морской путь между Восточной Азией и Европой.

При этом ресурсопользование в Арктике – крайне сложный и опасный с точки зрения экологии процесс, т.к. в условиях сурового климата Арктики вероятность аварийных ситуаций возрастает в разы. Вместе с тем Арктика – одно из немногих мест на планете, которым еще предстоит национальное присвоение, ведь изначально ресурсы не были поделены между странами. На арктические зоны претендуют как минимум пять государств: Россия, Норвегия, Дания, Канада и Соединенные Штаты, которые имеют выход к побережью Северного Ледовитого океана. Национальные претензии могут в будущем подкрепляться разными аргументами, но главный из них – практический, то есть реальная готовность страны активно осваивать Арктику.

Россия на протяжении всего исторического времени системно подходила к вопросам освоения арктических регионов. За последние несколько лет приняты несколько основополагающих стратегических до-

кументов, главным из которых являются «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу», в которых выдвинуты задачи использования Арктической зоны в качестве стратегической ресурсной базы для социально-экономического развития страны, сохранения Арктики в качестве зоны мира и сотрудничества и сбережения местных уникальных экосистем.

Приоритетными направлениями развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности являются, помимо комплексного социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения экологической безопасности и военной безопасности, защиты и охраны государственной границы Российской Федерации в Арктике, – развитие науки и технологий, морских исследований и средств мониторинга.

В рамках деятельности Государственной комиссии по вопросам развития Арктики сформирована рабочая группа «Развитие образования и науки», под руководством Минобрнауки России. Эта группа, проанализировав текущую ситуацию и вызовы сегодняшнего дня по устойчивому освоению Арктических регионов, выделила такие основные вызовы, как:

- обеспечение высокого качества жизни в Арктических регионах;
- смягчение последствий изменения климата и снижение уровня экологических рисков;
- повышение уровня информационной инфраструктуры Арктических регионов;
- создание современной транспортно-логистической инфраструктуры и ее обеспечивающих компонент.

Учет и восприятие этих вызовов позволяют предотвратить те негативные последствия, которые в настоящее время являются угрозами для устойчивого освоения арктических регионов. Особую важность в данном аспекте приобретают экспедиционные исследования и разработки, в том числе связанные с обеспечением устойчивого функционирования Северного морского пути как единой национальной транспортной магистрали Российской Федерации, ориентированной на круглогодичное функционирование.

Не секрет, что в сфере науки и технологий в настоящее время отмечается дефицит технических средств и технологических возможностей по изучению, освоению и использованию арктических пространств и ресурсов, с одновременным возрастанием техногенной и антропогенной нагрузки на окружающую среду с увеличением вероятности достижения ее предельных значений в некоторых прилегающих к Российской Федерации акваториях Северного Ледовитого океана, характеризующихся

наличием особо неблагоприятных зон и высоким уровнем накопленного экологического ущерба.

В целях развития науки и технологий арктической направленности необходима целенаправленная работа по формированию конкурентоспособного научно-технологического сектора в области разработки и внедрения передовых технологий и материалов, адаптированных к природно-климатическим условиям Арктики, а также внедрение технических средств и приборной базы, адаптированных к проведению полярных морских научных исследований, прежде всего в области рационального природопользования, освоения морских месторождений полезных ископаемых и водных биологических ресурсов, а также предотвращения и ликвидации аварийных разливов нефти в ледовых условиях.

Определенные предпроектные разработки по импортозамещению технической базы необходимы для создания локальных систем гидрометеорологического обеспечения, которые используют для наблюдений зарубежные средства (волнографы, измерители течений, обратные сонары и др.). Создаваемые локальные системы наблюдений необходимы также для экологического мониторинга морских акваторий при разработке месторождений полезных ископаемых, в том числе нефти и газа.

Отметим, что Россия располагает всего двумя научно-экспедиционными судами, способными работать в сложных ледовых условиях («Академик Трёшников» и «Академик Фёдоров»), которые в последние годы используются в Арктике, главным образом, по проектам НК «Роснефть», в совместных международных проектах и, эпизодически, в работах по обоснованию внешней границы континентального шельфа РФ. Государственными научными проектами суда практически не востребованы, хотя эти суда, а также дизельные и атомные ледоколы позволяют России проводить исследования в арктических морях практически круглогодично.

Важной задачей является обеспечение скоординированности и системности российских исследований, выполняемых по проектам различных программ и фондов. Одним из возможных механизмов может быть создание арктических разделов или секций в рамках таких структур, что позволит более системно решать актуальные научные проблемы.

Несомненно, что одной из важных составляющих развития морских исследований является также расширение международного научного сотрудничества в Арктике. Это предусматривает в первую очередь осуществление регулярного обмена информацией о состоянии окружающей среды, а также данными о климате Арктики и его динамике, развитие международного сотрудничества в области совершенствования сис-

тем гидрометеорологических наблюдений за климатом Арктики, в том числе из космоса и, естественно, организацию комплексных международных научно-исследовательских экспедиций.

В целом задачи развития морских исследований и систем мониторинга АЗРФ включают:

- обеспечение эффективного использования и развития арктической инфраструктуры и восстановление востребованных баз, стационаров, полигонов и постов для проведения долгосрочных наблюдений, особенно в районах развивающейся хозяйственной деятельности (районы Баренцева и Карского морей и др.);

- создание новых и использование существующих современных технологий научных исследований;

- восстановление и развитие морских экспедиционных исследований с целью проведения государственного мониторинга состояния внутренних морских вод и территориального моря Российской Федерации в Арктике, исключительной экономической зоны и континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане;

- проектирование и строительство подводных и глубоководных аппаратов, позволяющих осуществлять комплексные исследования глубинных и придонных слоев Северного Ледовитого океана;

- развитие космической системы наблюдений и сбора информации (серия «Арктика», «Метеор») с перспективой использования российских спутников и средств доступа к спутниковым данным, ускорение работ по созданию российских спутниковых систем;

- привлечение коммерческих структур на основе партнерства, повышение их заинтересованности в морских наблюдениях и открытии данных для потребителей.

НЕПРЕРЫВНЫЕ DART НАБЛЮДЕНИЯ В ОКРАИННЫХ МОРЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА – НЕОБХОДИМОСТЬ ПРОДОЛЖЕНИЯ И РАЗВИТИЯ

Кантаков Г.А.

*Научно-Производственное Объединение «ДЭКО»
426, Мира пр-т, г. Южно-Сахалинск, 693004, Россия, +74955751164,
gennadykantakov@mail.ru*

Since 2010 Russian DART systems are detected 22 tsunamis, Tohoku and others. Continuation and development of DART measurements in the North-West Pacific with Sea of Okhotsk and Sea of Japan are shown as sharp neediness.

Доклад преследует несколько целей. Одна из них состоит в опубликовании собранных разносторонних данных о технологии наблюдений цунами открытого океана на современном этапе. В нем представлены примеры успешной работы систем раннего предупреждения DART РФ, установленных в океане по Федеральным Целевым Программам (ФЦП), описаны события цунами северо-западной Пацифики в 2010–2016 гг. В то же время, доклад отражает противоречивую картину государственной политики наблюдений цунами в РФ.

Содержание доклада может стать обоснованием для ряда решений правительственного масштаба: от признания обязательности продолжения работ по раннему оповещению цунами на ДВ побережье РФ и оживления соответствующих ФЦП до изменения законодательства Law of the Sea (1984) с целью усиления по меньшей мере юридической защиты океанских измерительных систем вне зависимости от флага принадлежности. Кроме того, в докладе затрагивается история наблюдений уровня открытого океана и уроки первых опытов наблюдений цунами периода 1970-1980 гг. В целом, доклад призван акцентировать внимание читателя на главном – создание комфортных и безопасных условий жизни населения и береговой инфраструктуры Дальнего Востока РФ, путем непрерывного слежения за угрозами океана, в частности, цунами, метеоцунами, штормовых нагонов и сейш – там, где требуются измерения уровня свободной водной поверхности.

В докладе рассматриваются результаты работ по мониторингу цунами в открытой северо-западной части Тихого океана с 2010 года по на-

стоящее время. Пока все еще остаются технические возможности и опыт для развертывания и поддержки систем такого рода в работоспособном состоянии на протяжении многих лет. Однако дело состоит не просто в копировании надежных технологий или организации их производства в стране по лицензии. В докладе отмечено, что задача современных наблюдений цунами в открытом океане неизменно ставит более глубокие организационные и производственные вопросы как на уровне Академии Наук (ФАНО) и Росгидромета, так и многих других ведомств и бизнеса.

О международном сотрудничестве. Прогресс исследований цунами в 1970-ых годах базировался отчасти на целевой кооперации СССР и США в области охраны окружающей среды от 23 мая 1972 г., раздел IX-2 «Создание объединенной системы США-СССР по предупреждению о цунами («приливных волнах, вызываемых землетрясениями»). Известно также, что в начале истории международного обмена с США по развитию океанских автономных систем цунами прослеживается деятельное участие специалистов и ученых Академии Наук и Росгидромета. Оно обрывается на официальном уровне в 1980-ые годы и возобновляется спустя 30 лет – только в 2000-ых годах, затем снова приостанавливается с 2014 года.

Международное взаимодействие по цунами в рамках затрагиваемой тематики рассматривается как кооперация по наблюдениям цунами открытого океана, обмену данными и технологиями с США, Японией, Южной Кореей, КНДР в части возможного размещения станций в северо-западной части Тихого океана и в акватории Японского моря. Оно базируется на преемственности истории международного взаимодействия по цунами. Прежде всего – между СССР и США в 1972–1978 гг., а также на совместных работах Россия – США в Тихом океане с 2010 года по настоящее время, исходя из текущих результатов и перспектив сотрудничества по техобслуживанию станций DART в северо-западной части Тихого океана.

Поэтому предлагаемый доклад целиком посвящен измерениям уровня воды в открытом океане с помощью автономных устройств. В нем, собранная информация сводилась и рассматривалась с точки зрения перспектив применения океанских автономных станций раннего предупреждения цунами в интересах защиты прибрежного населения в северо-западной части Тихого океана, а также в акваториях Японского, Охотского, Берингова, Черного, Балтийского и Белого морей, Арктического шельфа и свала глублин.

Последующие рекомендации доклада предлагаются для информационной поддержки решений управленцев, ученым, специалистам и заинтересованной публике. Они касаются дальнейших перспектив наблюдений длинноволновых процессов и цунами открытого океана автономными приборами и платформами для защиты населения, береговой инфраструктуры субъектов РФ и ближайших к дальневосточному побережью России стран – Японии, Южной и Северной Корей, Китая и США.

Структура доклада следующая: информация разбита на 5 разделов. В Разделе 1 рассмотрена краткая история инструментальных автономных измерений цунами открытого океана. Здесь, на основе литературных источников, показана диспозиция стран и разработок на начало 1970-х гг. в вопросе создания систем предупреждения цунами, начинавших собственные и международные исследования. Отмечено, что наличие государственных специализированных программ не являлось гарантией быстрого технического прогресса и научного успеха по цунами нигде – ни в СССР, ни в Японии, ни в США. В то же время, успех DART можно объяснить сохранением изначальной команды создателей, достижениями на близких по задачам направлениях – ТАО, спутниковой передачи данных, гидроакустических модемов и постепенное развитие прототипа до нынешней формы DART-II и его модификаций. В то же время, 2004 год являлся официально последним годом разработок DART в США и лишь цунами на Суматре 26 декабря 2004 года и последовавшая гуманитарная катастрофа привлекает повышенное глобальное внимание, а затем и усиленную поддержку правительства США разработок по цунами PMEL (NOAA, Seattle), сохраняемой и по настоящее время.

В Разделе 2 рассмотрены составляющие и эволюцию системы DART, включая находящиеся в российской эксплуатации – STB DART-II © и ETD©. Раздел 3 дает полное подробное техническое описание DART-II© и ETD©. Раздел 4 посвящен результатам работ российского сегмента DART тихоокеанской сети раннего предупреждения цунами в северо-западной части Тихого океана с ноября 2010 по январь 2017 г.

С 2010 г. системами DART РФ удалось обнаружить 22 события цунами, включая Тохоку 2011 и другие. Раздел включает в себя подробную информацию по эксплуатации, отслеженным событиям цунами. Освещен также и ряд внештатных форс-мажорных ситуаций, включая необъяснимое уничтожение измерителей цунами и судебное преследование специалистов по цунами управлением ФСБ Сахалинской области в 2013-2014 гг., исковую подготовку документов к китайской компании по доказательствам фатального вывода из строя STB № 21401, необходимость внесения новых международных норм права для охраны океан-

ских измерительных систем. Отдельно рассмотрен вопрос фактического бездействия подразделений Правительства РФ по поддержке океанских станций раннего предупреждения цунами и их дальнейшего развития в 2016 году и далее. Раздел 5 – дискуссия по вопросам подходов к изменению цунами и его последствий, эксплуатации и перспективам использования DART на ДВ и иных морях РФ, возможности организации сервиса станций DART в северо-западной части Тихого океана.

Заключение доклада включает в себя основные выводы и рекомендации по продолжению непрерывных работ с DART и их развитию в российских морях северо-западной части Тихого океана и, возможно, на других акваториях.

УДК 551.46

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ВОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В РАМКАХ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ

Григорьев А.В.¹, Зацепин А.Г.², Кубряков А.И.³, Шаповал К.О.⁴

¹ *Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Крпоткинский пер., 6, 119034, г. Москва, 9(499)246-39-70, ag-privat@mail.ru*

² *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, zatsepin@oceanl.ru*

³ *Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, 8(8692)540-291, alex.kubr@gmail.com*

⁴ *Московский физико-технический институт (государственный университет), Институтский пер., 9, 141707, г. Долгопрудный, 8(919)772-09-88, kseniya.shapoval@phystech.edu*

The results of the monitoring of the water dynamics and thermohaline structure in the Black Sea North-Eastern part, derived from the operational oceanology tasks, are presented. Examples of calculations are presented and their comparison with space remote sensing and in situ (hydrological measurements) data is fulfilled.

Приводятся результаты мониторинга термохалинной структуры и динамики вод северо-восточной части Черного моря, полученных в рамках задач оперативной океанологии. Данные моделирования оценены как по степени физической адекватности, так и в количественном соответствии данным натурных измерений (контактных и дистанционных).

Моделирование осуществлялось на основе общебассейновой модели МГИ с горизонтальным разрешением ~5 км и региональной модели РОМ северо-восточной области моря с горизонтальным разрешением ~1 км (RuRem), совмещенных по методу «вложенных сеток». являющихся частью автоматизированной системы и диагноза и прогноза вод Черного моря и его регионов (рисунок 1 [1]).

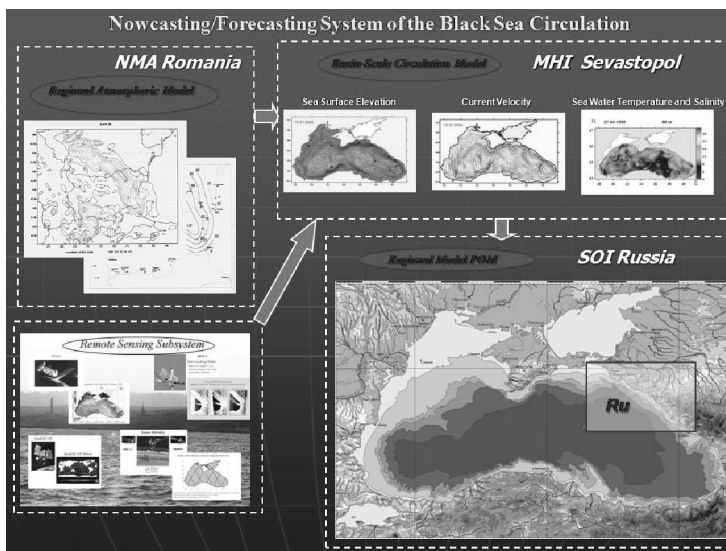


Рис. 1. Система диагноза и прогноза динамики вод российской зоны Черного моря

Региональная модель верифицирована по данным дистанционных и контактных наблюдений, что позволяет воспроизводить вихри с характерным горизонтальным масштабом ~10 км, рисунок 2 [2]. Синоптическая изменчивость в пространстве и времени хорошо выражена в модельных расчетах динамики вод региона. Региональная модель хорошо отражает различие в характере динамики вод в холодный и теплый периоды года.

Оценки точности прогнозов на основе крупномасштабной (МГИ) и региональной (RuRem) моделей производились посредством сравнения данных моделирования с данными контактных наблюдений на морских ГМС Кавказского побережья Черного моря и данных зондирований заякоренного прибора AQUALOG ИО РАН, расположенного в районе Голубой бухты (г. Геленджик), 2012 г. Использовались данные реанализа на основе модели МГИ, диагноз (с усвоением спутниковых данных температуры поверхности моря и аномалий уровня), а также диагностических и прогностических данных модели RuRem. Примеры графиков временного хода модельных и измеренных значений температуры и солёности приведены на рисунках 3 и 4.

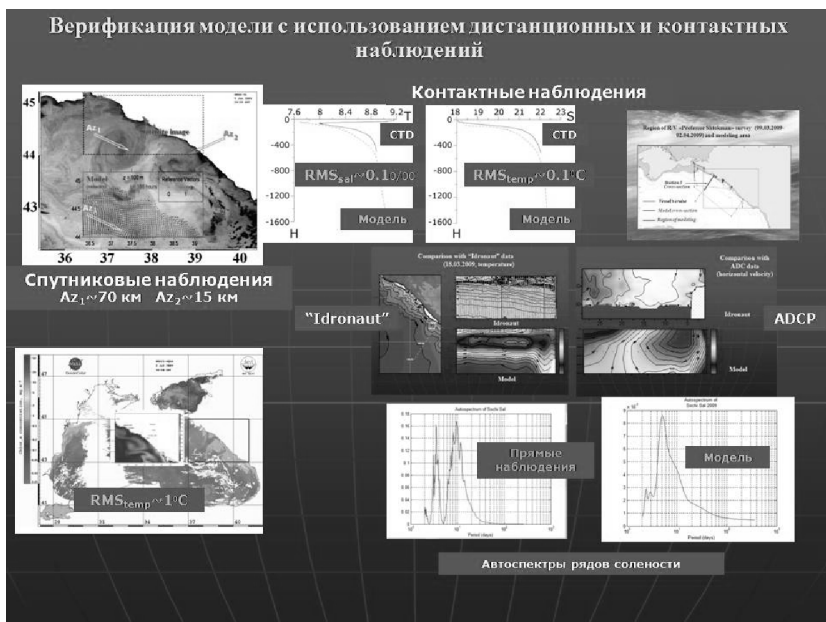


Рис. 2. Результаты верификации региональной численной модели по данным дистанционных и контактных наблюдений

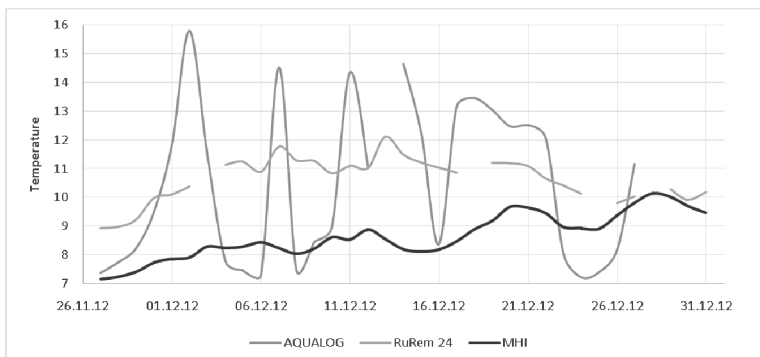


Рис. 3. Временной ход температуры на глубине 50 м (AQUALOG, модели МГИ и RuRem)

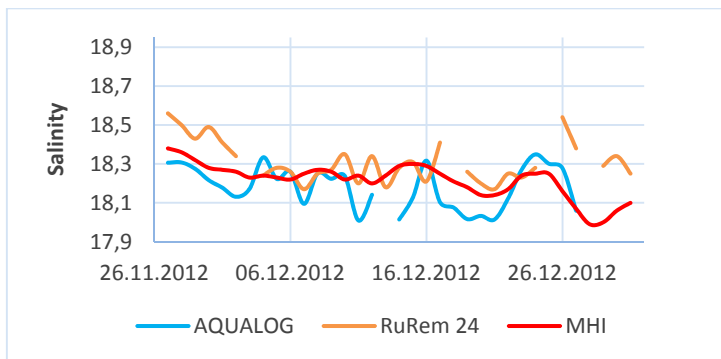


Рис. 4. Временной ход солености на глубине 50 м (AQUALOG, модели МГИ и Rurem)

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kubryakov, A. I., Korotaev, G. K., Dorofeev, V. L., Ratner, Y. B., Palazov, A., Valchev, N., Malciu, V., Mateescu, R., and Oguz, T.** Black Sea coastal forecasting system. – *Ocean Sci.*, 8, 183-196, doi:10.5194/os-8-183-2012/

2. **Grigoriev A.V., Zatsepin A.G.** Numerical Modeling of Water Dynamics of Russian Zone of the Black Sea within the Framework of Operational Oceanography Tasks. – *J Coast. Dev.*, 2014, 17:1, <http://dx.doi.org/10.4172/1410-5217.1000387>.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛНЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАЛЬНОМЕРА

Рахман А.О.¹, Штремель М.Н.²

¹ ООО «ПК Энергия»,
ул. Красного Маяка, 16, 117570, г. Москва, stz1945@gmail.com
² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, shtremel@ocean.ru

Paper presents an autonomous wave measurement system based on Wi-Fi network and MQTT protocol and non-intrusive ultrasonic range finder based wave gauges AWG17.

Представлен программно-аппаратный комплекс, предназначенный для измерения волнения при помощи высокоточного ультразвукового дальномера.

В настоящее время регистрация возвышения свободной поверхности производится посредством датчиков, основанных на следующих физических принципах:

- Изменение ёмкости погруженного проводника;
- Изменение времени возврата фронта оптического, акустического, либо радиосигнала;
- Изменение придонного давления;
- Изменение ускорения заякоренного буя;
- Изменение пространственных координат заякоренного буя;
- ...

Преимущества бесконтактных волнографов относительно ёмкостных и барометрических заключаются в высокой устойчивости к электромагнитным помехам, отсутствии проблем, связанных с механическим износом погружных элементов, простоте монтажа и применения.

Сигнал оптических дальномеров значительно поглощается поверхностью воды, радары на данный момент чрезвычайно дороги, хотя и не обладают недостатками прочих типов датчиков.

Акустические дальномеры обладают близкой к радарным точностью, но значительно выигрывают в стоимости и энергоэффективности.

По результатам анализа существующих технических решений было принято решение использовать серийный ультразвуковой акустический дальномер как основу для системы измерения. Система должна быть

гибкой, простой в использовании, состоять из широкодоступных серийных компонентов.

Система измерения состоит из:

- Обязательных элементов:
- Одногo либо многих датчиков.
- Опциональных элементов:
- Беспроводного коммутатора;
- Брокера (сервера сообщений);
- Сервера сбора и хранения данных (в разработке);
- Пользовательского приложения на ПК.

Обмен данными происходит посредством распространенного радиоканала WiFi, дальность действия зависит от используемой точки доступа, достижимы расстояния до нескольких километров.

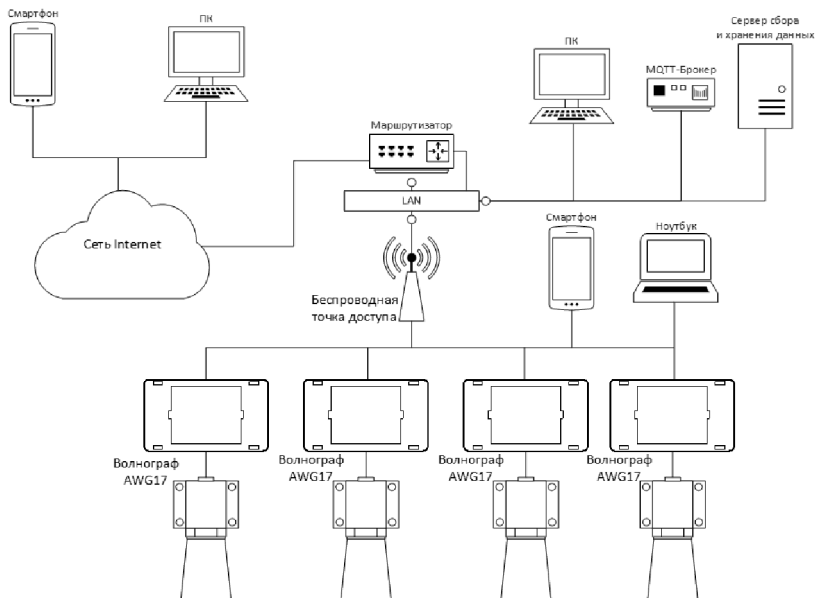


Рис. 1. Структурная схема системы измерения волнения

В качестве протокола передачи данных использован сетевой протокол MQTT поверх стека TCP/IP. Ограничение по количеству устройств фактически отсутствует – например, микрокомпьютер Raspberry Pi в

качестве брокера может обслуживать 100 устройств с загрузкой процессора меньше 25%. В небольшой сети брокером может выступать головной модуль одного из датчиков без потери основной функциональности.

Возможны удаленный доступ через сеть Интернет и объединение в единую сеть датчиков, установленных на разных объектах.

Благодаря гибкой модульной архитектуре достигнута высокая степень масштабируемости – датчики могут использоваться как в качестве автономных, так и в качестве элементов системы с доступом в реальном времени и интеграцией со сторонними оборудованием и сервисами, также возможна интеграция в систему датчиков других типов и производителей.

Волнограф AWG17 состоит из головного модуля и ультразвукового дальномера MaxSonar HRXL MB7360, подключенного по последовательному интерфейсу RS232.

Изделие способно измерять расстояние 7.5 раза в секунду в диапазоне от 300 до 5000мм, с разрешением в 1мм.

Дальномер обладает встроенными системой автокалибровки и системой температурной компенсации.

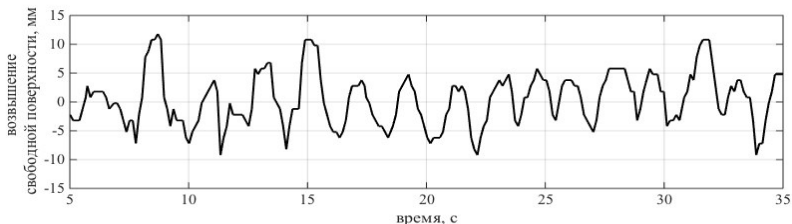


Рис. 2. Пример хронограммы с устройства на стендовых испытаниях

Головной модуль представляет собой одноплатный микрокомпьютер NextThing CHIP на базе архитектуры ARM и ОС Debian Linux, дополнительно оснащенный последовательным портом RS232 для связи с дальномером и преобразователем питания.

Волнограф обладает автономным питанием, может работать и заряжать встроенные литиевые батареи от источника питания напряжением от 6 до 36В. Заряда штатной батареи хватает на 48 часов автономной работы. Обеспечена степень защиты оболочки как дальномера, так и головного модуля по классу IP67. Корпуса изготовлены посредством 3D-печати из ABS-пластика с последующей финишной обработкой. Все внешние подключения (кабель между дальномером и головным модулем)

лем, внешний ввод питания) выполняются кабелями с герморазъёмами типа SP13, для которых заявлена защита по классу IP68.

При разработке корпусов использован программный пакет FreeCAD, отлично зарекомендовавший себя в качестве среды для 3D-проектирования.

Пользовательское программное обеспечение написано на языке Python и может быть запущено на распространенных операционных системах, в том числе мобильных.

Выполнено в рамках работы по теме госзадания №0149-2014-0034 «Закономерности и особенности нелинейной трансформации штормовых волн и моделирование морфодинамических процессов в береговой зоне моря для создания фундаментальных основ технологий защиты берегов от кат астрофических волновых воздействий»

ЛИТЕРАТУРА

1. **Tom Bonar** Web Based Remote Monitoring with ioBridge and a MaxSonar® – URL: <http://www.maxbotix.com/articles/055.htm> (Дата обращения: 22.02.2017).

2. **Stephan Mai, Claus Zimmerman** Applicability of Radar Level Gauges in Wave Monitoring / 2nd Int. Conf. Port Development & Coastal Environment, Varna, Bulgaria. 2000. – URL: http://www.dr-smai.de/Literatur/Geb-3/21_varna100pap_mitkopf_monitor.pdf (дата обращения: 22.02.2017).

3. **Sylvain Bourdier, Keith Dampney, Hernan Fernandez, Guiomar Lopez, Jean-Baptiste Richon** Non-intrusive wave field Measurement / WP4: Research to innovate and improve infrastructures, technologies and techniques. 10-Nov-2014 MARINET.

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЕРЕНОСОВ МАССЫ И ТЕПЛА В
ИНДИЙСКОМ СЕКТОРЕ ЮЖНОГО ОКЕАНА В 2005–2014 ГГ.
ПО ДАННЫМ АРГО И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Лебедев К.В., Тараканов Р.Ю.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-83,
KLebedev@ocean.ru*

The mass, salt, and heat transports over several regions of the Antarctic Circumpolar Current (ACC) and at its northern boundary (35° S) were calculated using the data of the Argo floats and Argo-Based Model for Investigation of the Global Ocean (AMIGO). The seasonal and intra-decadal variation of transports was studied.

Исследование изменчивости Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) проведено на основе модельных расчетов с использованием разработанной в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН Арго-модели исследования глобального океана (АМИГО) [1]. Модель состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования Argo и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей. Такая методика позволяет получать по нерегулярно расположенным данным измерений Argo полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скорость течений.

На рис. 1–3 показаны среднемноголетние течения и поля солености на горизонте 200 м для Атлантического (рис. 1), Индийского (рис. 2) и Тихоокеанского (рис. 3) секторов Южного океана, полученные в результате модельных расчетов с использованием данных измерений Argo. На всех рисунках в поле солености хорошо виден Субантарктический фронт (СААФ), являющийся северной границей АЦТ. Также хорошо заметна южная граница АЦТ: соленость на этой глубине минимальна в районе распространения АЦТ, повышаясь при приближении к Антарктиде. Для сравнения на рис. 4 приводятся течения и соленость на горизонте 200 м в Тихоокеанском секторе Южного океана, полученные по данным климатических массивов World Ocean Atlas 2009 (WOA09). Поля солености и течений WOA09 по сравнению с данными измерений

Argo (рис. 3) заметно сглажены, градиенты фронтальных зон существенно ослаблены, АЦТ распространяется в виде одного широкого потока без разделения на струи.

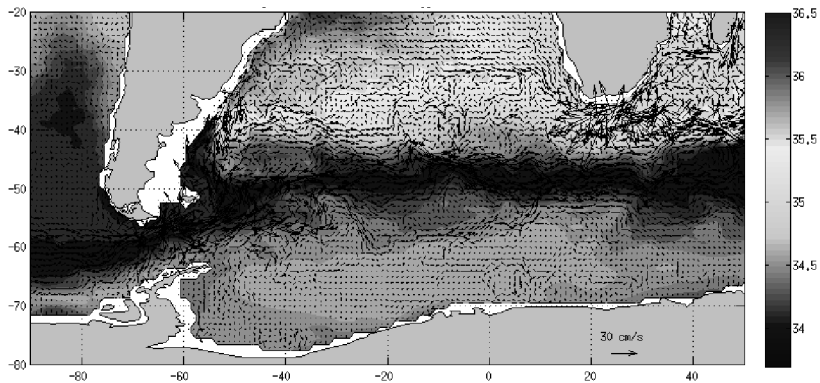


Рис. 1. Среднеклиматические поля солёности и течений Атлантического сектора Южного океана на горизонте 200 м, полученные с использованием данных Argo

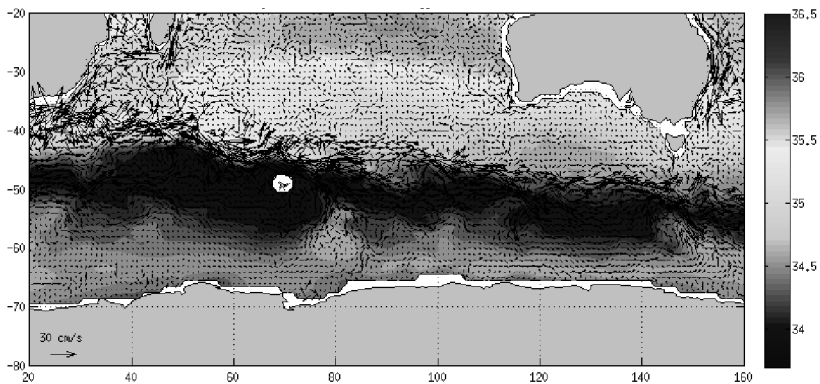


Рис. 2. Среднеклиматические поля солёности и течений Индийского сектора Южного океана на горизонте 200 м, полученные с использованием данных Argo

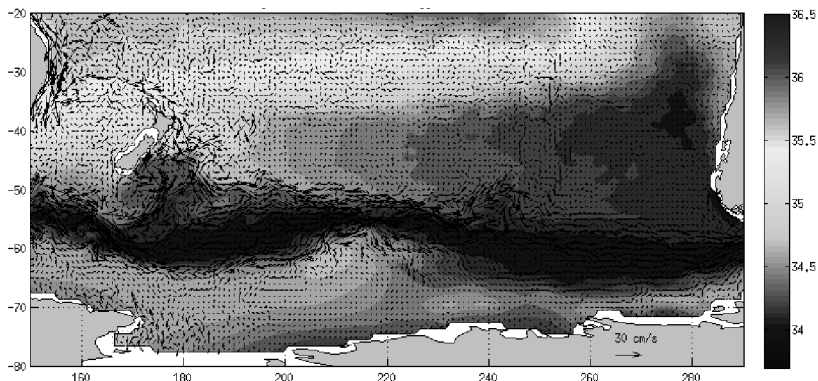


Рис. 3. Среднеклиматические поля солёности и течений Тихоокеанского сектора Южного океана на горизонте 200 м, полученные с использованием данных Argo

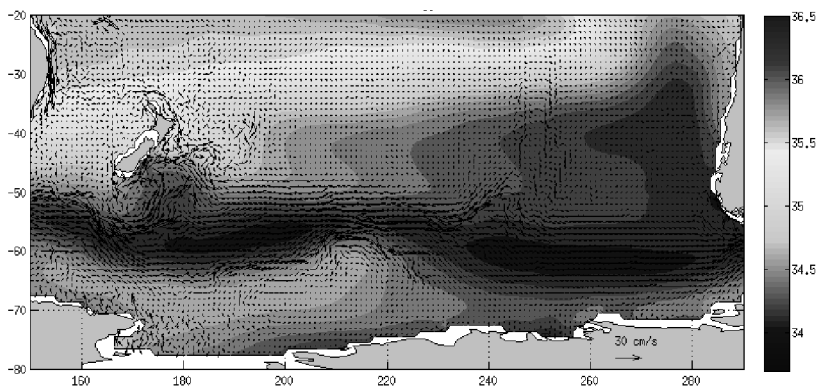


Рис. 4. Среднеклиматические поля солёности и течений Тихоокеанского сектора Южного океана на горизонте 200 м, полученные с использованием данных климатических массивов WOA09

В результате модельных расчетов с использованием данных поплавков Argo были получены величины расходов и тепло-солепереносов на различных участках АЦТ и на северной границе по 35 ю.ш.

В Атлантическом секторе через северную границу в среднем приходит 0,6 Св воды, 25 кт/с соли и уходит 0,3 ПВт тепла. На разрезе через пролив Дрейка в среднем приходит 162 Св воды, 1,7 ПВт тепла и

5725 кт/с соли. В переносах массы и соли нет четко выраженного сезонного хода, в переносе тепла, напротив, хорошо прослеживается сезонный ход с минимальными значениями весной и максимумами летом южного полушария. Максимум расхода 173 Св был в мае 2006 г., минимум 149 Св – в июле 2007 г. Средние величины на разрезе Африка-Антарктида получились следующими: 162,6 Св, 1,2 ПВТ и 5750 кт/с. Здесь также нет выраженного сезонного хода в переносах массы и соли. Перенос тепла имеет сезонный характер с максимумом зимой и минимумом весной южного полушария. Суммарный тепловой бюджет Атлантического сектора отрицательный: -0,2 ПВТ.

В Индийском секторе через северную границу в среднем приходит 15,4 Св воды, 550 кт/с соли и 1,15 ПВТ тепла, максимальный расход 24 Св был в июле 2010 г., минимальный расход в 8 Св – в январе 2014 г. На разрезе Австралия–Антарктида (117 в.д.) в среднем переносится 178 Св воды, 2,05 ПВТ тепла и 6300 кт/с соли. Изменчивость носит хорошо выраженный сезонный характер, максимумы расхода и тепло-солепереноса наблюдались зимой, а минимумы летом южного полушария. Максимальный расход 194 Св был в июле 2010 г., минимальный 165 Св – в январе 2010 г. Суммарный тепловой бюджет Индийского сектора также отрицательный: -0,3 ПВТ.

В Тихоокеанском секторе через северную границу в среднем уходит 16 Св воды, 560 кт/с соли и 0,45 ПВТ тепла, максимальный расход 24,8 Св был в июле 2010 г., минимальный расход в 8,4 Св – в январе 2014 г. На разрезе Австралия-Антарктида (149 в.д.) в среднем переносится 178 Св воды, 2,55 ПВТ тепла и 6300 кт/с соли. Изменчивость носит хорошо выраженный сезонный характер: максимальные значения приходятся на зиму, минимальные – на лето южного полушария. Суммарный тепловой бюджет Тихоокеанского сектора также отрицательный: -0,4 ПВТ.

Следует отметить, что на участке АЦТ под Австралией наблюдается поступление в океан 0,5 ПВТ тепла. Однако, суммарный тепловой бюджет океана южнее 35 ю.ш. все равно остается отрицательным: -0,4 ПВТ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 16-17-10149.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лебедев К.В.** Арго-модель исследования глобального океана (АМИГО) // *Океанология*. 2016. Т.56. №2. С. 186-196.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ВЕКОВОМ РАЗРЕЗЕ «КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН»

Карсаков А.Л., Титов О.В.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного
хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича» (ФГБНУ «ПИНРО»)
183038 г. Мурманск, ул. Академика Книповича, д.6
(8152) 40-26-21, karsakov@pinro.ru*

The paper presents the status and challenges of oceanographic observations along standard sections of the Barents Sea, including the century-old Kola Section.

За многолетний период экспедиционных наблюдений в Баренцевом море и сопредельных водах в ПИНРО накоплен большой массив океанографических данных. Эти данные позволили установить ряд важных особенностей влияния условий среды на формирование первичной продуктивности, функционирование зоопланктона и бентоса, урожайность поколений и биологические характеристики гидробионтов, миграции и распределение промысловых объектов.

В течение длительного периода наблюдений измерения параметров абиотической среды в этом регионе осуществлялись с различной степенью временной и пространственной дискретности. С 1950 по 1990 гг. ежегодно на акватории Баренцева моря выполнялось в среднем 2,6 тыс. океанографических станций. Начиная с 1991 г. и по 2015 г. этот показатель снизился в 2 раза, но даже такой объем наблюдений обеспечивал потребности мониторинга морской среды и позволял проводить анализ пространственной и сезонной изменчивости океанографических характеристик на акватории моря (рис. 1).

В многолетних исследованиях на акватории Баренцева моря особое внимание всегда уделялось наблюдениям на стандартных разрезах, данные которых в настоящее время являются основным источником современных знаний об особенностях сезонных и многолетних изменений океанографического режима вод. В Баренцевом море океанографические исследования на стандартных разрезах имеют уже довольно боль-

шую историю, а ряд наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» является наиболее продолжительным в исследуемом регионе, поскольку он имеет не только более чем 110-летнюю историю наблюдений, но и высокое временное разрешение [1] (рис. 2).

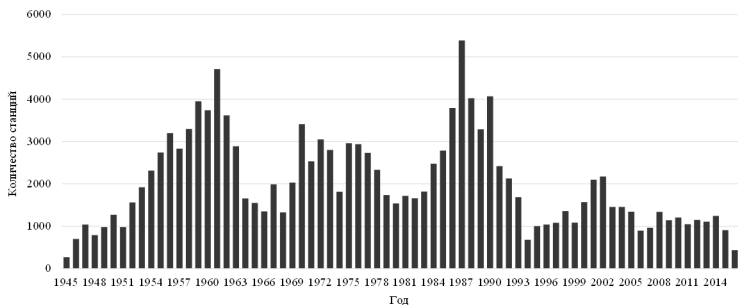


Рис. 1. Количество станций, выполненных на акватории Баренцева моря российскими мореведческими организациями в 1945–2016 гг., включенных в базу данных ПИНО

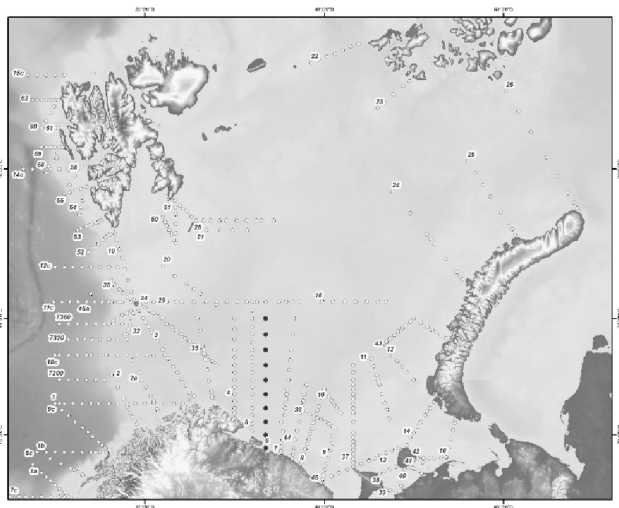


Рис. 2. Положение стандартных океанографических разрезов в Баренцевом море и сопредельных водах (красным цветом выделен разрез «Кольский меридиан»)

По длительности выполнения, количеству данных и их пространственному охвату разрез «Кольский меридиан» признан уникальным и получил широкую известность среди ученых мира. Еще в начале 1960-х годов Г.К. Ижевский [2, 3] отмечал, что для изучения сезонных и многолетних колебаний запасов тепла, соли и других характеристик вод в Баренцевом море вполне достаточно использовать регулярные наблюдения на одном разрезе «Кольский меридиан», и что по характеристикам этого разреза в такой же мере можно анализировать процессы, происходящие в морях западной части Северного полушария. Исторический ряд наблюдений (с 1957 г.) за содержанием кислорода в морской воде на разрезе «Кольский меридиан» [4] не имеет аналогов в мировой океанографической практике.

В 2016 г. объем океанографических наблюдений, проводимых научно-исследовательскими судами Полярного института на акватории Баренцева моря и сопредельных вод, достиг минимума за период с 1946 г. (см. рис. 1). На разрезе «Кольский меридиан» в течение года было выполнено лишь 5 серий наблюдений, которые проводились лишь в первой половине года с января по май (рис. 3) [5]. Это не позволило определить среднегодовой уровень теплосодержания вод на «Кольском меридиане» в 2016 г., а также представить обоснованный прогноз температуры воды на 2017–2018 гг.

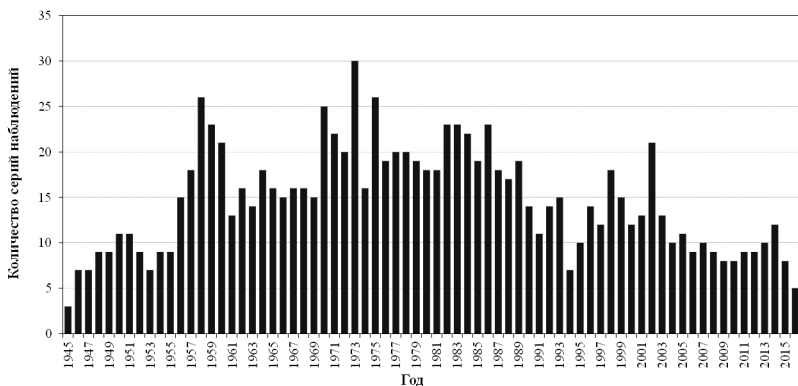


Рис. 3. Количество серий наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в 1945–2016 гг.

Резкое уменьшение океанографических наблюдений в Баренцевом море в 2016 г. крайне негативно сказывается на анализе пространствен-

но-временной изменчивости океанографических условий, а прекращение наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» может свести на нет все многолетние наработки по долгосрочному прогнозированию теплового состояния вод в этом районе. К сожалению, сокращение океанографических наблюдений, вероятно, произошло на фоне экстремально высокого теплового состояния вод Баренцева моря. По результатам наблюдений в Баренцевом море в первой половине 2016 г. отмечались высокие положительные аномалии, превышающие 1 градус. При этом в отдельные месяцы средняя температура воды была максимальной с 1951 г. [5]. Это обстоятельство в значительной степени усложняет задачу восстановления пропусков наблюдений. Безусловно, длительное отсутствие океанографических наблюдений также негативно скажется на качестве долгосрочных прогнозов динамики численности популяций промысловых гидробионтов, основанных на данных разреза «Кольский меридиан» [6].

Учитывая важность этих данных в комплексных экосистемных исследованиях, необходимо возобновить наблюдения на разрезе «Кольский меридиан» в объеме, необходимом для получения достоверных данных о состоянии вод Баренцева моря и подготовки научно обоснованных и эффективных долгосрочных прогнозов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Карсаков А.Л.** Океанографические исследования на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море в 1900–2008 гг. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2009. – 139 с.
2. **Ижевский Г.К.** Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. – М.:Пищепромиздат, 1961. – 215 с.
3. **Ижевский Г.К.** Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводства промысловых рыб. – М.:Изд-во ВНИРО, 1964. – 165 с.
4. **Титов О.В.** Многолетние изменения гидрохимических характеристик на разрезе «Кольский меридиан» как показатель изменений в экосистеме Баренцева моря. Океанология, 2001, т. 41, №4, С. 518-526
5. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева моря и Северной Атлантики в 2017 г. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2017. (в печати).
6. **Титов О.В.** Анализ связи многолетних изменений аэрации придонных слоев Баренцева моря и урожайности поколений трески и мойвы, Вопросы рыболовства. Приложение 1, 2001а – С. 263–266.

IV. ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТЫ, ПРИБОРНАЯ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

РОЛЬ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ В ОСВОЕНИИ ГЛУБИН ОКЕАНА

Сагалевиц А.М.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт океанологии им.П.П.Ширшова
Российской академии наук (ИО РАН), Москва
e-mail: sagalev1@yandex.ru*

At present paper, the role of underwater vehicles of different types on some steps of searching operations, of detailed research of local areas of the ocean, of organization of mining of the mineral and energy recourses are considered. Data of the use of different types of underwater vehicles, effectiveness of their use for different purposes are considered.

Последнее 50-летие XX века ознаменовалось целым рядом замечательных открытий в океане, которые позволили по-новому взглянуть и на строение нашей планеты, и на структуру океанского дна, и на животный мир, населяющий океанские глубины. Это – и открытия тектонических разломов, а затем срединно-океанических хребтов, приведшие к внедрению теории литосферных плит; и, конечно, открытие гидротермальных полей на дне океана с высокотемпературными источниками, метановыми сочениями и необычными животными, рождающимися и живущими в полной темноте за счет хемосинтеза и метанотрофии. Конечно, столь быстрое развитие новых направлений в науке об океане было бы невозможно без создания новых технических средств, которые позволили не только обнаружить, но и детально изучить вновь открытые явления на дне океана. Применявшиеся на первых этапах исследований средства пробоотбора, сейсмические методы, методы магнитометрии и гравиметрии в дальнейшем были дополнены средствами гидроакустических исследований – локаторами бокового обзора, акустическими профилографами, измерительными системами – гидрофизическими зондами и донными и притопленными станциями. И ключевую роль в осуществлении открытий и их детализации сыграли подводные аппараты, которые наряду с проведением научных исследований при-

меняются в настоящее время и для подводно-технических работ различных направлений, включая поиск затонувших судов и других объектов на дне океана, их обследование, обслуживание нефтяных платформ, газовых месторождений, прокладка трубопроводов на дне океана и т.д. Современные подводные аппараты могут быть разделены на следующие категории:

1. Подводные буксируемые аппараты (ПБА);
2. Подводные телеуправляемые аппараты (ПТА);
3. Подводные автономные аппараты (ПАА);
4. Подводные обитаемые аппараты (ПОА).

Эти категории аппаратов могут применяться либо индивидуально, либо взаимодействуя друг с другом в зависимости от задач, которые необходимо решать в том или ином случае. Рассмотрим каждую из названных категорий в отдельности.

1. Подводные буксируемые аппараты

ПБА – это, как правило, буксируемые вблизи дна платформы, оборудованные поисковыми гидроакустическими средствами (локаторами бокового и кругового обзора, эхолотами, акустическими профилографами), магнетометрами, возможно видеокамерами и мощным подводным освещением. На эти аппараты возможна установка разного типа датчиков – ТСД, анализаторов газов, растворенных в воде или высачивающихся через осадок, датчиков для определения радиоактивных загрязнений и т.д. Основное назначение ПБА – площадная съемка микро рельефа дна, поиск аномальных явлений на дне океана типа гидротермальных проявлений с черными курильщиками, поселениями необычных животных и т.д. Как и многие другие аппаратурные комплексы ПБА начали свое существование с решения задач стратегического значения. С помощью такого аппарата «Deep tow fish» американцы в 1974 г. впервые искали советскую подводную лодку, затонувшую недалеко от Гавайских островов на глубине 6000 м. Лодка была найдена, и ПБА получили путевку в открытый океан. Следующим громким применением буксируемого аппарата был успешный поиск «Титаника», который был найден Робертом Баллардом в 1985 г. с помощью созданного им буксируемого комплекса «АРГО» – пожалуй, наиболее совершенного из всех создававшихся когда-либо ПБА (рис. 1).

Открытие гидротермальных полей на дне океана осуществлялось с помощью ПБА «Ангус», обнаружившего с помощью установленной на нем видеокамеры необычных животных на Галапагосском рифте, а с помощью датчика высокую концентрацию гелия в придонном слое. Затем последовали погружения обитаемого аппарата «Алвин» в этом рай-

оне, во время которых и были проведены первые наблюдения гидротермальных излияний на дне океана.

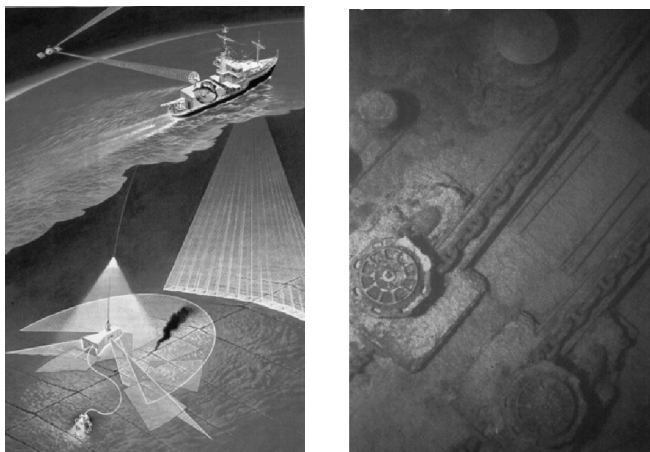


Рис. 1. Схема обследования дна с помощью буксируемого комплекса «АРГО»

Открытие гидротермальных полей на дне океана осуществлялось с помощью ПБА «Ангус», обнаружившего с помощью установленной на нем видеокамеры необычных животных на Галапагосском рифте, а с помощью датчика высокую концентрацию гелия в придонном слое. Затем последовали погружения обитаемого аппарата «Алвин» в этом районе, во время которых и были проведены первые наблюдения гидротермальных излияний на дне океана. ПБА сыграли большую роль в открытии новых районов с гидротермальными полями на дне. Прежде всего, это буксируемая платформа АРГО, с помощью которой было открыто большинство гидротермальных полей на Срединно-Атлантическом хребте (САХ). Как правило, после обнаружения необычных явлений на дне с помощью ПБА, в этих районах производили работу обитаемые аппараты, которые исследовали все детали обнаруженных явлений.

Методика поисковых и исследовательских работ с применением комплекса ПБА-ПОА прочно вошла в практику зарубежных исследователей глубин и принесла очень хорошие результаты. В первых экспедициях с глубоководными обитаемыми аппаратами (ГОА) «Мир» применялась аналогичная методика с использованием ПБА «Звук», которые мог работать до глубин 6000 м (рис. 2).



Рис. 2. ГБА «Звук»

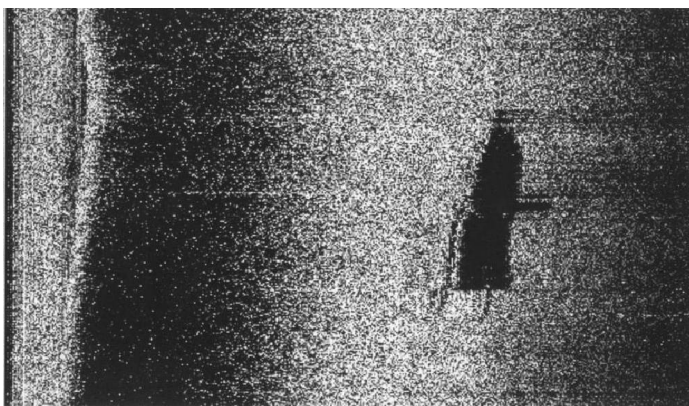


Рис. 3. Гидролокационное изображение дна, выполненное в районе местонахождения АПЛ «Комсомолец», с помощью ГБА «Звук»

Так, с помощью «Звука» было подтверждено местонахождения АПЛ «Комсомолец» (рис. 3) [1], «Титаника» и других затонувших объектов.

Также с помощью «Звука» была обнаружена гора «Мир» на гидротермальном поле ТАГ (26°с.ш. САХ) (рис. 4). Эта гора содержит более 10 млн тонн мультиметаллических сульфидных руд и является самым крупным гидротермальным образованием на дне океана из всех известных [2].

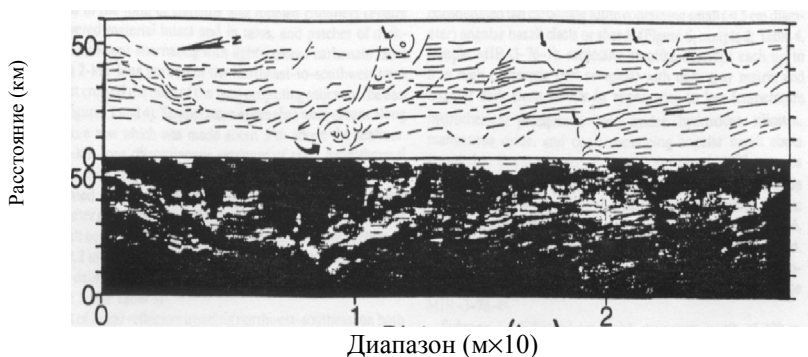
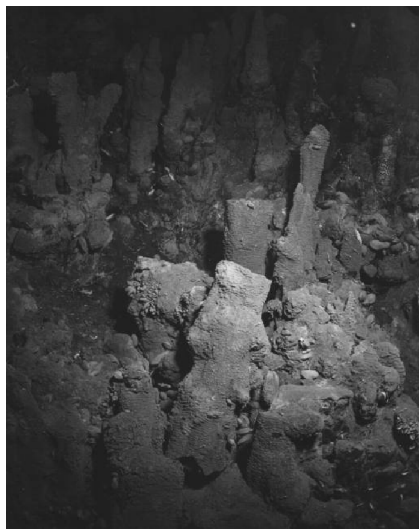


Рис. 4. Подводная гора Мир (фото выполнено камерой ГОА «Мир») и ее гидролокационное изображение, выполненное ГБА «Звук»

Как следует из сказанного, ПБА применяются для поисковых работ как в научных, так и в прикладных целях, попутно производя площадную съемку микрорельефа дна океана по ходу маршрута. ПБА незаменимы при определении мест погружений ПОА, которые производят детальные исследования найденных аномальных районов. Эффективность применяемой методики с использованием ПБА и ПОА и в настоящее время широко используется в исследовательских и прикладных целях.

2. Подводные обитаемые аппараты (ПОА).

С помощью ПОА было сделано наибольшее число открытий в океане, а также были проведены детальные обследования некоторых затонувших объектов, имевшие как стратегическое, так и государственное значение. ПОА можно назвать многоцелевыми аппаратами, если проанализировать тот комплекс задач, который решался с их помощью в течение последних десятилетий [3]. Наиболее широкий спектр подводных операций был сделан ГОА «Мир-1» и «Мир-2» (рис. 5).



Рис. 5. ГОА «Мир-1» и «Мир-2»

Здесь можно выделить следующие направления:

1. Научные исследования гидротермальных полей, а также подводных гор и поднятий, абиссали и других океанических структур;
2. Решение задач большой государственной значимости: работы по ликвидации последствий аварий АПЛ «Комсомолец» и АПКр «Курск»;
3. Обследование затонувших объектов, имеющих большое историческое значение: «Титаник» (3800 м), «Бисмарк» (4700 м), Японская подводная лодка времен Второй Мировой войны «I-52» (5400 м) и др.;
4. Съёмки фильмов с ведущими кинокомпаниями Голливуда, АЙ-МАКС, Би-Би-Си и других;
5. Погружения с туристами в целях финансового обеспечения научных экспедиций с применением ГОА «Мир».

Все перечисленные направления работ требовали высокой квалификации пилотов и технического персонала, работающего с аппаратами «Мир». Необходимо отметить, что для аппаратов «Мир» не было ни одной задачи под водой, которая была бы не решена. Причем, все задачи решались на высоком профессиональном уровне.

В настоящее время в мире имеются девять глубоководных аппаратов с рабочими глубинами 6000 м и более, которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Мир-1, Мир-2	Россия	6000
Наутил	Франция	6000
Шинкай 6.5	Япония	6500
Алвин	США	4500
Консул, Русь	Россия	6000
Яолонг	Китай	7000
ДипСи, Челленджер	США	11000

Кроме того, имеется еще несколько обитаемых аппаратов с меньшими рабочими глубинами («Шинкай 2.0», «Пайсис V», и» Пайсис VI» и другие). В Китае создается трехместный аппарат с рабочей глубиной 11000 м, предназначенный для научных исследований глубоководных желобов и впадин.

3. Подводные телеуправляемые аппараты (ПТА).

Подводные телеуправляемые аппараты – аппараты, управляемые по кабелю, были внедрены в эксплуатацию на два десятилетия позже, чем обитаемые. В первое время они применялись, главным образом, для обслуживания нефтяных скважин на шельфе, прокладки и ремонта трубопроводов на дне океана, подъема предметов со дна океана и для проведения ряда других операций. В последнее десятилетие ПТА довольно широко применяются и для проведения научных исследований – порой автономно, порой в комплексе с ПОА. Но до сих пор ПТА преимущественно применяются в коммерческих целях, названных выше. В настоящее время в мире создано несколько тысяч ПТА разного класса: от мелководных, малогабаритных до тяжелых и громоздких, работающих на больших глубинах. В таблице 2 приведено несколько типов аппаратов с рабочими глубинами 4000 м и более. Это аппараты, которые применяются, главным образом, для научных исследований океана.

Таблица 2. Глубоководные ПТА, используемые для научных целей

ПТА	Владелец	Максимальная операционная глубина (м)
UROV7K	JAMSTEC, Япония	7000
Jason II-Medea	WHOI, США	6500
Victor 6000	ИФРЕМЕР, Франция	7000
ISIS	Southampton Oceanography Centre, Великобритания	6500
Kiel 6000	Leibniz Institute of Marine Sciences, Германия	6000
LUSO	Portuguese Task Group for the Extension of the Continental shelf (EMERC), Португалия	6000
Ropos	Canadian Scientific Submersible Facility, Sidney, В.С., Канада	5000
QUEST	Center for Marine Environmental Studies (MARUM), Германия	4500
Tiburon	Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI), США	4000
Hyper Dolphin HYSUB 75-3000	JAMSTEC, Япония	3000

4. ПОА или ПТА – ?

С момента появления ПТА в сфере научных исследований (середине 80-х годов) ведется полемика о том, за чем же будущее: за ПОА или ПТА.

Как показывает практика, эффективность применения ПТА довольно низка по сравнению с ПОА, ввиду гораздо больших временных затрат на проведение различных операций вблизи дна, а также наличия кабеля, связывающего ПТА с судном обеспечения и создающего массу проблем при неблагоприятных погодных условиях.

Кроме того, применение телеуправляемых аппаратов предполагает постоянное использование системы динамического позиционирования на судне обеспечения, что обуславливает постоянную работу движительного комплекса, а, следовательно, высокий расход топлива при проведении глубоководных операций. В таблицах 3 и 4 приведены стати-

стические данные, полученные на основе анализа работы нескольких телеуправляемых аппаратов и обитаемых аппаратов «Мир». Эти данные показывают, что обитаемые аппараты имеют целый ряд преимуществ в плане временных и энергетических затрат при проведении операций по научным исследованиям перед телеуправляемыми.

Кроме того, одним из главных преимуществ ГОА является то, что ученый принимает непосредственное участие в научных наблюдениях, находясь под водой и управляя процессом исследований [4].

Величайшее открытие XX века – открытие гидротермальных полей на дне океана было сделано в 1977 году на Галапагосском рифте. В течение 35 лет было открыто более 100 районов с разными типами гидротермальных излияний на дне океана. Большинство из них исследовалось учеными визуально через иллюминаторы обитаемых аппаратов

Именно открытие гидротермальных полей стимулировало создание ГОА с рабочей глубиной 6000 м в ведущих океанологических державах в 80-е годы XX века.

Необходимо отметить также, что большинство открытий, сделанных учеными через иллюминаторы ПОА, базировались на прямых визуальных наблюдениях, и очень важным фактором логического подхода ученых к открытиям являлась эмоциональная составляющая, которая практически отсутствует при проведении визуальных наблюдений через монитор ПТА.

Таблица 3. Эффективность использования времени на дне

Тип аппарата	Поиск объекта после посадки на дно	Отбор образцов		Видео высокого качества	Измерения (гидрофизические, химические)	Визуальные наблюдения
		Простой камень, животное	Сложный отбор флюида, животных слэп-ганом			
ГОА	<30 мин	5–10 мин	< 30 мин	100% непрерывно, базируясь на прямых наблюдениях	100% достоверные	100% – прямые через иллюминатор
Телеуправляемый	60–90 мин	40–60 мин	Не производилось (слишком сложно)	20% – фрагментарные записи	Записи на фоне помех (работа двигателей)	30% – на экране монитора

Таблица 4. Потребление топлива судном обеспечения во время подводных операций

Судно	Тип аппарата	Режим работы судна	Потребление топлива (сутки)
НИС «Академик Мстислав Келдыш»	ГОА «Мир»	Свободный дрейф, эпизодические перемещения со скоростью 3–4 узла	3–4 тонны
АОС (1500 тонн)	Телеуправляемый аппарат	Динамическое позиционирование – постоянно работающие двигатели	8–10 тонн

В 2004 году в Национальной Академии наук США состоялся консилиум ведущих океанологов на тему: «Необходимость в научных погружениях в будущем». На этом совещании рассматривался вопрос, действительно ли непосредственные погружения под воду необходимы или можно обойтись работами с ПТА? Большинство ученых высказалось за погружения ученых в ПОА, как самых эффективных средствах наблюдений. Однако в заключении было написано, что наиболее эффективно применение ПОА и ПТА в комплексе, т.е. во взаимодействии [5]. Некоторые горячие головы уже отвергают ПОА, как более дорогостоящие и небезопасные для жизни ученых и пилотов, но эти утверждения не имеют под собой почвы.

В настоящее время в мире развиваются оба направления, у обоих из которых есть сторонники и противники. Спор еще не окончен. А я всегда вспоминаю высказывание Жака Ива Кусто во время нашей встречи в ИО РАН в 1983 году. На вопрос А.С.Монина: «А что бы вы предпочли: ПОА или ПТА?» Кусто ответил: «Никогда ни один робот не заменит человека под водой. Самый точный и достоверный оптический прибор – глаз человека. Самый совершенный компьютер – мозг человека».

5. Подводные автономные аппараты

В конце 90-х годов в научных исследованиях океана начали применяться автономные аппараты, управляемые либо по гидроакустическому каналу, либо использующие для своей работы заранее заложенные программы в систему управления, находящуюся внутри аппарата. ПАА применяются, главным образом, для поисковых работ и съемки рельефа дна в труднодоступных районах, к примеру, в условиях сплошного ледового покрова. Вошло в практику использование гибридных аппаратов, которые могут работать как в режиме ПТА с управлением по кабе-

лю, так и в режиме свободного плавания (ПАА). Примером такого аппарата был аппарат «Neurous» Вудсхольского океанографического института, который был утерян в желобе Кермадек.

В настоящее время подобный аппарат на максимальную глубину океана (11000 м) создается в Китае, как часть большого комплекса «Передвижная (или плавающая) Лаборатория».

Заключение

В заключение можно отметить, что наиболее рациональным и эффективным поисково-исследовательским комплексом для работ в океане является комбинация ПБА и ПОА. Может быть применена также комбинация ПБА-ПТА, но она менее эффективна по приведенным выше причинам. Как показывает практика использования «Миров» применение обитаемых аппаратов предполагает проведение крупномасштабных полигонных исследований и дает высокий эффект для детализации намеченного района. ПТА и ПАА предпочтительнее для проведения точечных погружений, преследующих определенные цели – научные или коммерческие.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Океанологические исследования и подводно-технические работы на месте гибели атомной подводной лодки «Комсомолец». Под ред. акад. М. Виноградова, проф. А. Сагалевица, зам мин. МЧС РФ С. Хетагурова, 1996, М., Наука, 361 с.

2. **Сагалевиц А.М.** Глубина. М.: Научный мир, 2002. 320 с.

3. **Frank Busby.** Manned submersible. Wash. (D.C.): office Oceanography of NAVY, 1976, 764 p.

4. **Сагалевиц А.М.** Океанология и подводные обитаемые аппараты. Методы исследований. М.: Наука, 1987. 256 с.

5. Future needs in deep submergence science (National Research Council of the National Academy). The National Academies Press, Washington D.C., 2004, 135 p.

ПОДВОДНЫЙ ГИДРОПРИВОД НА МОРСКОЙ ВОДЕ

Вельтишев В.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», 105005, Москва, 2-я Бауманская д. 5 стр. 1, 8 (499) 263-61-15, sm42@ sm.bmstu.ru

The report presents the results of experimental studies of a prototype of underwater hydraulic system with the use of sea water as working fluid. Principal possibility of creating a new type of hydraulic systems is demonstrated.

В процессе эксплуатации подводных гидравлических систем под воздействием внешних и внутренних факторов их работоспособность часто нарушается из-за потери герметичности. Негативными последствиями проникновения морской воды в гидравлическую систему являются деструкция минеральной рабочей жидкости, необратимые коррозионные разрушения внутренних частей гидравлического оборудования, существенное снижение сопротивления изоляции в силовых и слаботочных электрических цепях.

Кардинальным способом повышения надежности подводных гидравлических систем является переход на использование в качестве рабочей жидкости морской воды. В МГТУ им. Н.Э. Баумана были проведены экспериментальные исследования с целью проверки принципиальной возможности создания таких подводных гидравлических систем. В докладе приведены важнейшие результаты этих работ.

Морская вода по сравнению с традиционными минеральными рабочими жидкостями имеет ряд существенных отличий, без учета которых проектирование гидравлической системы нового типа невозможно. Наибольшее влияние на ожидаемые технические и эксплуатационные параметры гидросистемы будет оказывать низкая вязкость, солёность и биологическая активность морской воды. Поэтому можно сформулировать следующие исходные требования к конструкции систем на морской воде:

- все внутренние детали и узлы должны быть изготовлены из коррозионно совместимых материалов;
- низкая вязкость воды определяет повышенные требования к величине зазоров в подвижных элементах;
- из-за электропроводности морской воды необходимо обеспечить надежную изоляцию электрических цепей в электрогидравлических компонентах;
- слабые смазывающие свойства морской воды не позволят использовать традиционные решения в процессе проектирования нагруженных пар трения;
- в морской воде всегда присутствуют микроорганизмы или органические вещества, поэтому гидросистема должна содержать устройства фильтрации нового типа.

Известно, что подбор конструкционных материалов и покрытий, обеспечивающих высокую коррозионную стойкость, минимальный износ и трение в подвижных соединениях, достигается только в процессе экспериментальных исследований. Поэтому для проверки возможных вариантов были изготовлены макетные образцы следующих типовых для любой гидросистемы компонентов: приводной электродвигатель, аксиально-поршневой насос, предохранительный клапан, дискретный (релейный) распределитель, пропорциональный распределитель, гидроцилиндр, поворотный гидродвигатель с механической передачей «рейка-шестерня», запорочный и магистральный фильтры. Кроме того, для каждого компонента дополнительно были разработаны несколько модификаций важнейших (критических) узлов. В частности, для отработки конструкции золотниковых распределителей были изготовлены унифицированные по габаритно-присоединительным размерам золотниковые пары из следующих материалов:

- из титанового сплава ВТ3-1 с покрытием и без покрытия;
- из керамики ZY (стабилизированный оксид циркония);
- из искусственного сапфира (оксид алюминия);
- комбинированная пара: золотник из оксида алюминия, гильза из оксида циркония.

Внешний вид золотниковых пар, изготовленных из различных материалов, представлен на рис. 1.

В процессе отработки методов биологической очистки морской воды исследовалась эффективность следующих технических решений:

- искусственная генерация электрохимического процесса, образующиеся продукты которого (ионы меди, гелеобразная медь и активный хлор) должны губительно воздействовать на примеси биологической природы;

– ультрафиолетовое облучение морской воды, приводящее к гибели микроорганизмов или к невозможности их дальнейшего размножения.



Рис. 1. Внешний вид золотниковых пар различного конструктивного исполнения

Для проведения экспериментальных исследований был создан стенд, в состав которого вошли гидроэлементы, образующие полный прототип подводной гидросистемы, а также дополнительные измерители, устройства управления и сбора данных. Внешний вид подводной части стенда представлен на рис. 2.

На первом этапе с помощью этого стенда был проведен комплекс работ по определению наиболее перспективных технических решений [1]. Так как в качестве рабочей жидкости использовалась водопроводная вода, то часть важнейших характеристик прототипа подводной гидросистемы на этом этапе не была оценена.

Основные испытания прототипа гидросистемы нового типа проходили уже в натуральных условиях в Южном отделении Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Общая продолжительность натуральных испытаний составила три месяца. В ходе испытаний подводная часть стенда периодически погружалась на 8-10 часов в воду (рис. 3). Рабочая циклограмма имитировала типовые режимы работы реальной подводной гидросистемы. Всего гидросистема отработала в реальных условиях более 1400 часов. При этом исполнительные устройства выполнили от 140000 до 50000 циклов срабатывания.

В ходе испытаний были достигнуты следующие результаты:

1. Получены достоверные экспериментальные данные, доказывающие перспективность предложенных технических решений.
2. Доказана принципиальная возможность создания подводных гидравлических систем с рабочим телом – морская вода.

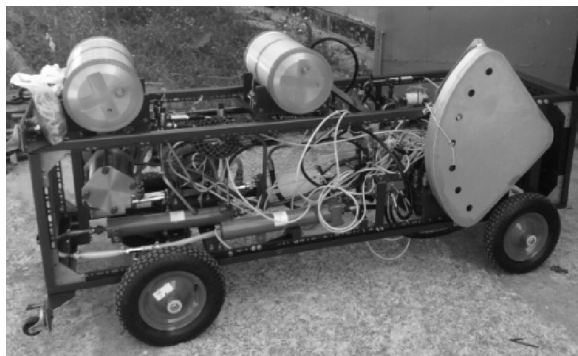


Рис. 2. Прототип подводной гидросистемы на морской воде



Рис. 3. Процесс натуральных испытаний гидросистемы

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вельтищев В.В.** Перспективы развития подводной гидравлики на морской воде// Подводные исследования и робототехника. 2014. №2(18). С. 19–28.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ОБЛИК СУДНА ДЛЯ СПАСЕНИЯ ЭКИПАЖА АВАРИЙНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ В АРКТИКЕ

Овчинников А.В., Сурма В.А., Гапанюк М.В.

НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», ул. Морская, 4, 198412, г. Санкт-Петербург-Ломоносов, тел.: 8(812)422-42-64 факс: 8(812)422-76-75, vunc-vmf-5fil@mil.ru

The article presents the conceptual image of the ship to rescue the crew of the disabled submarine lying on the seabed.

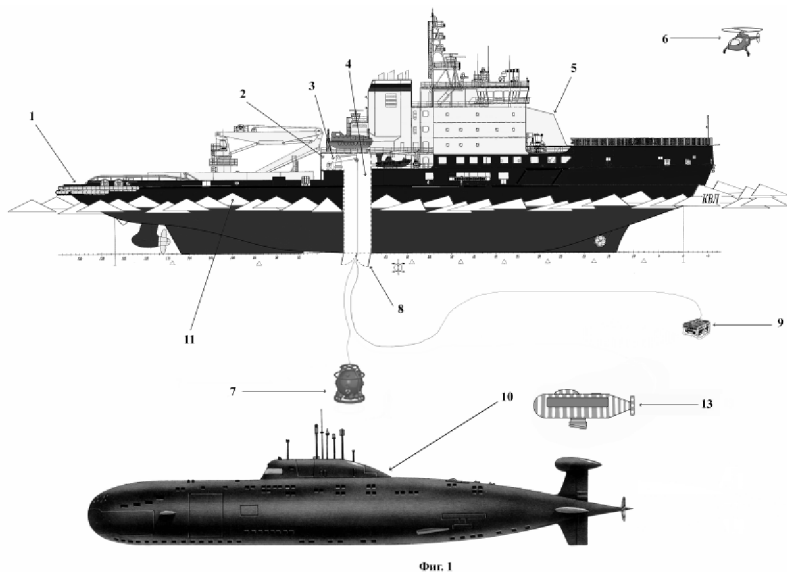
В соответствии с утвержденной Президентом Российской Федерации 20 февраля 2013 года Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года [1] обеспечение военной безопасности, защиты и охраны государственной границы Российской Федерации в Арктике является приоритетным направлением развития Арктической зоны государства и обеспечения его национальной безопасности. В рамках реализации «Стратегии...» расширяется деятельность кораблей ВМФ в Арктических широтах. Для качественного выполнения поставленных задач группировкам ВМФ в Арктике требуется всестороннее обеспечение, в том числе и поисково-спасательное (ПСО).

Одной из основных задач поисково-спасательного обеспечения, в соответствии с Концепцией развития ПСО ВМФ на период до 2025 года, утвержденной Министром обороны Российской Федерации 14 февраля 2014 года [2], является спасение экипажа аварийной подводной лодки (пл), лежащей на грунте, в том числе подо льдом.

Для решения этой задачи в условиях Арктики необходимо создание современных спасательных средств. Одним из таких средств может быть надводное судно, концептуальный облик которого приведен ниже.

Предлагаемое судно должно удовлетворять требованиям, которые позволяли бы ему решать задачу спасения экипажа аварийной пл подо льдом самостоятельно без привлечения дополнительных сил и средств. Судно должно иметь конструкцию корпуса и технические средства, позволяющие ему прибыть в район аварии без сопровождения ледокола и выполнять спасательные работы с применением спасательных глубоководных аппаратов (СГА), телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) в условиях плавающего, битого, колотого льда в любое время года.

Специалистами НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» предложено спасательное судно 1 (рис. 1, 2) [3], имеющее корпус ледового класса Arc9¹, привязной спасательный подводный аппарат (СПА) 7 или автономный СГА 13, ТНПА 9. Судно оборудовано эллингом 2 для хранения и обслуживания СПА (СГА) и ТНПА, внутри которого расположена шахта 4, проходящая через днище судна, с открывающимися створками 8, по которой с помощью спуско-подъёмного устройства шахтного типа 3 осуществляется спуск (подъём) СПА (СГА) 12 и ТНПА 3.



Фиг. 1

Рис. 1 Спасательное судно усиленного ледового класса. Вид сбоку

Судно используется следующим образом. Получив сигнал бедствия, оно следует к месту аварии подводной лодки 10, лежащей на грунте

¹ Обеспечивающий самостоятельное плавание в сплочённых многолетних арктических льдах толщиной до 3,5 м в зимне-весеннюю навигацию и до 4,0 м в летне-осеннюю. Эпизодическое преодоление участков однолетних и двухлетних сплошных льдов работой набегами.

подо льдом, по ледовому полю 11. Прибыв в заданную точку, судно становится над пл курсом против дрейфа льда и удерживается на месте с помощью гребных винтов и системы динамического позиционирования. Открываются створки 8. С помощью спуско-подъёмного устройства 3 через шахту 4 опускается ТНПА 9, который выполняет допоиск и обследование аварийной пл и очистку комингс площадки для стыковки с СПА (СГА). После выполнения подводно-технических работ ТНПА поднимается на борт судна.

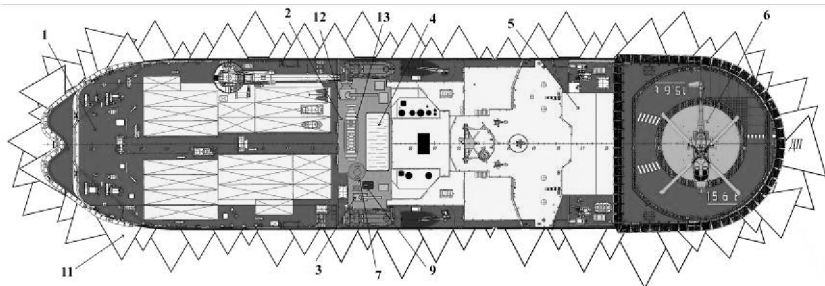


Рис. 2. Спасательное судно усиленного ледового класса. Вид сверху

Для выполнения спасательных работ в шахту опускается СПА 7 или СГА 13 и следует к аварийной пл, садится на комингс-площадку, осуществляет присос, принимает первую партию спасаемых и доставляет их на борт спасательного судна в декомпрессионный комплекс.

Предложенное спасательное судно является многофункциональным, так как имеет большую площадь свободной палубы в кормовой оконечности, на которой может быть дополнительно к основному вооружению размещено специализированное оборудование в контейнерном варианте как спасательного, так и другого назначения.

Размещенные на свободной палубе технические средства могут активно применяться при проведении различных подлёдных исследований и подводно-технических работ. В ангаре 5 постоянно базируется вертолёт 6, увеличивающий возможности судна по проведению спасательной операции.

При необходимости судно может быть использовано в качестве буксирного и на нем должен быть установлен базовый состав средств оказания помощи аварийным надводным кораблям: автоматические буксирные лебёдки, устройства снятия с мели, средства поддержания аварийных кораблей на плаву.

В настоящей статье представлен концептуальный облик спасательного судна, которое, по сравнению с существующими спасательными судами, обладает следующими преимуществами: обеспечивает возможность прибытия судна в район проведения работ без привлечения ледокола, способно самостоятельно выполнять спасательные и подводно-технические работы на грунте подо льдом.

Таким образом, для решения задачи спасения экипажа аварийной подводной лодки, лежащей на грунте подо льдом, целесообразно проектирование и строительство спасательного судна специальной конструкции с корпусом из материала усиленного ледового класса Агс9 с самоходным телеуправляемым спасательным колоколом или автономным глубоководным аппаратом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года, утверждена Президентом Российской Федерации 20.02.2013 г.
2. Концепция развития системы поисково-спасательного обеспечения Военно-Морского Флота на период до 2025 года. – 2014.
3. Спасательное судно. Заявка на изобретение. Регистрационный номер № 2016120398 от 25.05.2016 г.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПРОЕКТ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ АВТОНОМНОЙ МОРСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ НА ОСНОВЕ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО БУЯ

**Бадулин С.В., Вершинин В.В., Зацепин А.Г., Ивонин Д.В.,
Левченко Д.Г., Островский А.Г.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117995, Москва,
Нахимовский пр., 36, т: (499) 124-0197, levch35@mail.ru*

Feasibility study a long-term autonomous sea observatory on the basis of a stabilized buoy is carried out. Estimates of strength and durability of the prestressed concrete spar buoy are presented. The list of prospective scientific, telecom and the system control equipment of the observatory is enclosed.

В исследованиях Мирового океана в последнее время наблюдается тенденция постепенного перехода от преимущественно экспедицион-

ных методов исследований с помощью научно-исследовательских судов к созданию непрерывно действующих систем мониторинга с помощью донных и притопленных автономных станций, плавающих и заякоренных буюв, дрейфующих и ныряющих модулей. Следует отметить, что имеется ряд явлений в Мировом океане, которые невозможно или сложно исследовать с помощью подвижных объектов (научных судов, свободно плавающих буюв). К таким явлениям относятся медленно развивающиеся процессы: тайфуны, циклоны, вариации течений, эль-ниньо, или редко появляющиеся события: волны-убийцы, подводные землетрясения и цунами и др. Для исследования таких явлений требуется регистрация длинных временных рядов многих связанных параметров, обычно локализованных в конкретной области океана [1, 2, 3, 4].

Сильнейшие подводные землетрясения ряда последних лет, сопровождаемые катастрофическими цунами, подтверждают настоятельную необходимость создания стационарной морской сейсмологической сети, в том числе, с использованием стационарных буюв. Существующие сети наземных сейсмографов регистрируют сигналы сильных удаленных подводных землетрясений с большими искажениями, а слабые сейсмические сигналы при этом не регистрируются вовсе. Такая ситуация не позволяет определять общую сеймотектоническую картину недр Земли в ее единстве и многообразии [2, 3, 4].

В настоящее время научным коллективом ИО РАН ведётся разработка проекта стационарного стабилизированного буюа для использования в качестве долговременного носителя исследовательской и ретрансляционной аппаратуры в прибрежной морской зоне. Схема проектируемого буюа представлена на рис. 1.

Буюа состоит из подводной части, выполненной из предварительно напряженного железобетона, и надводной части в виде стальной решетчатой конструкции. Расчет прочности осуществляется в соответствие с требованиями действующих строительных норм – СП 16.13330.2011, СП 20.13330.2011, СП 41.13330.2012, СП 63.13330.2012, – а также с учётом результатов натурных измерений волнения моря в месте предполагаемой установки буюа [5].

Использование результатов натурных измерений позволило выделить 7 различных расчётных воздействий волнения моря, имеющих разные продолжительность и интенсивность (табл. 1).

Стационарный стабилизированный буюа общим весом 136 тонн и длиной 45 метров (30 метров – бетонная часть, 15 метров – металлическая мачта) предполагается оснастить следующим оборудованием:

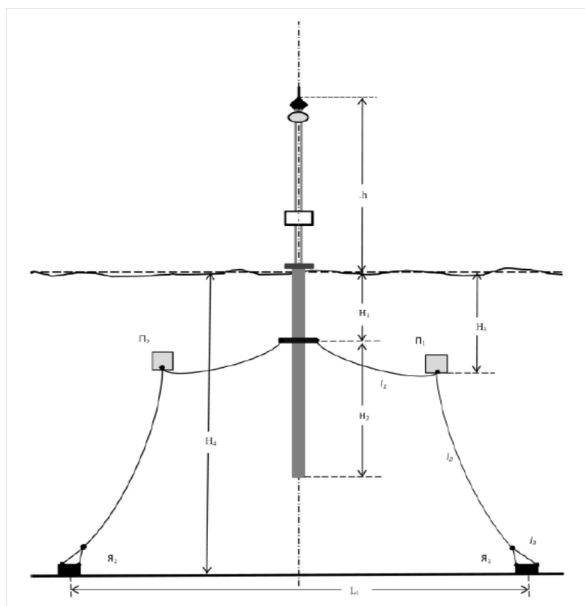


Рис. 1. Схема установки стабилизированного буйа на дне

Таблица 1. Расчётные воздействия волнения моря

Событие	Длительность	H_s , м	T_{avg} , с	Число циклов
Максимальный расчётный шторм (активная фаза)	3 часа	6.89	9.3	1162
Максимальный расчётный шторм	7 часов	6.00	9.057	2783
Дневное	24 часа	3.62	6.522	13 248
Недельное	7 дней	3.19*	6.561*	92 182
		1.99**	5.663**	
Месячное	30 дней	2.58*	6.043*	428 927
		1.41**	4.736**	
Годовое	365 дней	1.45	4.836	6 521 092
Десятилетнее	10 лет	0.84	3.863	81 636 035

* Определено как среднее значение для, соответствующее, 7 и 30 дней с наибольшими значениями H_s .

** Определено как максимальное значение скользящего среднего для соответствующего периода.

1. Автоматическая морская метеостанция, расположенная на высоте до 20 м от поверхности моря.

2. Системы профилирования приповерхностных слоев атмосферы и моря: а) Распределенные датчики скорости ветра, температуры и влажности для измерения профилей в приземном слое атмосферы и расчета потоков импульса, тепла и влаги. б) Термокоса с расположением датчиков от водной поверхности до 40–50 м глубины. в) Измерение скорости течений акустическим локальным измерителем ADCP. г) Автоматическая лебедка для выполнения зондирований от поверхности до дна СТД-зондом и дополнительными датчиками (флуоресценции хлорофилла «а», концентрации взвеси, растворенного кислорода, нитратов).

3. Системы измерений морского волнения (струнные волнографы, лазерные и/или радио-уровнемеры, УКВ радар, видео- и радиостереосистемы для измерения пространственной структуры волнения).

5. Измерители нисходящего и восходящего излучения для оценки радиационного баланса.

9. Подводная видеокамера с подсветкой для наблюдения различных биологических объектов.

10. Донные кабельные сейсмаакустические станции для измерения морского шума, регистрации местных и удаленных землетрясений и акустосейсмической томографии.

11. Система сбора и передачи информации с измерительных систем, расположенных на буе.

12. Автоматическая система идентификации судов (АИС).

13. Базовый модуль мобильной связи (Билайн, Мегафон).

ВЫВОДЫ

Большая остойчивость и отсутствие вращения буя позволяют решать на его основе широкий круг исследовательских и практических задач, производить измерения в атмосфере, в воде и на дне, а также обеспечить устойчивую работу станции мобильной связи.

2. В результате расчетов прочности морского буя, изготовленного из предварительно напряженного железобетона, показана возможность его функционирования в течение 10 лет для условий прибрежной зоны Черного моря.

3. Невысокая стоимость носителя и его остойчивость к внешним воздействиям создают условия для развертывания сетей геофизических обсерваторий на территории акваторий России (не подверженных заморзанию) и в отдаленных районах океана.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Purdy G.M., Dzievonski A.M.** Towards a Permanent Network of Ocean Floor Seismological Observatories // AbstractBook, Intern. Workshop Multidisciplinary Observatories on the deep seafloor. Marseille, France, 1995. P. 165-168.
2. **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. DOI: 10.3103/S0747923910010019
3. **Romanovich, B., Stakes, D., Dolenc, D., Neuhauser, D., McGill, P., Uhrhammer, R., Ramirez, T.** The Monterey Bay broadband ocean bottom seismic observatory // Ann. Geophys. 2006. V. 49. N 2/3. P.607–621.
4. **Shiobara H., Moshisuki M., Shinohara M., Kanazava T., Hino R.** Long term OBS array observations – development and preliminary result // Proc. OHP/ ION Joint Symp. Japan, 2001. P.106–108.
5. **Подымов И.С., Косьян Р.Д., Анцыферов С.М., Соколов В.А., Хабидов А.Ш., Дивинский Б.В., Пушкарев О.В., Бирин Е.И., Подымова Т.М.** Динамические процессы береговой зоны моря // Проект РФФИ 04-07-90033. 2006. URL: <http://coastdyn.ru/toppage1.htm>

УДК 634.67

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ «ФИЛОСОФИИ» ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

Алексеев Ю.К.

*Дальневосточный федеральный университет,
690950, Владивосток, Суханова 8, ДВФУ, Кафедра АиУ.
8(423)2453398. jkalekseev@mail.ru*

Предлагаются к обсуждению вопросы, которые наши англоязычные коллеги называют «философскими». Вопрос классификации в любом научном или техническом направлении является концептуальным и влияет на его развитие. Без внятной классификации невозможно построение логичной терминологии, затруднены преподавание и взаимодействие специалистов.

В настоящее время бурно развивающаяся подводная робототехника превращается в самостоятельную научно-техническую дисциплину, что требует более строгого подхода к терминологии и классификации её уже многочисленных, разнообразных и всё пополняющихся объектов.

В англоязычной технической литературе и в мировой практике закрепились аббревиатура **AUV – *Autonomous Underwater Vehicle*** (автономный подводный аппарат). Однако поскольку подводная робототехника постоянно совершенствуется, некоторые термины уже не несут первоначально заложенного в них смысла. Так, не вполне точно уже звучит и аббревиатура AUV и общепринятые в настоящее время [1] отечественные названия – автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), или автономный подводный робот (АПР) [2]. Более точно называют эти средства в фирмах, связанных с ВМФ США – ***Unmanned Untethered Underwater Vehicle (UUUV)*** – (необитаемый неприрывной подводный аппарат).

Для уточнения понятий – телеуправляемый и «автономный» робот – на верхних уровнях предлагается использовать наиболее общие принципы классификации: *механический, энергетический и информационный*.

Механическая автономность предполагает отсутствие какой-либо механической связи в виде кабеля, троса или шланга, соединяющей подводный аппарат с судном-носителем, а также с донной или береговой базой. **Энергетическая автономность** предполагает наличие на борту аппарата автономного источника питания в виде, например, аккумуляторных батарей, топливных элементов, ядерного реактора, двигателя внутреннего сгорания с замкнутым рабочим циклом и т.п. Также АПР может самостоятельно получать энергию (солнечную, волновую) из окружающей среды. И наконец, **информационная автономность** необитаемых подводных аппаратов предполагает отсутствие информационного обмена между аппаратом и судном-носителем, а также донной или береговой базой. *Автономный аппарат должен иметь и автономную инерциальную навигационную систему.*

В первых неприрывных подводных аппаратах отсутствие кабеля автоматически означало выполнение всех трёх вышеперечисленных условий автономности. Низкая информативность и помехозащищённость гидроакустического канала, недостаточное совершенство систем гидроакустической связи того времени не позволяли при отсутствии кабельной связи передавать на поверхность большое количество информации. В настоящее время благодаря прогрессу в области гидроакустики, вычислительной техники и телеметрии появляется возможность передачи на поверхность информации, достаточной для принятия оператором

решений и управления поведением непривязного необитаемого подводного аппарата в супервизорном режиме. Несмотря на развитие автономных систем управления с элементами искусственного «интеллекта», появившуюся возможность участия человека в оценке окружающей аппарат среды и в коррекции поведения непривязных подводных аппаратов следует считать очень полезной и даже необходимой. В ближайшем будущем, видимо, будут создаваться и совершенствоваться именно непривязные необитаемые подводные аппараты с элементами интерактивного супервизорного дистанционного управления. Граница между автономно и дистанционно (теле) управляемыми НПА стирается и, на наш взгляд, лучше использовать термины привязной или непривязной аппарат.

За привязными дистанционно управляемыми аппаратами закрепились не очень внятная аббревиатура – **ROV (*Remotely Operated Vehicle*)**. Это осознают и сами разработчики. Так сотрудники известной компании Perry представляя один из своих рабочих аппаратов пишут: «If it is ROV, that We make it» (Если это ROV, то мы делаем это).

Комбинированные многозвенные привязные необитаемые подводные комплексы

Необходимость выполнения работ на больших глубинах, попытки проникновения во внутренние помещения затонувших судов показали непригодность для этих целей, плавающих телеуправляемых подводных аппаратов, поскольку привязной аппарат не мог перемещать за собой длинный кабель. Поэтому в середине 1970-х гг. в СССР, несколько позже в США и Франции, а в конце 1980-х гг. и в Японии приступили к созданию подводно-технических средств нового типа, состоящих из двух звеньев [3]. Последующие разработки и эксперименты показали несомненную перспективность следующих комбинаций:

- донный «энергоякорь», соединённый кабель-тросом с обеспечивающим судном, привязной необитаемый подводный аппарат, соединённый с «энергоякорем» тонким плавучим кабелем (CURV-III, CURV-IV, «Hydra-AT 1850 CRS», и др.);

- донный «гараж», соединённый кабель-тросом с обеспечивающим судном, из которого выходит привязной необитаемый подводный аппарат, соединённый с «гаражом» тонким плавучим кабелем («Tiger», «Panther», «Triton» и др.);

- большой рабочий привязной телеуправляемый подводный аппарат и связанный с ним тонким кабелем малый привязной телеуправляемый аппарат (МПТА) («Millennium» – «Spectrum ROV»);

- буксируемая платформа, к которой присоединён плавающий или донно-плавающий привязной необитаемый подводный аппарат, причём

первая может выполнять и функции донного «гаража» («Лортодромия-РВО», «Kaiko», «ABISMO»);

- донный самоходный телеуправляемый подводный аппарат, являющийся одновременно и «гаражом», и носителем плавающего телеуправляемого подводного аппарата («Flex jet»);

- обитаемый глубоководный аппарат (ГОА) или боевая подводная лодка, которые являются носителями легких АНПА и МПТПА («Alvin – Jason-junior», «Мир – Rover», «Русь – Лорнет»).

В перспективе возможны комбинации:

- АНПА – МПТПА;

- Надводная необитаемая платформа, являющаяся носителем АНПА и/или МПТПА;

- Большой АНПА – малый АНПА и другие комбинации.

Классификация НПА по виду канала связи

Сведения по скорости передачи информации и дальности связи приведены на 2015 год. При наличии аппаратурных возможностей и энергоограничений автономного источника питания на тот момент времени.

Электромагнитный канал связи

	Дальность, км		
	0,05	1,0	10
Скорость передачи информации, Кб/сек	0,3	0,03	–

Автономный



Акустический канал связи

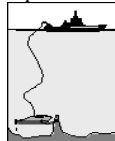
	Дальность, км		
	0,05	1,0	10
Скорость передачи информации, Кб/сек	500	100	50



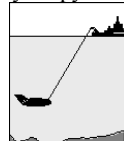
Линия связи с применением электрического кабеля

	Дальность, км		
	0,05	1,0	10
Скорость передачи информации, Кб/сек	10^5	10^5	10^5

Привязной



Буксируемый

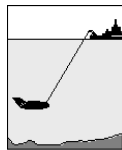
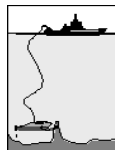


Волоконно-оптическая линия связи

Привязной

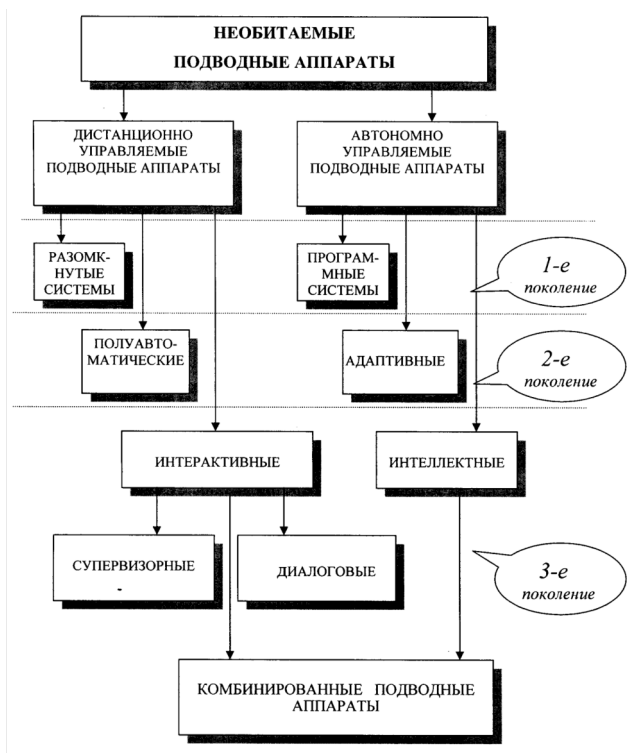
Буксируемый

	Дальность, км		
	0,05	1,0	10
Скорость передачи информации, Кб/сек	10^7	10^7	10^7



Классификация подводных роботов по степени совершенства систем управления

Современные необитаемые подводные аппараты, превращаясь в сложные кибернетические системы, становятся дистанционно управляемыми и автономными подводными роботами, поэтому одним из основных принципов их классификации является информационный принцип, а разбиение АПР по поколениям целесообразно производить по степени совершенства их систем управления. У АПР отсутствует информационный канал связи с оператором [3].



АПР первого поколения функционируют по заранее заданной жёсткой неизменяемой программе. АПР второго поколения имеют разветвлённую сенсорную систему. Они могут автоматически адаптировать своё поведение и к изменяющейся внешней среде, и к своему внутреннему состоянию. Интеллектуальные АПР третьего поколения уже должны обладать элементами искусственного «интеллекта»: возможностью самостоятельного принятия несложных решений в рамках общей поставленной перед ними задачи; элементами искусственного (технического) зрения с возможностью автоматического распознавания простых образов; способностью к элементарному самообучению с пополнением собственной базы знаний.

Привязные дистанционно управляемые подводные роботы (ПДПР) первого поколения управляются по разомкнутому контуру. В этих простейших устройствах команды управления подаются оператором непосредственно в движительный комплекс без использования автоматических обратных связей. Второе поколение ПДПР предполагает наличие автоматических обратных связей по координатам состояния объекта управления: высоте над дном, глубине погружения, скорости движения, угловым координатам и т.п. Эти текущие координаты сравниваются в автопилоте с программными, которые задает оператор. В результате необходимое управление аппаратами формируется с учетом реальных ошибок их работы. Такие подводные роботы могут быть названы полуавтоматическими дистанционно управляемыми подводными роботами. ПДПР третьего поколения управляются оператором уже в интерактивном режиме. Интерактивная система супервизорного управления имеет иерархическую структуру, состоящую из верхнего уровня, реализуемого в ЭВМ судна-носителя, и нижнего уровня, реализуемого на борту подводного аппарата. На верхнем уровне оператор сначала анализирует видеoinформацию о подводной обстановке и навигационно-пилотажные параметры вектора состояния объекта управления, которые поступают с борта подводного аппарата. На основе этой информации он принимает некоторые решения, которые затем реализуются в виде некоторых обобщённых типовых команд. Каждая типовая команда приводит в действие определённый алгоритм управления движением подводного аппарата, обеспечивающий выполнение поставленной задачи в реализуемом режиме функционирования. Набор обобщённых типовых команд зависит от конкретного назначения подводного аппарата, а их состав может видоизменяться и дополняться в процессе развития системы.

Состав алгоритмов выполнения типовых команд может быть, например, следующим:

- выход в заданную точку дна или подводного пространства;
- динамическое позиционирование над объектом исследований;
- мягкая посадка на дно вблизи объекта работ;
- автоматическое наведение аппарата на цель по гидролокатору носового обзора;
- автоматическое наведение аппарата на магнитную аномалию;
- автоматическое выведение аппарата на цель, наблюдаемую оператором на экране телемонитора;
- реализация программных поисковых траекторий;
- выход аппарата в экстремум геофизических и гидрохимических полей океана;
- автоматическое отслеживание аппаратом рельефа дна и обход препятствий;
- сближение и стыковка подводного аппарата с носителем или донной станцией и другие.

Бортовая ЭВМ принимает обобщённые типовые команды – цели, производит выбор способа реализации движения подводного аппарата и формирует задающие воздействия. Эти воздействия через канал телеметрии поступают в нижний – исполнительный уровень системы управления и обеспечивают необходимое движение аппарата.

В интерактивной диалоговой системе управления *ДПР* предполагается отклик робота на вводимые оператором команды, в том числе с целью уточнения принятых команд. Команды, которые робот может выполнять автономно, составляют смысловую основу проблемно-ориентированного языка, на котором человек-оператор должен общаться с роботом. Заманчивым представляется использование в диалоговой системе для управления, например, ориентацией и движением *ДПР*, речевого канала связи, оставляя эффекторный канал, например, для управления манипуляторами. Управляющие воздействия формулируются на естественном проблемно-ориентированном языке высокого уровня с относительно небольшим словарём. При этом специализированный речевой процессор осуществляет предварительную обработку речевых сигналов на акустическо-фонетическом и лексическом уровнях, а окончательное распознавание слов и предложений совмещается с процедурой трансляции с проблемно-ориентированного языка управления аппаратом на машинный язык вычислительной системы, реализующей управление.

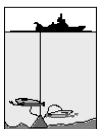
Следует отметить, что в отличие от смены поколений, скажем, в вычислительной технике или в элементной базе радиоэлектронных средств, в робототехнике, в том числе и в подводной, последующее по-

коление не отвергает полностью предыдущее. Для выполнения одних задач эффективнее использовать простые аппараты даже с разомкнутой системой управления и более опытного оператора. Другие требуют применения более совершенных роботов. Так, видимо, ещё долго недорогие осмотровые мини-аппараты небольших глубин (Eye-Ball, Low-Cost ROV, Personal & Recreational ROV) будут оставаться разомкнутыми системами – без автоматических обратных связей, а замыкаются через оператора по видеоизображению. Для решения же, например, обзорно-поисковых и обследовательских задач, особенно на больших площадях, следует совершенствовать и привлекать ПР третьего поколения, обязательно оставляя специалисту-оператору возможность эпизодического вмешательства в сложных ситуациях.

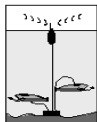
Варианты развертывания необитаемых аппаратов с комбинированным каналом связи



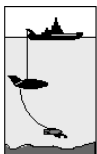
Автономный аппарат связан с буйем посредством кабеля. Связь буя с судовым или береговым приемником по радиоканалу



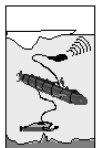
Кабельная связь аппарата с донной станцией, трос-кабельная связь донной станции с судном



Кабельные каналы связи аппаратов с донной станцией и донной станции с буйем. Буй связан с судовым или береговым приемником по радиоканалу



Трос-кабельная связь судна с буксируемым аппаратом. Буксируемый аппарат связан с привязным посредством плавучего кабеля



Кабельная связь обитаемого аппарата или подводной лодки с привязным необитаемым аппаратом

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 56960-2016 Аппараты необитаемые подводные. Классификация
2. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / Под ред. акад. М.Д. Агеева. М.: Наука, 2005. – 398 с.
3. **Алексеев Ю.К.** Введение в подводную робототехнику. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008. – 296 с.

УДК 551.46. 626.02. 073.

ВОДОЛАЗНЫЕ И БАРОКАМЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Яхонтов Б.О.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва,
8(499)124-79-92, giper28@ocean.ru*

The technology of diving for scientific purposes is discussed. The most promising are the technology and methodology of short-term diving in autonomous mode with the use of breathing apparatus with a closed breathing cycle. Effective is The technology of simulation of deep ocean research in the lab hydro pressure chambers.

Водолазные технологии подводных научных исследований реализуются проведением исследований под водой водолазами с применением различных методов водолазных спусков и технических средств. Барокамерные технологии – проведение исследований и испытаний в лабораторных барокамерах и гидробарокамерах при давлениях, соответствующих изучаемым глубинам.

Результаты сравнительного анализа эффективности водолазных технологий и обобщения международного опыта в этой области показывают, что наиболее приемлемыми являются те, которые обеспечивают большую безопасность подводных погружений. При этом следует иметь в виду, что безопасность научной работы под водой обеспечивается не только техническими средствами (надежное водолазное снаряжение, оборудование и прочие специальные принадлежности), но и квалифика-

цией водолаза. Проблема безопасности заключается так же и в разнице уровней квалификации профессионального водолаза и водолаза-исследователя, ученого. Первый – профессиональный водолаз, но не исследователь, второй – ученый, исследователь, но водолаз невысокой квалификации. Естественно, что во втором случае риск при работе под водой существенно выше, что в ряде случаев затрудняет выбор исполнителя научной работы под водой. Приемлемой альтернативой является профессиональная подготовка водолазов, по крайней мере, начальной квалификации, из числа научных работников, прошедших медицинский отбор в соответствии с установленным порядком. Но при этом решается проблема исследовательской работы под водой в основном на малых и частично средних глубинах методом кратковременных погружений (КП). Вообще при соответствующем техническом оснащении (дыхательные аппараты с замкнутым циклом дыхания и возможностью поддержания постоянного парциального давления кислорода независимо от глубины) и специальной подготовке метод КП ограниченно может использоваться в автономном режиме и для глубоководных (примерно до 100 м) спусков. Это эффективный метод водолазных погружений, позволяющий решать многие научные задачи под водой. Развитию этого метода в немалой степени способствовал технологический прогресс в разработке и создании новых типов водолазного снаряжения, технических средств повышения безопасности спусков и компьютеризация режимов погружений. Возможность применения различных по составу дыхательных смесей и их активная смена при погружении и всплытии позволили максимально оптимизировать декомпрессионные режимы [1].

Высокая эффективность автономного снаряжения является главным при использовании «смесевых аппаратов замкнутого цикла» при подводных работах, носящих эпизодический характер, что характерно для океанологических исследований. При испытаниях такие аппараты показали эффективность во всем диапазоне рабочих глубин. Полная их автономность позволяет проводить водолазные спуски с необорудованных плавсредств, а компактность снаряжения и отсутствие необходимости обеспечения с поверхности делают данный метод максимально мобильным и относительно безопасным [2]. Однако это не является основанием для снижения требований безопасности, это в любом случае является главным при организации водолазных работ. При соблюдении всех требований безопасности методика спусков в автономном режиме может стать основной при погружениях в научных целях.

Однако в зоне глубоководных спусков (более 60 м) и особенно на глубинах свыше примерно 100–120 м ни один метод КП не обеспечива-

ет эффективность работы на грунте, так как время декомпрессии резко возрастает. Альтернатива этому – переход на метод длительного пребывания (ДП) водолазов под давлением, при котором время декомпрессии не зависит от времени пребывания на данной глубине. Конечно, внедрение в практику метода ДП породило серьезные технические и организационные проблемы, которые заключаются, прежде всего, в постройке дорогостоящих береговых и судовых водолазных комплексов, в которых можно было бы имитировать различные глубины. Этот метод реализуется в основном с помощью судовых стационарных водолазных комплексов, которые могут устанавливаться на палубе или в помещениях под палубой водолазного судна и обеспечивают все виды водолазных работ в режиме длительного (многосуточного) пребывания под давлением.

Весьма эффективной является технология производства водолажных работ с применением судового модульного (временно устанавливаемого на палубе) водолазного комплекса в блочно-модульном и контейнерном исполнении. Судно с водолажным комплексом должно иметь достаточную площадь на палубе для его размещения, систему позиционирования и крановое оборудование для грузовых операций с барокамерными и технологическими модулями комплекса. Естественно, что такие комплексы не являются более дешевыми и простыми, но при прочих равных условиях они выигрывают своей универсальностью – могут работать и в береговом, и в судовом вариантах, могут использоваться и в научных, и в производственных целях, и как эффективный способ организации спасательных работ на морских объектах.

Конечно, для использования в интересах только океанологической науки такой подход к решению проблемы не является оптимальным в связи с высокой стоимостью оборудования и эксплуатации (транспортировка и обслуживание). В этом случае приоритетным является все же судовой стационарный вариант.

Не менее эффективной является технология производства подводных работ методом ДП с использованием подводных носителей с водолажными отсеками или комплексами. Важно, что при этом не требуется фиксированная стоянка обслуживающего судна с динамическим позиционированием над местом работы. Эта подводная техника независима от погодных условий на поверхности, что значительно упрощает обслуживание водолазного объекта и повышает безопасность подводных работ, но такие системы дороги и пока недоступны даже крупным научно-производственным компаниям.

Одним из перспективных направлений является создание мобильных ГВК, модули которых размещаются в морских контейнерах междуна-

родного класса, что обеспечивает оперативную доставку к месту проведения водолазных работ всеми видами транспорта, включая авиационный [3].

Перспективным может быть также береговой универсальный гидротанк для научных исследований и испытаний габаритного подводного оборудования, включая обитаемые подводные аппараты (ОПА), на имитированных глубинах.

В отличие от водолазных технологий гипербарические технологии океанологических исследований свободны от аспекта безопасности, поскольку исследователь не подвергается влияниям факторов повышенного гидростатического давления. Он изучает эти влияния на морские объекты (биологические, геологические и прочие) и объекты испытаний (приборы, электронные элементы и прочие), помещенные в гидробарокамеру [4]. Это единственный метод моделирования, или имитации, глубин океана в лабораторных условиях. При наличии в тест-камере иллюминаторов, герморазъемов, системы поддержания температурных режимов и других систем условия в камере возможно приблизить к реальным морским, а по фактору давления имитировать глубины океана и получать научную информацию с недоступных другими методами глубин.

Анализ потребностей и возможностей развития технологий подводных погружений человека, а также моделирования больших глубин океана в гидробарокамерах, показал, что для этого необходима профессиональная подготовка «научных» водолазов для проведения исследований под водой. Это возможно при наличии учебно-исследовательского судна, а также морского полигона для отработки технологий погружений и методов научной работы под водой.

Решение этих задач обеспечит возможность проведения фундаментальных и прикладных исследований на более высоком научном уровне и освоения ресурсного потенциала континентального шельфа России.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Черкашин С.В.** Глубоководные водолазные спуски методом кратковременных погружений // Наука и транспорт. – 2011. – № (спецвыпуск-2011). – С. 70-73.

2. **Черкашин С.В.** Глубоководные водолазные спуски в автономном режиме. Перспективы развития // Морские испытания. – 2007. – №1. – С. 4-18.

3. **Куренков Г.И., Скалацкий О.Н., Яхонтов Б.О.** Развитие технологий глубоководных водолазных погружений для освоения шельфа России и других прикладных задач // International conference on subsea

technology. SubSeaTech-2009, June 2009, St.Petersburg, Russia. – Marine Technical University. – Proceedings. – P. 1-20.

4. **Яхонтов Б.О., Римский-Корсаков Н.А.** Развитие гипербарических технологий океанологических исследований // Океанология. – 2016. – Т. 56. – № 1. – С. 167–171.

ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ БАРОУСТОЙЧИВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Стрельцов А.Я.

*Муниципальное бюджетное образовательное учреждение
«Горайская средняя школа»,
деревня Горай, 181318, Псковская область, Островский район,
8(81152)95-327, deepdivertech@yandex.ru*

In the report I offer possible ways of creation of so-called «The baro-stable electronics», i.e. electronics, capable to work in conditions of high pressures at the considerable depth of immersing the underwater device.

На предыдущей конференции МСОИ-2015 в процессе обсуждения моего выступления затрагивался вопрос создания т.н. «бароустойчивой электроники», т.е. электроники, способной работать в условиях высоких давлений.

В предлагаемом докладе рассматриваются теоретические рекомендации по созданию такой электроники, способной сохранять работоспособность на значительных глубинах.

В связи с бурным развитием в последнее время подводных аппаратов разного типа (в том числе с большой глубиной погружения) указанная тема может представлять интерес для широкого круга специалистов, занимающихся подводной робототехникой.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Буховцев Б. Б.** Учебное пособие для 9 класса средней школы / Б.Б. Буховцев, Ю.Л. Климонтович, Г.Я. Мякишев. – М. Просвещение 1981. с. 199.

2. **Резников З. М.** Прикладная физика / З.М. Резников. – М.: Просвещение, 1989. с. 107, 115–118.

3. **Лембра Ю.** Физические основы квантовой механики – учебное пособие для студентов отделения физики/ Ю. Лембра / Тартуский государственный университет. – 1983. С. 114.

4. **Гашидзе Ф. М.** Влияние давления на фоновые спектры и упругие свойства орторомбического GeSe / Ф.М. Гашидзе, Д.А. Гусейнова, З.А. Джахангири, Б.Г. Мехтиев, Г.С. Оруджев. – Физика твердого тела, 2014. Том 56., Вып. 4. С. 731.

ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОМПАКТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Стрельцов А.Я.

¹ *Муниципальное бюджетное образовательное учреждение
«Горайская средняя школа»,
деревня Горай, 181318, Псковская область, Островский район,
8(81152)95-327, deepdivertech@yandex.ru*

The report is devoted to possible methods of creation of the perspective compact energy sources of long service life.

В последнее время во всем мире очень активно развивается робототехника. Однако перед разработчиками роботов (и других устройств) стоит задача создания компактных «долгоиграющих» источников энергии.

Доклад посвящен возможным методам создания перспективных компактных источников энергии длительного срока службы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на изобретение № **2258268 ru** – Способ Стрельцова усиление интенсивности протекания явления сонолюминесценции на геометрических центрах симметрии цилиндрической или сферической полости излучателя.

2. **Taleyarkhan, R. P., West, C. D., Cho J. S., Lahey, R. T., Nigmatulin, R. I., Block, R. C.** Evidence for Nuclear Emissions During Acoustic Cavitation – SCIENCE MAGAZIN, VOL 295 8 MARCH 2002: p. 1868 – 1873

3. **Костенко, Б. Ф.**, Настольная термоядерная установка? / Б.Ф. Костенко, Я. Прибыш – Лаборатория информационных технологий, ОИЯИ. – Изд.: JINR, Dubna, 2006. с. 267 – 270.

МЕТОД СНИЖЕНИЯ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ И ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ В МОРСКОЙ И ПРЕСНОЙ ВОДЕ

Васильев Н.В.

*ООО «СИМИЗУ» ул. Большая Грузинская д. д.42, пом.1 ком.12
г. Москва 123056, +79252337128, nikwas55@gmail.com*

The paper lists some of features of environmentally-friendly the energy method of impact (EMV). Thanks to changing of direction of the chemical reaction in the electric double layer at the phase interface it is possible to clean the corrosion and deposits and to provide underwater conservation of flooded objects.

История накопления опыта

Применение энергетического метода воздействия (ЭМВ) началось с очистки и защиты теплоэнергетических объектов (котельного оборудования, дизелей, водо-пароотопительных систем, систем холодной и горячей воды и т. п.) от коррозии и отложений [1]. С 2003 года по настоящее время в различных регионах России на объектах, принадлежащих железным дорогам, в том числе и подвижном составе; обработано более 40 крупных систем; протяженность наблюдений за динамикой процессов доходила до 9 лет [1, 2].

Применяемый метод основан на изменении направленности химических реакций, протекающих на границе раздела фаз в двойном электрическом слое. Изменения направленности протекания реакций вызываются влиянием полей энергента (мелких частиц инертного минерала с деформированными кристаллическими решетками).

Создана методика применения.

Предпосылки к применению под водой

При наблюдении за процессом очистки на теплотехнических объектах был отмечен ряд явлений, который может быть использован при защите плавучих, подводных технических средств и объектов с труднодоступными полостями, подводных свалок опасных веществ и захоронений в герметичных оболочках:

– процесс очистки от коррозии и отложений не требует принудительной циркуляции жидкой фазы. Состав с энергентом при попадании

на поверхность твердой фазы начинает распространяться по ней за счет естественного процесса минимизации поверхностной энергии жидкой (или газообразной) фазы в зоне контакта фаз и энергента;

- разрушение вторичных загрязнений происходит до уровня мелкодисперсной взвеси и может вымываться слабым течением; на очищенной поверхности возникает тонкий прочный самозатягивающийся при повреждении защитный слой, наблюдается значительное уменьшение адгезии;

- защитный слой затягивает микротрещины, изъязвления и поры в материале;

- образованная из отложений мелкодисперсная взвесь не цементируется и не пристает к стенкам при ее содержании до 200 мг/л (данные годового наблюдения за котловой водой и водой систем отопления);

- после обработки скорость коррозии с аварийных значений постепенно снижается до 0,01 мм/год и менее (данные отчетов);

- применяемый препарат не повреждает уплотняющие материалы, сварные швы, комбинированные изделия из стали, чугуна, цветных металлов, стекла и пластмасс;

- добавочная обработка объекта для сохранения достигнутого состояния потребуется не чаще одного раза в год;

- рабочая температура теплоносителя плюс 140°C не является предельной для энергента.

Предлагаемый способ применения под водой

Впрыск в объект или распыление энергента в расчетной пропорции над объектом.

Можно предположить следующие примеры применения:

рутинные:

- обработка подводных аппаратов и навесного оборудования – для предотвращения солеобразования и коррозии на конструкции, даже при работе в агрессивных средах с повышенной температурой (например, в районах геотермальной активности);

- очистка от коррозии и отложений конструкций затопленных объектов, свалок, «заделка» микродефектов материала и обеспечение в последующем низкой скорости коррозии и роста отложений;

- снижение трения о стенки трубопровода при транспортировке жидкостей, защита внутренних металлических поверхностей и сварных швов от коррозии и отложений в работающих трубопроводах [1];

экзотический:

- разрушение полезных минералов *in situ* до мелкодисперсного состояния [2], [3].

Заключение

Законы термодинамики для всех гетерогенных систем одинаковы, поэтому от защиты внутренних поверхностей энергетического оборудования можно перейти к другим объектам, работающим в близких по характеру средах, в том числе, в морской воде или другой водосодержащей жидкости.

Накопленный опыт работ и собранные материалы позволят быстро реализовать предлагаемые рутинные примеры до глубины 150–200 м в части очистки объектов от коррозии и отложений, и, предположительно, без ограничений глубины – для защиты подводных аппаратов и навесного оборудования. Применение метода для очистки объектов постоянно находящихся на больших, чем 1000 м глубинах возможно, но требует проверки [3].

Статья основывается на данных химических анализов из отчетов обработки систем методом ЭМВ.

Сам предлагаемый метод является экологически чистым.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Торопов М.Н.** Материалы для теплопроводов. Металл или пластик? / Торопов М.Н // С.О.К. №12 | 2006 источник: <http://www.c-o-k.ru/articles/materialy-dlya-teplovodoprovodov-metall-ili-plastik>.

2. **Торопов М.Н.** О качестве питьевой и технической воды / Торопов М.Н // С.О.К. №2 | 2012 источник: <http://www.c-o-k.ru/articles/o-kachestve-pit-evoy-i-tehnicheskoy-vody>.

3. **Болдырев В.В.** Механохимия и механическая активация твердых веществ. / Болдырев В.В. // Успехи химии 75 (3) 2006. С 203–215.

**ОБ ОПЫТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ
АВИАЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ
КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА АКВАТОРИИ,
ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К АРХИПЕЛАГУ ШПИЦБЕРГЕН**

Забавников В.Б.

*ФГБНУ «Полярный научно-исследовательский институт морского
рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича»
(ФГБНУ «ПИНРО»), г. Мурманск, 183038 ул. Книповича, д. 6
телефон: (815)-2-47-25-72, факс: (815)-2-47-33-31,
E-mail: ltei@pinro.ru*

This paper presents main principles of air remote sounding methods which were used in special research in Spitsbergen Archipelago marine area. Main remote sensing equipment which can be used for this purpose is also described here and some results are presented.

Впервые методы авиазондирования при осуществлении исследований ФГБНУ «ПИНРО» (ПИНРО) в районе архипелага Шпицберген начали применяться в 1997 г. Это направление научно-практической деятельности осуществляется в сентябре с борта специально оборудованного двухмоторного самолёта Ан-26 «Арктика» (самолёт-лаборатория – СЛ), и оно имеет комплексный характер, являясь элементом ежегодных совместных российско-норвежских экосистемных исследований Баренцева моря (ЭИБМ), осуществляемых с борта НИС. Под комплексностью понимается одновременный сбор первичных данных в реальных координатах и времени, описывающих текущее состояние морской поверхности и приповерхностных слоев, а также распределении и встречаемости морских млекопитающих и птиц, размерах, форме, положении и количестве косяков пелагических рыб.

При этом площадь акватории авиационных исследований (авиасъёмки) в том или ином году во многом определяется текущими ледовыми условиями. Авиасъёмки выполняются по специально разработанной сетке галсов, основные из которых ориентированы вдоль параллелей, с расстоянием между ними («шагом») не более 40 км. При этом определенная часть галсов полностью совпадает или, как минимум, в 2-3 точках пересекает

галсы ЭИБМ в их северной части, что позволяет оценить точность результатов авиазондирования, повысить их надежность и качество.

В процессе осуществления авиационных исследований, вдоль трассы полета СЛ или в полосе обзора до 2 км в режиме непрерывного зондирования, осуществляемого с использованием, установленной и эксплуатируемой на борту «Арктики» аппаратуры, собираются следующие исходные данные:

1. Положение и характеристики (сплоченность, форма, состав, возраст) морских дрейфующих льдов;

2. Температура поверхности моря (ТПМ) вдоль трассы полета СЛ. На основе использования этих данных в дальнейшем, после окончания авиасъемки, восстанавливается поле пространственного распределения ТПМ.

3. Сведения о термическом состоянии приповерхностного слоя моря на ограниченном участке в полосе шириной от 145 м до 700 м, в зависимости от высоты авиазондирования, которые представляются в виде термических (инфракрасных – ИК) изображений;

4. Прозрачность моря вдоль трассы полета СЛ, по данным о которой строится поле пространственного распределения прозрачности с использованием пакета прикладных программ (ППП) ArcView;

5. Концентрация хлорофилла «а» фитопланктона на поверхности моря вдоль трассы полета СЛ, по данным о которой строится поле пространственного распределения хлорофилла «а» в условных единицах с использованием ППП ArcView;

6. Положение и пространственная структура гидродинамических неоднородностей (фронты, вихри, меандры и т.д.) на поверхности моря, включая сведения о положении водных масс с различными характеристиками, которые получают в виде радиолокационных изображений в полосе обзора до 2 км, в зависимости от высоты проведения авиасъемки;

7. Глубина залегания слоя скачка плотности (пикноклина) и концентрация подповерхностного планктона вдоль трассы полета СЛ;

8. Положение, форма, видимые размеры и направление движения косяков пелагических рыб под самолетом и в полосе обзора до 2 км.

В процессе осуществления визуальных наблюдений в полосе обзора до 400 м, в зависимости от высоты выполнения авиасъемки, собираются данные о положении, количестве, видовой принадлежности и путях миграции морских млекопитающих, а также о численности, положении и виде птиц.

Кроме этого, ведутся наблюдения и регистрация судов, включая их государственную принадлежность, идентификацию и общее количество,

а также любых видов загрязнений. Постоянно осуществляется контроль состояния атмосферы, скоростью и направлением ветра, а также за морской поверхностью.

Для регистрации перечисленных данных на борту СЛ установлена и используется следующая аппаратура авиазондирования:

1. Комплекс ИК-зондирования, включающий радиометр АИР-2 и сканер «Малахит»;

2. Радиолокатор с синтезированной апертурой с длиной волны излучения 4 см (РСА-4);

3. ЛИДАРный комплекс (поляризационный авиационный ЛИДАР – ПАЛ-1);

4. Видео- и фотокомплекс.

Все исходные данные, получаемые от вышеперечисленной аппаратуры авиазондирования, в реальных координатах и времени поступают в бортовую автоматизированную систему (БАС), где проходят фильтрацию и первичную обработку, после чего выводятся на печать с заданным шагом в зависимости от изменчивости океанологических параметров для оперативной бортовой и послеполетной обработки (квазиреальное время), а также записываются на компьютерные носители с интервалом в 1 с для последующей специализированной обработки и системного анализа.

Не позднее чем через 3 ч после завершения каждого исследовательского полета в оперативном режиме готовятся «Итоговые карты комплексной авиасъемки» («Итоговые карты...») адаптированные в географическую информационную систему (ГИС).

Дополнительно, после завершения серии полетов, готовятся обобщенные карты авиационных исследований за некоторый промежуток времени, когда это представляется возможным, исходя из акватории авиасъемок (наличие смежных участков) и развития синоптических процессов (внутри одного естественного синоптического периода – 2–7 дней, или на стыке двух, но в пределах однородного синоптического периода – 7–15 дней).

На всех «Итоговых картах...» в виде условных обозначений, линий и символов представляются:

– кромка морских дрейфующих льдов, их характеристики, по данным инструментального авиазондирования и/или визуальных наблюдений;

– пространственная структура поля ТПМ;

– участки гидродинамических неоднородностей, идентифицируемые по результатам инструментального авиазондирования и/или визуальных наблюдений, а также границы между различными водными массами;

– участки повышенной концентрации первичной биопродуктивности, определенные на основе анализа данных по флуоресценции хлорофилла «а» на поверхности моря и сигналов от оптических неоднородностей по данным инструментального авиазондирования или в ходе визуальных наблюдений и интерпретируемые как подповерхностный слой планктона;

– косяки пелагических рыб, зарегистрированные в процессе инструментального авиазондирования и визуальных наблюдений;

– крупные, от нескольких десятков и более особей, скопления птиц;

– морские млекопитающие – киты, дельфины и др., которые, как и птицы, являются косвенным признаком наличия пелагических рыб;

– прочие морские биологические объекты, включая медуз;

– положение рыбопромысловых судов и прочих объектов;

– органические загрязнения.

«Итоговые карты...» и варианты их обобщенного представления являются функциональными принципиально важными элементами, на основании которых формируется специализированная база данных авиационных исследований ПИНРО, готовятся и принимаются среднесрочные и долгосрочные прогностические и управленческие решения.

Дополнительно, после завершения серии полетов, выполняется тематическая обработка данных, во время которой осуществляются картирование в ГИС отдельных из вышеуказанных параметров и поиск взаимосвязей между ними в целях оценки влияния их друг на друга.

Системный анализ результатов и материалов, полученных при осуществлении комплексных авиационных исследований, позволяет говорить о возможности использования их при изучении взаимосвязей между распределением пелагических рыб, морских млекопитающих, птиц и условий морской среды, а также в качестве одного из элементов при экосистемном моделировании. Это было неоднократно отмечено на встрече ученых ПИНРО и Бергенского института морских исследований (БИМИ), г. Берген, Норвегия.

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕДАЧИ ГЛУБОКОВОДНОГО ПЕНАЛА НА АВАРИЙНУЮ ПОДВОДНУЮ ЛОДКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТНПА

Овчинников А.В., Сурма В.А., Гизатуллин Р.С.

НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», ул. Морская, 4, 198412, г. Санкт-Петербург-Ломоносов, тел.: 8(812)422-42-64 факс: 8(812)422-76-75, vunc-vmf-5fil@mil.ru

The article presents the technology to transfer rescue elements and equipment to the disabled submarine lying on the seabed, with using a remotely operated vehicle.

Состав Военно-Морского Флота (ВМФ) Российской Федерации пополняется новыми атомными подводными лодками (пл), способными выполнять поставленные задачи, в том числе в арктических районах. В связи с этим возрастает актуальность оказания помощи экипажу подводной лодки в случае аварии.

Оказание помощи аварийной подводной лодке, лежащей на грунте, является одной из сложнейших задач, которая стоит перед спасательными силами ВМФ. В ходе проведения работ по ее решению может возникнуть необходимость передачи спасательного имущества или средств поддержания жизнедеятельности на пл с использованием глубоководного пенала.

В настоящее время спасательные подразделения ВМФ имеют в эксплуатации глубоководные пеналы типа ПГС (пенал глубоководный спасательный). Пенал ПГС предназначен для передачи на аварийную пл, лежащую на грунте, спасательного снаряжения, индивидуальных дыхательных аппаратов, средств регенерации воздуха, медикаментов, пищи или другого имущества способом шлюзования через шахту спасательного люка, прочную рубку, а также торпедные аппараты.

Пенал представляет собой жесткий цилиндрический сосуд, рассчитанный на внешнее рабочее давление 20 атм. Снизу пенал имеет выпуклое сферическое доньшко, приваренное к корпусу, сверху закрывается вогнутой сферической крышкой с резиновым уплотнением. Крышка оборудована вентиляционной пробкой и светосигнальным прибором. На доньшке приварен обух для крепления каната с гаком подвески, за ко-

торый пенал подвешивается в спасательном люке. Масса загружаемых в пенал предметов не должна превышать 27 кг.

При проведении спасательной операции может возникнуть ситуация, когда использовать водолазов не безопасно или их не будет на месте проведения работ. Тогда для доставки пеналов ПГС на аварийную пл, лежащую на грунте, могут применяться средние или большие (рабочие) телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА).

Необходимым условием выполнения этой работы с помощью ТНПА является точная постановка судна-носителя над аварийной пл. Для этого судно-носитель раскрепляется на заранее установленное по периметру аварийной пл, лежащей на грунте, рейдовое оборудование, либо удерживается с помощью системы динамического позиционирования или якорей. Важно отметить, что для удержания спасательного судна над аварийной пл с помощью якорей требуется заведение минимум трех якорей, чтобы избежать сноса судна течением и ветром. Доставка пенала является сложной технической задачей с большими ограничениями по глубине выполнения работ, скорости подводного течения и балльности моря.

Глубина выполнения работ ограничена и составляет 200 м. Также ограничениями могут являться скорость подводного течения и волнение моря, которые влияют на использование ТНПА и не должны превышать 1 узла и 3 баллов соответственно.

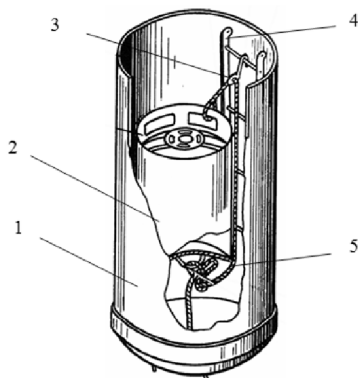
Для отработки технологии выполнения работ по доставке пенала на аварийную пл, лежащую на грунте, в соответствии с нормативно-технической литературой [1–3] в НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» проводятся тренировки в 25 метровом бассейне с использованием ТНПА «Тайгер» на макете спасательного люка.

Макет спасательного люка устанавливают у дальней стены бассейна на глубине 5 м. С другой стороны с помощью тельфера спускают на воду ТНПА «Тайгер» и глубоководный пенал, предварительно загруженный имуществом (грузами) массой 27 кг для получения отрицательной плавучести равной 3 кг. ТНПА «Тайгер» манипулятором захватывает как пенала и начинает движение в толще воды к макету спасательного люка, после чего пенал загружается в люк (рис. 1). Управление работой ТНПА осуществляется из контейнера управления.

Необходимо отметить, что в тренировочном бассейне созданы идеальные условия для выполнения вышеуказанных работ (отсутствует течение, хорошая освещенность и видимость под водой). Поэтому целесообразно такие тренировки также проводить и в реальных морских условиях.



Рис. 1. Загрузка пенала ПГС в макет спасательного люка



1 – шахта спасательного люка; 2 – пенал; 3 – гак; 4 – трап; 5 – канат

Рис. 2. Размещение пенала в спасательном люке

Технология доставки пенала на фактическую аварийную пл, лежащую на грунте, с помощью ТНПА может быть следующей.

С аварийной пл устанавливается гидроакустическая связь. После установки связи на аварийную пл передается порядок доставки пенала. Личный состав пл подготавливает спасательный люк или торпедный аппарат к приему глубоководного пенала. На спасательном судне подготавливают ТНПА, загружают в пенал необходимое имущество, спускают ТНПА и пенал на воду. ТНПА манипулятором захватывает пенал и начинает движение к аварийной пл.

По команде со спасательного судна производится открытие верхней крышки спасательного люка или передней крышки торпедного аппарата. После открытия крышки ТНПА загружает пенал в спасательный люк

донышком вниз, а в торпедный аппарат донышком вперед. При передаче пенала 2 (рис. 2) через шахту спасательного люка 1, ТНПА сначала должен зацепить гак подвески 3 с канатом 5 за верхнюю скобу трапа 4 или специально приваренный в шахте обушок, после чего пенал загружается в люк.

Закрытие крышки люка или торпедного аппарата, их осушение, а также снятие пенала с подвески в спасательном люке или выемка его из торпедного аппарата производится личным составом аварийной пл. Необходимо отметить, что из-за большой массы пенала и малых размеров работа по снятию с подвески или выемке его из торпедного аппарата представляет собой сложную и трудоемкую операцию и требует разработки специальных приспособлений для выполнения данных работ.

Другим способом доставки пенала к аварийной пл, может быть задача его по направляющему тросу. После установки связи с аварийной пл на неё передается порядок доставки пенала. После установки связи с аварийной пл на неё передается порядок доставки пенала. ТНПА заводит направляющий трос в район спасательного люка или торпедного аппарата. Со спасательного судна на спусковом конце по направляющему тросу опускается пенал. ТНПА отсоединяет спусковой конец от пенала и пенал от направляющего троса. По команде со спасателя происходит открытие крышки спасательного люка или торпедного аппарата и загрузка пенала в аварийную пл. Данный способ может применяться в случае невозможности ТНПА доставить пенал на аварийную пл самостоятельно.

Таким образом, доставка пенала на аварийную пл, лежащую на грунте, с помощью ТНПА является сложной технической задачей с большими ограничениями по глубине выполнения работ, скорости подводного течения и балльности моря.

Для отработки выполнения данной операции целесообразно проводить регулярные тренировки по доставке пенала с помощью ТНПА на флотах, в том числе при проведении учений по оказанию помощи аварийной пл, лежащей на грунте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агишев Е., Евсеев В. Справочное пособие по способам и технологиям выполнения работ подводными аппаратами, 1994 г.
2. Инструкция по эксплуатации пенала глубоководного спасательного, 1991 г.
3. Руководство по использованию ТНПА «Тайгер», 2005 г.

МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СВЯЗИ, ОРИЕНТАЦИИ И БИОМОНИТОРИНГА

Сюэ Вэй¹, Ольшанский В.М.², Волков С.В.², Эльяшев Д.Э.²

¹Институт информатики и коммуникации Харбинского инженерного университета (КНР),

150001, Китай, провинция Хэйлуцзян, г. Харбин, район Наньган, улица Наньтун, дом 145, хиеwei@hrbeu.edu.cn

²ИПТЭЭ РАН, Россия, 119071, Москва, Ленинский проспект, 33, +79165339283, vmolsh@yandex.ru

A comparison of the previously proposed hardware electric underwater orientation and communication to their natural counterparts – weakly electric fish – points to the prospects of the use of multielectrodes sources and receivers, as well as the organization of the equipment of a large number of simple cheap modules. The proposed approach is illustrated by the developed devices

В предшествующие годы авторами доклада на основе бионического моделирования электрических рыб были разработаны и успешно испытаны разнообразные системы подводной связи и ориентации [1–3], включая системы связи аквалангистов, контроля перекосов тралов, а также аварийной подземной связи в шахтах [4]. Параллельно нами осуществлялись научные исследования коммуникации у слабоэлектрических рыб [5] и амфибий [6]. Создаваемая аппаратура применялась для исследований, а результаты исследований позволяли предложить новые технические решения.

Электрические системы рыб отличаются от устройств, обсуждаемых в физико-технической литературе, прежде всего тем, что существующая техника ориентирована на одиночные комплекты аппаратуры, нагруженные на одну–две дипольные приемо-передающие антенны, тогда как у рыб системы коммуникации и локации построены по сетевому принципу, объединяя в целое совокупности простых модулей. Сетевой принцип организации свойственен и генераторной и рецепторной системам, причем и на центральном уровне и на уровне периферии. Электрические органы состоят из электроцитов – маломощных компактных единичных управляемых источников тока. Число электроцитов в орга-

нах таких рыб как электрический угорь или электрический сом исчисляются сотнями тысяч и даже миллионами. Электроциты управляются многочисленными электромотонейронами, а те, в свою очередь, нейронами командного ядра через нейроны релейного ядра. При генерации электрического разряда электроциты срабатывают синхронно или с управляемыми задержками, формируя разнообразные сигналы. Аналогично электрорецепторные системы электрических рыб состоят из тысяч электрорецепторов, трех функциональных типов, что позволяет рыбе воспринимать не только форму зависимости сигналов от времени, но его пространственное распределение вблизи рыбы.

Построение генерирующих и воспринимающих систем по сетевому принципу заметно повышает надежность систем связи. Если передатчик состоит из одного блока и нагружен на отдельный диполь, то в случае аварийной ситуации он может выйти из строя. Если же передатчик или приемник состоит из множества передающих совместно работающих модулей, то выход из строя нескольких из них не приводит к полной потере работоспособности.

Сетевой принцип организации рецепторной системы позволяет заметно повысить соотношение сигнал/шум для системы в целом по отношению к этой величине для одиночного рецептора. Основным источником подводных электромагнитных шумов являются атмосферы – сигналы от молний, большинство из которых находятся на расстоянии многих километров от точки приема. Источники полезных сигналов – рыбы или технические устройства – расположены гораздо ближе и дают другой характер распределения поля. Соответственно, рыбы имеют специальные механизмы, например, нейроны «контраста», позволяющие анализировать особенности распределения поля и улучшать отношение сигнал/шум.

Нами изготовлен ряд действующих макетов, использующих принцип многоэлектродности. На рис. 1 показана многоэлектродная приемопередающая антенна.

При использовании её в качестве источника электрического поля в задачах локальной ориентации, мы поочередно подключаем к цифровым выходам макета 16 электродов, расположенных вдоль окружности. При этом в воде формировалось вращающееся осесимметричное поле, относительно которого можно оперативно контролировать положение любых точек, в которые помещены приемные электроды. На рис. 2 показано применение такого способа определения положения применительно к задаче мониторинга двигательной активности биоиндикаторов (раков, моллюсков).

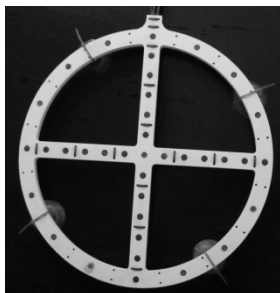


Рис. 1. Многоэлектродная антенна с графитовыми электродами

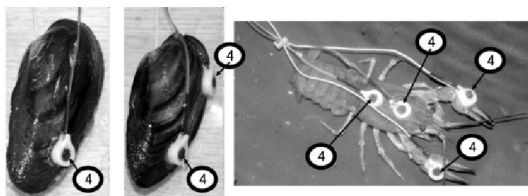


Рис. 2. применение электрических методов контроля двигательной активности раков и моллюсков для целей биомониторинга. Электроды помечены цифрой 4

Другой пример использования многоэлектродных антенн – локализации источников электрического поля. На рис. 3 показан вид экрана монитора при локализации источника электрических разрядов китайской саламандры.

Для увеличения масштабов коммуникационных и локационных систем целесообразно их модульное построение из дешевых простых устройств, объединенных в сеть. Современная электроника предлагает множество компонент для этих целей.

Реализация приемо-передающих систем на базе простых дешевых легко тиражируемых модулей в последние годы все чаще используется в технике связи. В качестве примера можно привести публикацию [7], где рассматривается возможность связи в морской воде на частоте 2.4 ГГц. Автор публикации сознает, что дальность действия одного модуля ограничена величиной около 20 см. Тем не менее, автор считает, что и такая дальность имеет практическое значение, позволяя бесконтактно снимать данные на большой скорости с системы автономных морских

датчиков. А потом через систему ретрансляторов эти данные могут быть переданы на поверхность воды и далее в любую точку. Аналогичный способ сбора и передачи данных через систему ретрансляторов предлагался нами в 1987 для кошелькового невода (Авт.св.СССР №1289436).

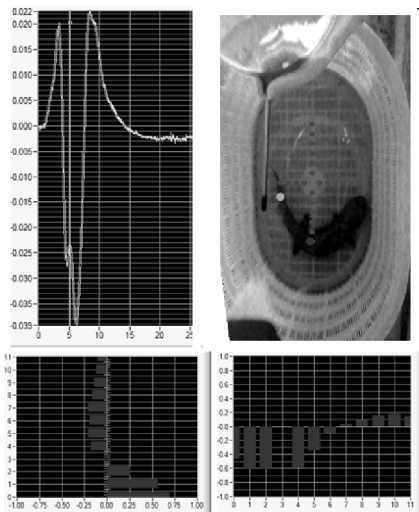


Рис. 3. Локализация источников разряда китайской саламандры по распределению потенциалов на 24 приемных электродах

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ольшанский В.М.** Бионическое моделирование электросистем слабозлектрических рыб. // М.: Наука, 1990. 110 с.

2. **Ольшанский В.М., Павлов Д.С., Волков С.В., Эльяшев Д.Э.** Электрические рыбы – биологический прототип новой техники // Вестник РАН, 2009. № 1. С.57–67.

3. **Ольшанский В.М., Волков С.В., Островский А.Г.** Перспективы бионического моделирования электрических рыб для создания систем локальной подводной ориентации // Материалы шестой всероссийской научно-технической конференции, Владивосток, 2015, с. 66–70.

4. **Yidong Xu, Lili Guo, Wei Xue, Korochentsev Vladimir, and Junwei Qi** An Optimal Electric Dipole Antenna Model and Its Field Propagation // Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation Volume 2016.

5. **Ольшанский В.М., Солдатова О.А., Нгуйен Тхи Нга** Эпизодические электрические разряды при социальных взаимоотношениях: пример азиатских клариевых сомов // ЖОБ, 2011. Т.72. №32. С.220–234.

6. **Ольшанский В.М., Барон В.Д., Сюэ Вэй** Электрические разряды китайской саламандры *Andrias Davidianus* // Доклады Академии Наук, 2016. Т.471. №6. С.736–738.

7. **Karagianni Evangelia A.** Electromagnetic Waves under Sea: Bow-Tie Antenna Design for Wi-Fi Underwater Communications // Progress In Electromagnetics Research M, 2015. Vol. 41. 189–198.

УДК 519.254

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК НА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Крамарь В.А.¹, Альчаков В.В.², Душко В.Р.³

¹*Черноморское высшее военно-морское училище им. П.С. Нахимова, 299035, г. Севастополь, Дыбенко 1а 8(978)-792-73-40, kramarv@mail.ru*

²*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, 8(978)-748-99-41, alchakov@sevsu.ru*

³*Филиал «Севастопольский морской завод» АО «ЦС Звездочка» 299001, г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, 13*

Paper presents the approach based on the use of intelligent data processing algorithms to analyze the processes of dynamic and static interaction with ice and a variety of ocean objects and structures based on the use of neural networks and support vector machine.

В докладе рассматривается подход, основанный на применение интеллектуальных алгоритмов обработки данных, к анализу процессов динамического и статического взаимодействия льда с различными океанотехническими объектами и сооружениями, которые возникают при решении многих практических задач: при определении ледовых нагрузок на наклонные гидротехнические сооружения и сооружения шельфа, при определении несущей способности ледяного покрова для движения

подвижных объектов, при расчете посадки самолетов на лед, при определении сопротивления льда движению судов и т. д. [1]. Показано, что повышение точности методик оценивания ледовых нагрузок является актуальной научно-технической задачей.

Авторами развит подход, основные принципы которого изложены в работе [2], показана возможность использования гибридной нейронной сети для получения прогноза толщины льда согласно имеющейся многолетней статистике толщин льда в Азово-Черноморском бассейне. При этом в качестве обучающей последовательности для нейронной сети использовался набор данных, содержащий сведения лишь об одном параметре – толщине льда, т.е. фактически при построении сети использовался однофакторный подход. Построенная нейронная сеть обеспечила точность прогноза толщины ледового покрытия на уровне 5% относительно реальных значений.

По аналогии с концепцией решения задачи прогнозирования толщины льда на базе использования нейронной сети, предложенной в работе [2], прежде всего, необходимо определиться с оптимальной архитектурой сети. Как правило, в задачах прогнозирования временных рядов используются многослойные, чаще всего трехслойные, нейронные сети прямого распространения [3]. Внешний вид такой сети представлен на рис. 1.

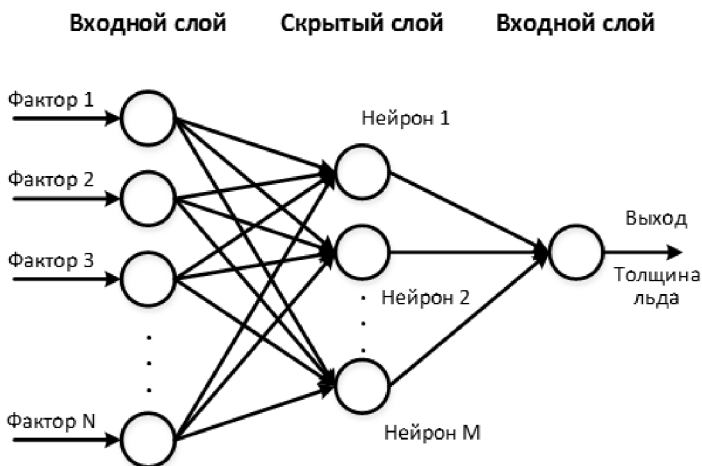


Рис. 1. Структура нейронной сети для прогнозирования толщины ледового покрытия

В качестве входных сигналов на вход сети подаются значения параметров, определяющих факторы, влияющие на формирование льда. На выходе сети – прогноз значения искомого параметра (толщина льда). При этом количество входов сети (число учтенных факторов), может варьироваться от 1 до некоторого натурального числа N , а количество нейронов M , расположенных в скрытом слое, подлежит определению.

В настоящей работе предлагается метод повышения качества прогноза толщины льда, а также точности расчета ледовых нагрузок, с помощью введения в обучающую выборку дополнительных параметров – внешних факторов окружающей среды, влияющих на формирование ледового покрытия.

В докладе приводится математическая постановка задачи.

Пусть дана выборка $\{x_i, y_i\}_{i=1}^n$, где x_i – вектор параметров, описывающий i -й прецедент, y_i – значение зависимой переменной на i -м прецеденте, n – количество прецедентов. Требуется построить нейронную сеть, позволяющую получить прогноз вида $\hat{y} = f(x)$. Для случая многофакторной зависимости входные параметры могут быть описаны в виде матрицы X , а требуемый прогноз в виде $\hat{Y} = f(X)$.

При этом параметры скорость ветра, температура воздуха, погодные условия, уровень воды (четыре различных фактора, описывающих состояние окружающей среды) использованы в качестве значений элементов входного вектора x_i , описывающего текущий i -й прецедент. Параметр толщина дна использован в качестве значения зависимой переменной y_i на i -м прецеденте.

Описанный подход реализован с помощью системы Matlab, для которой разработан специализированный скрипт.

В докладе также описан второй подход к решению поставленной задачи, который основан на применение метода опорных векторов (Support Vector Machine) для решения задачи прогнозирования [4].

Задача формулируется следующим образом.

Требуется определить функцию $F(X)$, которая наилучшим образом интерполирует элементы выборки

$$XY = \{(X_1, Y_1); (X_2, Y_2); \dots (X_m, Y_m)\}, \text{ где } Y_i = y_i \in R.$$

В дальнейшем функция $F(X)$ используется для получения приближенного значения \hat{Y} для произвольного вектора параметров

$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$. Задача нахождения параметров функции $F(X)$ формулируется в виде минимизации функционала

$$\left[\frac{1}{2} W^T W + C \sum_{k=1}^m (\xi_k + \xi_k^*) \right] \rightarrow \min,$$

при ограничениях

$$Y_k - (W^T \varphi(X_k) + b) \leq \varepsilon + \xi_k; \quad (W^T \varphi(X_k) + b) - Y_k \leq \varepsilon + \xi_k^*;$$

$$Y_k (W^T \varphi(X_k) + b) - Y_k \geq 1 - \xi_k; \quad \xi_k, \xi_k^* \geq 0$$

где положительная константа C является параметром регуляризации, чем больше ее значение, тем больше будет штраф ошибки ξ_k ; ξ_k^* – переменные, определяющие соответственно верхнюю и нижнюю границы погрешности обучения; ε – функция потерь, которая чаще всего является кусочно-линейной.

При использовании метода опорных векторов обычно решается двойственная к данной задаче поиска функциональной зависимости вида

$$F(X) = \sum_{k=1}^m (\alpha_k - \alpha_k^*) K(X_k, X) + b,$$

где двойственные переменные удовлетворяют условию $0 < \alpha_k, \alpha_k^* \leq C$, а так называемая ядерная функция K – симметричная функция, удовлетворяющая условиям Мерсера [5]. Элементы данных, которым соответствуют ненулевые значения α_k , называют опорными векторами.

При этом определение значения параметра C , а также определение вида ядерной функции K во многом определяет, насколько точно будет получена регрессионная модель для получения прогноза значения функции по набору заданных параметров.

В докладе приведены результаты моделирования для каждого из описанных методов, выполнен сравнительный анализ и приведены рекомендации по использованию разработанных алгоритмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ли Лян** Предельная несущая способность ледяных балок / Ли Лян, К.Н. Шхинек // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 1. С. 65–74.
2. **Заец А.Ю.** Гарантоспособность океанотехнических систем при воздействии внешних ледовых нагрузок / А.Ю. Заец, В.А. Крамарь // Радиоэлектронные и компьютерные системы. Научно-технический журнал. – Харьков: Изд-во ХАИ, 2014. № 6(70). С. 7–11.

3. **Круглов В.В.** Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

4. **Hong Lin** A hybrid neural network model for sea ice thickness forecasting/ Hong Lin, Lei Yang // Journal of Hydrology, vol. 375, 2009 – pp. 450–458.

5. **Vapnik V. N.** The nature of statistical learning theory (information science and statistics). 2nd ed. – N. Y.: Springer-Verlag, 2000. – 314 p.

6. **Шеремет А.И.** Регрессионный анализ во взаимосвязанных электромеханических системах на базе метода опорных векторов // Информационно-управляющие системы. №1(68). 2014. С. 48.

УДК 629.369

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ, ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ И ПРОХОДИМОСТИ ПОДВОДНОГО ШАГАЮЩЕГО АППАРАТА МАК-1

Чернышев В.В.

*Волгоградский государственный технический университет,
пр-т им. Ленина, 28, 400005, г. Волгоград, 8(8442)24-80-99, dtm@vstu.ru*

Results of underwater tests of walking device MAK-1 are discussed. Design features of the walking device and underwater tests methods are considered. Some features of dynamics of walking type of movement in underwater conditions are marked.

Практика подводно-технических работ ставит целый ряд задач связанных с проведением грунтовых работ на дне. Существующие машины, передвигающиеся по дну (подводные бульдозеры, самоходные донные добычные агрегаты, кабелеукладчики и др.), имеют, как правило, гусеничный движитель [1]. Однако условия их эксплуатации, характеризующиеся слабонесущими грунтами и сложным рельефом дна, зачастую делают неэффективными традиционные типы движителей. Более подходящими для использования в подобных условиях представляются шагающие движители, обладающие большей грунтовой и профильной проходимостью. У шагающих машин также имеет место снижение затрат тягового усилия на сопротивление движению [2].

Для исследования шагающего способа передвижения в подводных условиях в Волгоградском государственном техническом университете разработан подводный шагающий аппарат МАК-1 [3]. Конструктивно МАК-1 (рис. 1) включает в себя шагающие модули правого и левого борта, соединенные сменной рамой. Шагающие модули выполнены в виде несущих балок, на которых установлены механизмы шагания и бортовой электропривод, выполненный в виде отдельных силовых блоков в водозащищенных боксах. Суммарная мощность приводов — около 2 кВт. Электропитание осуществляется по кабелю (с берега или лодки) от малогабаритного бензогенератора. Управление также осуществляется по кабелю по видеоинформации, поступающей с видеокамер аппарата. Поворот осуществляется за счет разных скоростей бортов либо за счет разной длины шага движителей правого и левого борта. Скорость аппарата, в зависимости от условий движения, составляет 3–5 км/ч. Масса, при габаритах 1,8×1,8×0,9 м, составляет около 170 кг. Модульный принцип построения робота позволяет разбирать его на части и транспортировать на большие расстояния. Для разборки и сборки аппарата достаточно 2-х человек.

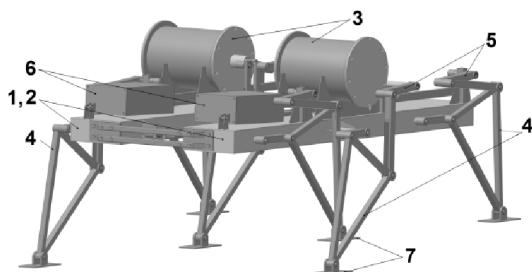


Рис. 1. Конструктивная схема шагающего аппарата МАК-1:

1 — шагающие модули; 2 — несущие балки; 3 — бортовой электропривод в водозащищенных боксах; 4 — механизмы шагания; 5, 6 — механизм смещения точек подвеса ног и его линейный электропривод, соответственно; 7 — стопы

Движитель аппарата состоит из работающих в противофазе цикловых механизмов шагания [4]. Крайние механизмы шагания каждого борта работают синфазно, а средний в противофазе. Цикловой движитель позволяет не заботиться о сохранении походки и устойчивости и исключает необходимость управляемой системы адаптации. В результате аппарат имеет всего лишь две управляемые степени свободы и стано-

вится существенно проще и дешевле аналогов с адаптивным управлением. Так, например, конечности подводного робота Crabster CR200 [1], разработанного в KIOST (Korean Institute of Ocean Science and Technology), насчитывают 30 управляемых степеней свободы, что существенно усложняет задачу согласованного управления ногами. Для полной реализации возможностей движителя по профильной проходимости и маневренности в механизмах шагания аппарата реализована возможность корректировки программных движений ног. Она достигнута путем введения в механизм дополнительной дискретно управляемой (аналогично переключению передач в традиционных транспортных средствах) степени свободы в виде кривошипа с линейным электроприводом. Управление сводится к изменению его углового положения, что приводит к смещению точки подвеса ног и трансформации траектории маршевого режима движения аппарата в траекторию режима преодоления препятствий с увеличенной высотой и длиной шага.

С целью исследования влияния конструктивных особенностей шагающего аппарата МАК-1 на его динамику, тягово-сцепные свойства и проходимость были проведены его подводные испытания (рис. 2). Испытания проводились на малых глубинах (до 20 м) в Кандалакшском заливе Белого моря [5].



Рис. 2. Испытания подводного шагающего аппарата МАК-1

В ходе испытаний для исследования динамики и тягово-сцепных свойств шагающего робота использовался адаптированный к подводным условиям метод [5], основанный на видеосъемке процесса движения аппарата при возрастающей крюковой нагрузке с последующей покадровой обработкой видеозаписи на ЭВМ. При определении предель-

ной грунтовой проходимости находились условия, при которых наступала потеря проходимости, обусловленная слабыми несущими свойствами грунта. Для этого выбирались наиболее тяжелые, с точки зрения проходимости, участки дна. При исследовании профильной проходимости преодолевались уклоны и локальные препятствия различных типов. Препятствия преодолевались как в маршевом режиме, так и в режиме специального маневрирования. В последнем случае управление осуществлялось в ручном режиме — параметры шага корректировались оператором.

Подводные испытания показали, что МАК-1 превосходит известные аналоги [1] по скорости и маневренности. Робот под водой двигался более плавно и быстрее чем на суше. Это объясняется тем, что вода сглаживает нежелательные виброударные динамические явления, характерные для шагающего способа передвижения. В результате, была достигнута скорость движения порядка 3–5 км/ч, вместо предполагаемой 1 км/ч. Также аппарат проще в управлении и превосходит зарубежные аналоги по тяговым возможностям. Вместе с тем, по адаптации к рельефу дна он несколько уступает шагающим роботам адаптивного типа, так как адаптация к неорганизованной опорной поверхности у него происходит не за счет требуемого положения стоп в пространстве, а за счет изменения длины и высоты шага и за счет хорошей маневренности аппарата. Также МАК-1 пока уступает по сенсорным и навигационным возможностям, например, роботу Crabster CR200 и необходимо их существенное усиление.

Результаты работы могут быть востребованы при разработке подводных шагающих машин и роботов предназначенных для подводно-технических работ, для новых промышленных технологий освоения ресурсов морского дна и для обеспечения техногенной безопасности объектов подводной инфраструктуры.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-08-01109-а, 15-41-02451 р_поволжье-а

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чернышев В. В.** Управление движением подводных шагающих аппаратов передвигающихся по дну / В.В. Чернышев, В.В. Арыканцев, А.Е. Гаврилов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 1. С. 141–155.

2. **Chernyshev V. V.** Traction properties of walking machines on underwater soils with a low bearing ability / V.V.Chernyshev, A.E.Gavrilov // Minerals of the Ocean – 7 & Deep-Sea Minerals and Mining – 4: abs. of Int. Conf.. St. Petersburg, 2014. P. 21–24.

3. **Чернышев В. В.** МАК-1 — подводный шагающий робот / В. В. Чернышев, В. В. Арыканцев // Робототехника и техническая кибернетика. 2015. № 2. С. 45–50.

4. **Пат. 2207583 РФ** В62 D57/032. Шагающая опора для транспортных средств повышенной проходимости / В.В. Чернышев, Е.С. Брискин, А.Ю. Савин. ВолгГТУ. 2003.

5. **Chernyshev V. V.** Design and underwater tests of subsea walking hexapod МАК-1 / V. V. Chernyshev, V. V. Arykantsev, A. E. Gavrilov, and others // Proc. of the ASME 2016 35th Int. Conf. on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE 2016. Busan, 2016. – 9 p.

УДК 629.369

ИССЛЕДОВАНИЕ «КОМПРЕССИОННОГО ЭФФЕКТА», ВОЗНИКАЮЩЕГО ПРИ СМЕНЕ СТОП ШАГАЮЩЕГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ПОДВОДНЫХ ГРУНТАХ

Арыканцев В.В., Чернышев В.В.

*Волгоградский государственный технический университет,
пр-т им. Ленина, 28, 400005, г. Волгоград, 8(8442)24-80-99, dtm@vstu.ru*

The results of studying the «compression effect» which appears in walking type of movement at underwater grounds are discussed. The method of experimental evaluation of compression force has been presented. Some results of underwater tests of compression force measuring are also presented.

При движении в подводных условиях машины с шагающими движителями могут быть эффективнее традиционных колесных и гусеничных транспортных средств. В частности, они могут обеспечить более высокую грунтовую и профильную проходимость [1]. По этой причине разработки шагающих машин и роботов, передвигающихся по дну, активно ведутся в ряде стран мира [2].

В подводных условиях имеются специфические особенности взаимодействия шагающего движителя с грунтом. В частности, на слабонесущих грунтах имеет место «компрессионный эффект», который возникает на подводных грунтах при смене ног. Из-за разрежения под стопой, находящейся в опорной фазе, возникает сила, препятствующая ее отры-

ву от грунта, она может достигать значительной величины. Предполагается, что с ростом глубины компрессионная сила будет возрастать из-за роста давления воды.

Исследование компрессионного эффекта осуществлялось с помощью специально разработанной штамповой установки с электромагнитным приводом [3]. Непосредственное измерение компрессионной силы, например, динамометром, затруднено из-за упругости троса, что не позволяет обеспечить «быстрых» движений штампа. Вместе с тем на малых глубинах такие эксперименты проводились, а их результаты сопоставлялись с результатами испытаний электромагнитной штамповой установки. Комплект оборудования для исследования эффекта представлен на рис. 1.



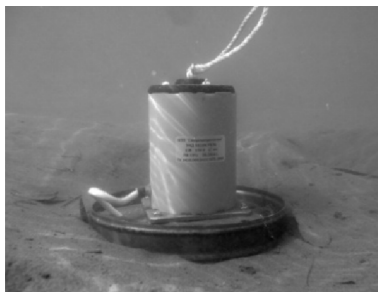
1 — электромагнитный штамп; 2 – 5 — сменные электромагниты штампа;
6 — кабель-трос; 7 — страховочный линь; 8 — стабилизатор; 9 — бензогенератор; 10 — подводная видеокамера; 11, 12 — проводная подводная видеокамера с интегрированными осветителями и ее монитор, соответственно

Рис. 1. Комплект оборудования для определения компрессионной силы

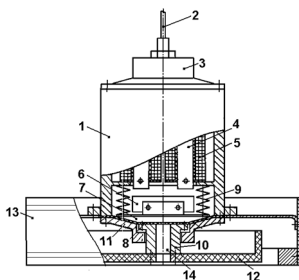
Конструктивно штамповая установка (рис. 2) выполнена в виде установленного на круглой тонколистовой раме электромагнита с подпружиненным якорем поступательного движения. Якорь присоединен к нажимному диску и снабжен штоком, к которому жёстко крепится сменная стопа. Упругий элемент прижимает нажимной диск к нижней крышке электромагнита, являющейся направляющей для штока. Рабочая полость электромагнита штампа отделена от внешней среды эластичной мембраной. При испытаниях, для оценки характера дна, на ра-

ме устанавливалась проводная подводная видеокамера с инфракрасной подсветкой. На глубинах до 60 м на раме также устанавливались видеокамеры в герметичном боксе, работающая в непрерывном режиме (глубина ограничена прочностью бокса).

Испытания проводились на озере Байкал (на глубинах до 100 м) и в водоемах Волго-Ахтубинской поймы (на малых глубинах) на грунтах с различными гидрофильными свойствами. Штамповая установка опускалась на дно с борта судна на кабель-тросе. Контроль положения штампа, а также характер рельефа и тип донного грунта осуществлялся аквалангистом, а затем по видеоинформации, поступающей в непрерывном режиме с проводной видеокамеры, установленной на штампе. На обмотку электромагнита штампа подавалось переменное напряжение.



а)



б)

1 — корпус электромагнита; 2 — кабель-трос; 3 — крышка корпуса электромагнита; 4 — сердечник статора; 5 — обмотка возбуждения статора; 6 — якорь; 7 — диск нажимной; 8 — эластичная мембрана; 9 — упругие элементы; 10 — шток; 11 — крышка направляющая; 12 — сменная стопа; 13 — рама; 14 — грунтозаборное устройство

Рис. 2 Штамповая установка (а) и ее конструктивная схема (б):

На вязких грунтах из-за компрессионной силы стопа отрывалась от грунта с временной задержкой. Варьируя напряжение питающей сети и типоразмер электромагнита, изменяли величину электромагнитной силы и время отрыва стопы от грунта. При «большой» силе имело место «быстрое» движение якоря штампа. При «малой» силе отрыв стопы от грунта происходил с заметной задержкой, после фильтрации воды в зону разрежения под стопой. При экспериментах непрерывно регистрировалась величина тока в цепи электромагнита. При отрыве стопы от грунта ток падал, из-за повышения индуктивного сопротивления, обу-

словленного выбором воздушного зазора в магнитопроводе электромагнита. По временным зависимостям тока штампа оценивалась величина компрессионной силы. Метод определения силы разработан путем моделирования динамики якоря электромагнита. Математическое описание системы проводилось на базе уравнений Лагранжа-Максвелла [4].

Проведенные подводные испытания показали следующее. Компрессионная сила на отдельных типах грунтов может достигать значительных величин. Предполагалось, что с ростом глубины компрессионная сила может возрастать пропорционально росту давления внешней среды. На песчаном грунте этого замечено не было. На глубине порядка 100 м её рост составлял не более 50-180% по сравнению с мелководьем. Наиболее сильно влияет на компрессионную силу скорость отрыва стопы от грунта. В динамической модели якоря штамповой установки предполагалась линейная зависимость компрессионной силы от скорости отрыва. Эксперименты показали, что даже для песчаного грунта эта зависимость несколько выше. Время опорной фазы также влияет на величину компрессионной силы. На вязких грунтах были случаи, когда за 2–3 минуты нахождения штампа на грунте компрессионная сила увеличивалась в 1,5–2 раза. Площадь и форма стопы также влияют на величину компрессионной силы. Было замечено, что с увеличением опорной площади при том же давлении стопы на грунт компрессионная сила возрастает у круглой стопы интенсивнее, чем у лыжеобразной.

Надо отметить, что сделанные по результатам испытаний выводы носят предварительный характер. Для более полного понимания рассматриваемого явления нужен более значительный объем экспериментов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-08-01109-а, 15-41-02451 р_поволжье-а, 16-31-00427 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чернышев В.В.** Подводный шагающий аппарат МАК-1 / В.В. Чернышев, В.В. Арыканцев // Экстремальная робототехника : тр. междунар. науч.-техн. конф. (г. Санкт-Петербург, 8-9 окт. 2015 г.) / ЦНИИ робототехники и технической кибернетики. – Санкт-Петербург, 2015. – С. 245–250.

2. **Чернышев В.В.** Подводный шагающий аппарат МАК-1 / В.В. Чернышев, В.В. Арыканцев // Экстремальная робототехника : тр. междунар. науч.-техн. конф. (г. Санкт-Петербург, 8-9 окт. 2015 г.) / ЦНИИ робототехники и технической кибернетики. – Санкт-Петербург, 2015. – С. 245–250.

3. П. м. 160504 РФ, МПК G01N33/24, G01N3/08, E02D1/00. Устройство для исследования параметров грунтов / В.В. Арыканцев, Ан.Е. Гаврилов, Я.В. Калинин, В.В. Чернышев; ВолгГТУ. – 2016.

4. **Чернышев В.В.** Моделирование динамики штамповой установки при взаимодействии с подводным грунтом / В.В. Чернышев, В.В. Арыканцев // Известия ВолгГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 22. – Волгоград, 2014. – № 25 (152). – С. 11–14.

УДК 53.088

МАЛОГАБАРИТНЫЙ АВТОНОМНЫЙ ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК СВЕТА ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ЯРКОСТИ

Григорьев А.В., Храпко А.Н.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)129-27-36,
anatoliigav@mail.ru, alexkhrapko@mail.ru*

Paper presents a small Autonomous high-stability light source, created in the laboratory of ocean optics of IO RAS, to check calibration of measuring brightness in field conditions. The comparison with a similar device of the company «TRIOS» to check the calibration of hyperspectral meter «RAMSES» is given. Full-scale tests are described.

Измерители яркости применяются для валидации алгоритмов атмосферной коррекции и биооптических алгоритмов, используемых при обработке данных спутниковых сканеров цвета. Прибор «ПРО1» был разработан в Лаборатории оптики океана ИО РАН; его прототип описан в [1]. Для проведения валидации требуется высокая точность измерений абсолютных значений спектральной яркости излучения, выходящего из водной толщи и облученности поверхности, которая обеспечивалась тщательной калибровкой, выполнявшейся до и после экспедиции [2]. Однако, между этими калибровками, для доставки прибора в район измерений и обратно используются различные виды транспорта, требуются перегрузки с одного транспорта на другой, что

может негативно повлиять на стабильность калибровок. Перед проведением измерений необходимо проверять не только работоспособность прибора, но и стабильность калибровок. К сожалению, эталон, который используется в лаборатории, нельзя использовать в экспедиции. Для калибровки прибора эталонной лампой нужна оптическая скамья, точные юстировки, мощный и стабильный источник питания лампы. Всего этого на судне в современных условиях иметь невозможно. Порой приходится работать на малых судах, где весьма ограничено место даже на палубе, а лабораторий и вовсе нет. Для контроля калибровок прибора на судне в лаборатории оптики океана был создан малогабаритный автономный источник света с высокой стабильностью. Источником света были выбраны монохромные, мощные светодиоды. Они практически не подвержены изменениям оптических характеристик при вибрационных и ударных нагрузках. Источником питания является литий-ионный аккумулятор. Для управления источником света, обеспечивающим функции включения и выключения прибора, индикации его работы и управления энергопотреблением, обеспечения зарядки внутреннего аккумулятора и управление работой прецизионных источников стабильного тока для светодиодов, разработана схема под управлением микроконтроллера. Для контроля стабильности источника света был разработан и создан фотоприемник с динамическим диапазоном 10^6 на основе управляющего микроконтроллера со специальным программным обеспечением, прецизионного операционного усилителя с нулевым дрейфом, а так же широкодиапазонным дельта-сигма АЦП. Для персонального компьютера было разработано специальное программное обеспечение для регистрации сигналов (рис. 1).

Были проведены испытания стабильности созданного нами источника света и аналогичного устройства немецкой фирмы «TRIOS». Изменение яркости нашего устройства за 8 минут работы составило 0,2%, изменение яркости устройства «TRIOS» 1,2% за то же время (рис. 2). Температура окружающей среды во время эксперимента практически не менялась. Снижение яркости при включении светодиода происходит из-за разогрева полупроводникового перехода при протекании через него тока.

Прибором «ПРО1», после калибровки на эталоне в лаборатории, была измерена яркость автономного источника (рис. 3), после перевозки прибора на судно яркость автономного источника измерялась на палубе (рис. 4). Расхождение сигнала яркости прибора в лаборатории и на судне составило – 0,9%, что можно объяснить разницей температуры в лаборатории и на судне. Для более точных измерений нужно составить

таблицу значений яркости от температуры и ввести в программу соответствующую коррекцию.



Рис. 1. Фотоприёмное устройство (слева), окно программы регистрации сигналов и вывода графика (на десктопе), автономный источник света (справа)

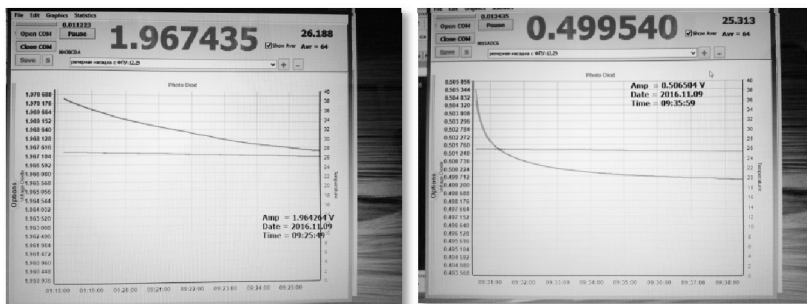


Рис. 2. Слева результат испытания источника света, разработанного нами, справа – фирмой «TRIOS»

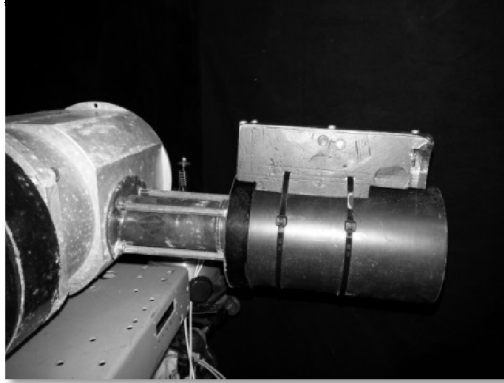


Рис. 3. Измерение яркости автономного источника прибором «ПРО1» в лаборатории



Рис. 4. Проверка стабильности калибровки на палубе нис «Профессор Водяницкий»

ЛИТЕРАТУРА

1. **Артемьев В.А., Буренков В.И., Вортман М.И., Григорьев А.В., Копелевич О.В., Храпко А.Н.** Подспутниковые измерения цвета океана: новый плавающий спектрорадиометр и его метрология. – Океанология. 2000. Т. 40. № 1. 8 с.
2. **Григорьев А.В., Храпко А.Н.** Новый малогабаритный высоковольтный источник питания фотоумножителя плавающего спектрорадиометра. ONW`2015, 8-12 сентября 2015. 4 с.

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ГИПЕРБАРИЧЕСКОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ

Яхонтов Б.О.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва,
8(499)124-79-92, giper28@ocean.ru*

The estimation of the applicability of the methods for measuring temperature, humidity, partial pressure of oxygen and carbon dioxide at elevated pressure in a pressure chamber is given. Some methods for determining these parameters are proposed to be optimal for research purposes.

Формирование газовой среды в барокамере и контроль физических параметров обеспечиваются функционированием системы жизнеобеспечения. Эффективность работы этой системы определяется возможностью поддержания заданных режимов по давлению, температуре, влажности и газовому составу среды. Это основные физические параметры, которые учитываются не только при контроле среды обитания, но и при научных исследованиях в условиях гипербарии. При этом к надежности и точности их измерения предъявляются повышенные требования. Эти параметры, за исключением, пожалуй, некоторых вредных газовых примесей, должны измеряться непосредственно в условиях повышенного давления в барокамере с регистрацией показаний прибором, находящимся вне камеры.

Проверка работоспособности датчиков температуры под повышенным давлением показала, что наиболее надёжным является термодатчик типа Pt100 (платиновый). Чувствительный термоземента представляет собой тонкую платиновую проволоку, замурованную в стекло. Для изоляции от внешних механических воздействий он помещается в кожух из нержавеющей стали, который заполняется герметиком с добавлением окиси алюминия для повышения теплопроводности. Недостатком такой конструкции датчика является его инерционность, обусловленная материалами изоляции чувствительного элемента. Однако он сохраняет работоспособность в большом диапазоне давлений и точность показаний, необходимую при научных исследованиях. Сигнал передается из баро-

камеры по кабелю через герморазъём, показания регистрируются цифровым индикатором (вольтметр 20000 pts) с разрешением 0,01°C.

Следует отметить, что обычные ртутные или спиртовые термометры для больших давлений непригодны, так как завышают показания на 0,084°C на 1 атмосферу, что, по мнению некоторых авторов [1], связано с деформацией (сжатием) капилляра.

Существующие методы измерения влажности окружающей среды не всегда отвечают требованиям применительно к условиям гипербарии. Это связано со специфическим действием на датчик влажности многих факторов гипербарии. Вместе с тем эти методы применяются в зависимости от условий среды и величины давления. В принципе приемлемыми для работы под повышенным давлением в барокамере являются методы: психрометрический, точки росы, сорбционный, электролитический датчик влажности.

Проверка методов и анализ результатов показали, что психрометрический метод измерения влажности при использовании стандартных методов расчета результатов в гипербарической среде дает завышенные величины влажности, что исключает возможность использования этого метода при больших давлениях в барокамере. В условиях гипербарии измерение влажности более целесообразно производить с помощью электролитических датчиков. Это не лучший по ряду причин метод, но подходящий для измерения относительной влажности под давлением, эквивалентным глубинам в диапазоне, примерно, до 250 м.

Метод измерения влажности по температуре точки росы по всем параметрам пригоден для работы при давлениях, доступных человеку. Это вообще является лучшим по точности и надежности методом измерения влажности. Испытания гигрометрического датчика зеркального типа показали, что он сохраняет работоспособность при давлениях до 100 кгс/см². Это зависит только от прочностных характеристик светодиода и фотодетектора.

Источник света (светодиод) в красном спектре направлен на зеркало, которое находится в термоконтакте с термоэлектрическим преобразователем и может нагреваться и охлаждаться со скоростью 2°C в секунду. Когда температура зеркала переходит точку росы, на поверхности зеркала образуется конденсат, вследствие чего отраженный свет, воспринимаемый фотодетектором, ослабевает и фотосигнал уменьшается. При повышении температуры зеркала происходит испарение влаги и увеличение сигнала. Вмонтированный в зеркало высокоточный платиновый термометр сопротивления непосредственно регистрирует температуру точки росы.

Необходимо учитывать, что температура точки росы зависит от давления анализируемого газа. При повышенном давлении точка росы повышается, но это не является проблемой, поскольку точка росы может быть приведена к любому давлению расчетным путем.

По температуре точки росы определяется абсолютная влажность. Процент относительной влажности рассчитывается как отношение давления водяных паров при насыщении в точке росы к давлению водяных паров при температуре окружающей среды.

Наиболее пригодным для анализа кислорода в барокамере является электрохимический метод измерения парциального давления кислорода непосредственно в среде высокого давления. В этом состоит преимущество метода. Работоспособность электрохимического датчика сохраняется во всем диапазоне давлений в барокамере, используемых в водолазных и исследовательских целях.

Практикой нашей работы с электрохимическими датчиками прямого полярографического измерения парциального давления кислорода (электрод Кларка) в барокамере при различных давлениях в диапазоне до 31 кгс/см² установлено, что он работает в условиях повышенного, но стабильного, давления даже лучше, чем при нормальном давлении [2]. Это обусловлено в основном тем, что содержащиеся при нормальном давлении в электролите и на границе мембрана-электролит микропузырьки газа при компрессии сдвигаются, что положительно сказывается на качестве газового анализа. Важным является и то, что при повышенном давлении чувствительность электрохимического (полярографического) датчика повышается пропорционально давлению, потому что он чувствителен именно к парциальному давлению кислорода. Если, например, при нормальном давлении 1 мм рт.ст. кислорода соответствует 0,14 об.%, то при давлении 21 кгс/см² – 0,0065 об.%. То есть, при анализе в барокамере могут быть измерены величины объемной доли кислорода во столько раз меньше, во сколько раз повышено давление в барокамере [3]. Но для анализа той же смеси, выпущенной из камеры через вентиль, потребовался бы высокочувствительный прецизионный анализатор.

Для измерения парциального давления двуокси углерода в условиях повышенного давления в барокамере также могут использоваться электрохимические датчики, хотя это непрямой метод анализа, так как парциальное давление СО₂ измеряется косвенно, через изменения рН электролита, к тому же чувствительность этого метода недостаточно высока. Приемлемыми характеристиками обладает классический РСО₂-электрод Северингхауса, который используется в анализаторах газов в жидкой фазе, в частности в крови.

Другие методы газового анализа, прежде всего парамагнитный для O_2 и инфракрасный для CO_2 , в принципе приемлемы для работы в условиях гипербарии, но убедительных данных о возможности их использования во всем диапазоне доступных водолазу давлений нет. Конечно, такие анализаторы должны быть конструктивно модифицированы для барокамеры, чтобы герметичные полости датчиков были бы устойчивы к давлению в камере.

Как показывает опыт, в любом случае при анализе газов в условиях повышенного давления измененной газовой среды для получения корректных результатов датчики анализаторов должны калиброваться поверочными смесями того же газового состава, что и анализируемая смесь. При изменении физических параметров среды в барокамере датчики должны калиброваться заново.

Анализ парциальных давлений O_2 и CO_2 при рабочем давлении в камере может производиться двумя способами: 1 – анализатор находится вне камеры, но ДГС циркулирует через измерительные ячейки датчиков под давлением, равным давлению в барокамере; 2-датчики находятся непосредственно в барокамере, а индикаторный блок вне камеры. Второй способ интересен тем, что при условии использования электрохимических датчиков O_2 и CO_2 можно анализировать эти газы не только в газовой среде, но и в биологических жидкостях. Поэтому датчики, применяемые в аппаратах газового анализа крови, могут использоваться в барокамере для анализа и газовой среды при изучении дыхательного газообмена.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Overfield E.M., Saltzman H.A., Kylstra J.A., Salzano J.V.** Respiratory gas exchange in normal men breathing 0,9% oxygen in helium at 31,3 ata // J. Appl. Physiol. – 1969. – Vol. 27, № 4. – P. 471–475.

2. **Яхонтов Б.О.** Методы газового анализа при повышенном давлении в барокамере // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. XI Междунар. науч.-техн. конф. – Ч. 2. – М., 2009. – С. 31–35.

3. **Яхонтов Б.О., Рогинский К.А.** Особенности анализа дыхательных газовых смесей на основе гелия при повышенном давлении в барокамере // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 8. – Вып. 3. – С. 421–425.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОДОЛАЗНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Яхонтов Б.О.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва,
8(499)124-79-92, giper28@ocean.ru*

The principles of construction and operation of diving life support system are considered. Great attention is paid to the system of regeneration, conditioning and cleaning of the respiratory gas mixture, which is the most responsible for the formation of the respiratory environment in the chamber.

К системам жизнеобеспечения (СЖО) водолазных комплексов, предъявляются требования, направленные на безопасное пребывание в них и эффективную работу водолазов. Согласно этим требованиям системы жизнеобеспечения должны включать подсистемы:

- подачи кислорода и поддержания его парциального давления на заданном уровне;
- газового анализа компонентов смеси и вредных примесей;
- удаления CO_2 и других вредных примесей;
- обеспечения микроклимата в жилой камере и циркуляции газовой среды;
- аварийного обеспечения дыхательными газовыми смесями;
- хранения и подачи газов и газовых смесей в отсеки;
- обеспечения санитарно-бытовых потребностей;
- постоянной связи водолазов со службами обеспечения;
- медицинского контроля с диагностической аппаратурой.

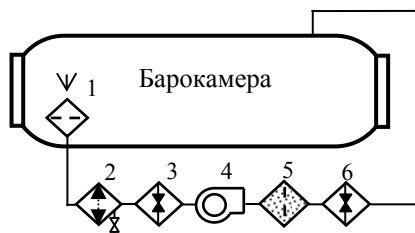
Из общей СЖО целесообразно выделить систему регенерации, кондиционирования и очистки (РКО) дыхательной газовой смеси (ДГС). Это наиболее ответственная система, потому что она в течение всего цикла работ функционирует непрерывно и формирует дыхательную среду в камере длительного пребывания. В составе этой системы находятся и действуют побудители расхода, теплообменные и химические аппараты, заключенные в прочные корпуса (рис. 1). Количество аппара-

тов в системе и их технические характеристики зависят от объёмов камер и количества находящихся в них водолазов.

Весь этот комплекс систем, аппаратов и оборудования должен обеспечивать создание, поддержание и регулирование величин основных параметров микроклимата и газовой среды в камерах на заданных уровнях в диапазоне допустимых значений.

Блоки очистки от CO_2 и других вредных примесей в принципе могут располагаться как внутри камеры, так и снаружи.

Для очистки от CO_2 обычно используются гранулированные твёрдые поглотители, например, ХПИ или молекулярные сита. Для устранения взвесей и запахов эффективны палладиевые фильтры, они же используются и для поглощения вредных примесей (аммиака, окиси углерода, сероводорода и углеводов).



- 1 – фильтр очистки от вредных примесей, 2 – осушитель с влагоотделителем и вентилем слива, 3, 6 – теплообменные аппараты, 4 – побудитель расхода, 5 – аппарат очистки ДГС от двуокиси углерода

Рис.1. Принципиальная схема системы РКО ДГС в барокамере

Для очистки газовой среды от загрязнений пригодны два метода: криогенный и адсорбционный. Последний по сравнению с криогенным является более надежным и пригодным для автоматического управления. Циркуляция газовой среды должна обеспечивать однородный газовый состав и 5–6-кратную замену среды в объёме отсека в час. В СЖО должно быть предусмотрено аварийное и автономное обеспечение дыхания для каждого водолаза.

Современные СЖО обладают высокой степенью автоматизации создания и поддержания газовых и микроклиматических режимов в жилых и других камерах комплекса и управляются с помощью ЭВМ. Для повышения экономичности барокомплексы оснащаются системами регенерации гелиевых смесей, которые обеспечивают возможность повторного использования дорогостоящего гелия.

В жилых барокамерах необходимо регулярно пополнять дыхательную среду кислородом в количестве порядка 30 л в час на человека. Подача кислорода производится, в основном, через объёмные дозаторы, и добавляется в окружающую среду в зоне поступления ДГС в камеру после прохождения через очистительные аппараты. Оптимальным вариантом является поддержание парциального давления кислорода в камере системой автоматики в зависимости от отклонений от заданного уровня.

Весьма непросто является поддержание тепловлажностного режима в камере, так как человек обладает низкой температурной толерантностью в среде, содержащей гелий, при высоких давлениях. Для поддержания приемлемого уровня влажности (60–80%) используются различные способы её понижения: охлаждение газового потока до точки росы, адсорбция излишней влаги.

Для контроля параметров газовой среды в жилых барокамерах в состав СЖО включаются системы газоанализа и измерения влажности, температуры, давления. Эти данные могут регулироваться вручную или автоматически с помощью компьютерных систем управления.

Учитывая, что физиологически активные газовые компоненты и физические параметры окружающей газовой среды (кислород, двуокись углерода, вредные примеси, температура, влажность) оказывают большое влияние на функциональное состояние организма в условиях повышенного давления [1], их величины необходимо поддерживать в допустимых верхних и нижних границах (кислород, температура, влажность). Для двуокиси углерода, вредных примесей и запахов нижний предел не устанавливается. При этом соблюдается лишь предельно допустимая концентрация (ПДК).

Кислород – основной газовый компонент дыхательной среды, потребляемый организмом. Его потребление зависит в основном от физиологического состояния человека (покой или физическая нагрузка). Снижение PO_2 ниже допустимого уровня приводит к гипоксии, превышение допустимого уровня – к гипероксии. В обоих случаях это может представлять опасность.

Все реакции на умеренную гипоксию ($0,18-0,14$ кгс/см² кислорода) направлены на компенсацию недостатка кислорода.

Первые реакции организма на гипероксию приблизительно в пределах PO_2 до 1 кгс/см² направлены на ограничение доставки кислорода. Снижение при этом легочной вентиляции приводит к задержке выделения CO_2 из организма, что в свою очередь может усилить токсическое действие кислорода [2].

При расчетах систем очистки от CO_2 средняя величина её выделения одним водолазом принимается равной 0,5 л/мин (30 л/час).

По обобщенным данным многих авторов повышенное парциальное давление CO_2 в среде жилой барокамеры приводит к снижению работоспособности водолазов, усиливает токсическое действие кислорода и азотный наркоз, оказывает влияние на теплообмен в организме водолаза, поэтому допустимым физиологическим пределом PCO_2 при длительном пребывании в таких условиях является величина, соответствующая 0,5 объёмным процентам при нормальном давлении. Эта величина учитывается при проектировании систем удаления CO_2 из атмосферы водолазных барокамер длительного пребывания. При этом основная функция системы очистки – обеспечивать парциальное давление CO_2 во всех отсеках не более $0,005 \text{ кгс/см}^2$ независимо от давления и количества находящихся в камере водолазов.

В жилых барокамерах в процессе пребывания в них водолазов накапливаются вредные микропримеси в основном эндогенного происхождения. В условиях гипербарии представляют опасность, а потому и нормируются, вредные примеси: окись углерода (CO), углеводороды (CH) суммарно, аммиак (NH_3), сероводород (H_2S).

Результатом токсического действия большинства примесей эндогенного и экзогенного происхождения является прямое или опосредованное нарушение дыхательной функции крови и развитие кислородной недостаточности, что является одной из причин снижения работоспособности.

Для поддержания требуемой чистоты дыхательной среды в замкнутом объеме скорость удаления вредных примесей системой очистки в идеале должна быть не ниже скорости их накопления. Для удаления примесей (одновременно и запахов) используются фильтры, производительность которых для очистки от вредных примесей рассчитывается по одной примеси с наибольшей скоростью выделения из организма – окись углерода (3,3 мг/час/чел.) [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Куренков Г.И., Яхонтов Б.О., Сыровегин А.В. и др. Действие гипербарической среды на организм человека и животных. Вып. «Проблемы космической биологии» // М.: Наука, 1980. – Т.39. 259 с.
2. Жиронкин А.Г. Кислород. Физиологическое и токсическое Действие // Л.: Наука. – 1972. – 171 с.
3. Физиолого-гигиенические требования к изолирующим средствам индивидуальной защиты // М.: Минздрав СССР. – 1981.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА «BLENDER GAME ENGINE» ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТРЕНАЖЕРА ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Гамазов Н.И., Гамазов И.Н., Новиков В.И.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», 105005, Москва, 2-я Бауманская д. 5 стр. 1, 8 (499) 263-61-15, sm42@sm.bmstu.ru

The report presents the results of developing a computer emulator of the ROV system with cable and underwater situation, which is a part of the training complex, realized in the framework package «Blender Game Engine». The problems associated with the modeling of long cables are considered.

Разработка тренажеров для обучения и тренировки операторов телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) является актуальной проблемой в силу специфики функционирования ТНПА и высокой стоимости, а часто и невозможности «натурного» обучения операторов. Такой тренажер представляет собой программно-аппаратный комплекс, основными задачами которого являются максимально реалистичное воспроизведение органов управления ТНПА, а также эмуляция поведения системы ТНПА–кабель и окружающей обстановки – течения, прозрачности воды, препятствий для маневрирования ТНПА в виде перепада глубин, подводных скал, послойного изменения плотности воды и т. д.

Разрабатываемый в МГТУ им. Н.Э. Баумана тренажер состоит из следующих систем: программы–инструктора, позволяющей настраивать все необходимые параметры миссии; эмулятора системы ТНПА–кабель и подводной обстановки, созданного в среде разработки программного пакета «Blender Game Engine»; эмулятора системы управления ТНПА; штатного пульта управления ТНПА, загружаемого в режиме тренажера.

Программа–инструктор запускается на отдельном компьютере и позволяет создать миссию – задать расположение на карте ключевых объ-

ектов миссии – судна-носителя ТНПА, собственно ТНПА, целевого объекта, подводных препятствий; задать рельеф дна, среднюю глубину акватории, направление и скорость подводного течения, прозрачность воды. Эта программа информирует обучающий персонал обо всех действиях оператора и фиксирует его ошибки, позволяет следить за параметрами миссии и вмешиваться в ее ход, внося неисправности в различные системы ТНПА, а также меняя условия выполнения миссии – скорость и направление течения, прозрачность воды. Программа-инструктор выполнена на языке C++ в среде разработки QT v.5.

Важнейшей задачей, которую необходимо решить при разработке тренажера, является компьютерное моделирование системы ТНПА – кабель, соединяющий ТНПА с судном-носителем. Реалистическая компьютерная модель такой системы позволит воспроизвести и отработать при обучении на тренажере критические ситуации, с которыми может столкнуться оператор при непосредственном управлении реальным ТНПА – травление и выборка кабеля, воздействие течения, запутывание кабеля и др.

Для моделирования системы ТНПА – кабель нами был применен программный пакет «Blender Game Engine» («BGE»), так называемый игровой «движок», используемый при разработке компьютерных игр и других интерактивных приложений с графикой, обрабатываемой в реальном времени. Этот пакет является некоммерческим проектом с открытым кодом, использует для расчета физики встроенный мощный физический процессор реального времени «Bullet», позволяющий просчитывать столкновения твердых тел (сферы, параллелепипеда, цилиндра и др.), активно поддерживается интернет-сообществом пользователей [1–3].

Кабель моделируется последовательностью одинаковых жестких нерастяжимых цилиндрических стержней конечной длины и диаметра, связанных между собой шаровыми шарнирами. Для моделирования эффектов запутывания разрешены соударения элементов кабеля друг с другом и с другими объектами. Также имеется специальный объект (далее «Root»), играющий роль порождающего элемента при создании (травлении) кабеля и поглощающего элемента при его выборке. Связь кабеля с ТНПА моделируется шаровым шарниром, соединяющим первый в последовательности элемент кабеля с объектом сцены, выполняющим роль ТНПА. А связь кабеля с носителем – аналогичным шарниром, соединяющим последний элемент кабеля с «Root». Особенно-стью рассматриваемой модели является малая длина объекта «Root» по сравнению с номинальной длиной обычного элемента кабеля. Это по-

зволило снизить нагрузки, возникающие в шарнирах при создании или уничтожении очередного элемента, и устранить явление разрушения кабеля в результате разрыва связей между элементами при моделировании травления и выборки. Моделирование травления кабеля реализовано посредством создания нового элемента – копии «Root» – и циклического увеличения его длины вплоть до достижения номинального значения. Аналогично при выборке, длина элемента кабеля, примыкающего к «Root», сначала циклически уменьшается до длины, равной длине «Root», затем элемент поглощается «Root», фактически уничтожается.

Для моделирования динамики системы ТНПА – кабель для каждого объекта должны быть заданы векторы действующих на него внешних сил и моментов. Такими силами и моментами для ТНПА являются упор, создаваемый винтомоторными агрегатами, и результирующий момент; гидродинамическая сила сопротивления; сила остаточной плавучести. Внешние силы, действующие на элемент кабеля – гидродинамическая сила сопротивления и сила остаточной плавучести. Интегрирование уравнений движения Ньютона, выполняемое в пакете «BGE» автоматически для каждого объекта и для каждого такта времени, позволяет визуализировать положение и ориентацию ТНПА и каждого элемента кабеля как функции времени.

Для задачи моделирования физических процессов в тренажере важен эффект реалистичности отображения обновления сцены при визуализации. Пакет «BGE» как «движок», предназначенный для разработки компьютерных игр, по определению должен обеспечивать расчет физических процессов в реальном времени. Интегральным критерием этого является показатель «FPS», равный частоте обновления сцены при визуализации. Этот показатель определяется числом объектов сцены и сложностью их геометрии, физикой взаимодействий между ними и др. Падение «FPS» ниже некоторого предела означает, что при данных аппаратных ресурсах компьютера «движок» не справляется с обчислением физики в реальном времени и визуализация обновления сцены начинает заметно «гормозить».

Для выяснения возможностей пакета «BGE» с точки зрения расчета соударений в реальном времени и реалистичности модели запутывания кабеля были смоделированы несколько характерных ситуаций: запутывание кабеля вокруг гладкого протяженного объекта и объекта с выступающими частями, прохождение ТНПА через одиночную петлю кабеля и через множественные петли, образующиеся при неконтролируемом травлении. Если число элементов кабеля, участвующих в соударениях и определяющих запутывание, относительно невелико (не превышает

200), то встроенный физический процессор «Bullet» пакета «BGE» справляется с их обчетом без заметного падения показателя FPS, что позволяет получить картину соударений и, соответственно, запутывания кабеля, в реальном времени. Начиная с числа элементов, равного 300, показатель FPS начинает резко падать, причем если в соударениях, соответственно, в запутывании, участвует и ТНПА, то критические значения показателя FPS достигаются при меньшем числе элементов.

Для того чтобы получить модель протяженного кабеля, например, длиной в несколько километров, без снижения показателя «FPS», необходимо использовать длинные и тонкие элементы кабеля без соударений. Это делает невозможным моделирование запутывания и приводит к потере устойчивости модели при резких изменениях положения элементов кабеля, связанных с маневрированием ТНПА. Применение же коротких элементов кабеля с соударениями не позволит получить модель длинной кабельной линии без потери «FPS». Решение этой проблемы видится следующим. Для участков активного маневрирования ТНПА, например, вблизи носителя или целевого объекта, следует использовать модель кабеля с относительно небольшим числом коротких элементов с соударениями. Для моделирования перемещения ТНПА на большие расстояния, не связанного с существенными маневрами и, следовательно, с резким изменением положения элементов кабеля, может быть применена модель кабеля из длинных и тонких элементов с отключенными соударениями. Две таких задачи могут выполняться одновременно с помощью запуска двух независимых приложений «BGE». При использовании многоядерного процессора каждое из приложений будет работать на своем процессорном ядре без потери FPS. Стыковка задач друг с другом может быть реализована с помощью обмена данными, например, по UDP протоколу.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. blender.org. Home of the Blender Project – Free and Open 3D Creation Software [Электронный ресурс]. URL: <https://www.blender.org> (дата обращения: 16.12.2016)
2. bulletphysics.org. Real-Time Physics Simulation. Home of the open source Bullet Physics Library and physics discussion forums [Электронный ресурс]. URL: <http://bulletphysics.org/wordpress/> (дата обращения 16.12.2016)
3. blenderartists.org. Blender Artists Community [Электронный ресурс]. URL: <http://blenderartists.org/forum> (дата обращения: 16.12.2016).

**ОЦЕНКА ЗАПАСОВ КРАБОВ В ЧУКОТСКОМ МОРЕ И В
ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ С
ПОМОЩЬЮ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ПОДВОДНЫХ
АППАРАТОВ**

Одинцов В.С.

*Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН,
ул. Пальчевского, д. 17, 690041, г. Владивосток, 8(423)231-09-05,
inmarbio@mail.primorye.ru*

В последние годы тенденция использования биоресурсов постепенно приводит к тому, что многие гидробионты, которые раньше в России не считались промысловыми, стали объектами промысла. В настоящее время таким объектом стал краб-стригун *Chionocetes opilio*. Для оценки запаса *C. opilio* используют так называемые экосистемные съемки, при которых сбор материала осуществляется донным тралом с раскрытием 25 м на 5 м. Продолжительность учетных тралений составляет 15 мин. при скорости 3,1–3,3 узла. При необходимых для учета нескольких сотнях тралений, анализу подвергаются более 7000 экз. краба [1]. Какой ущерб донным сообществу приносит такой учет нетрудно представить. В настоящей работе предпринята попытка оценки численности крабов с помощью телеуправляемых подводных аппаратов (ТПА) без изъятия их из среды обитания.

О существовании *C. opilio* в Чукотском море известно с первой четверти прошлого века [2]. Малый размер крабов этой обособленной популяции по сравнению с особями, обитающими в других морях, и низкую скорость роста объясняют суровым термическим режимом вод [3]. Из-за климата и мониторинг состояния популяции *C. opilio* ведется крайне нерегулярно, что приводит к недостоверности оценок запасов. Суммарная биомасса вида в 1997 году была оценена в 402,9 тыс. т., при этом основную массу составляли особи с шириной карапакса менее 60 мм [4]. Оценка 2010 г. показала 38 тыс.т. с уменьшением среднего размера карапакса по сравнению с 1997 г. [2]. Такую разницу авторы объясняют меньшей в 1,6 раза обследованной площадью в 2010 г. и с кратной разницей биомассы крабов, различающихся по размеру на 20 мм.

По нашим данным *C. opilio* и краб *Neas coarctatus*, по размеру близкий к *C. opilio*, распространены практически по всей акватории Чукот-

ского моря, а на многих обследованных станциях занимают в эпибентосе доминирующее положение, нередко встречаясь вместе в одних и тех же биотопах.

Средняя плотность поселений *C. opilio* в Чукотском море в самых богатых местах достигает $3,091 \pm 0,221$ экз./м² в районе желоба Геральда (рис. 1), а *H. coarctatus* – $12,5 \pm 2,6$ экз./м² (на банке Геральда). Если принять за среднюю массу *C. opilio* 50 г, а *H. coarctatus* 30 г, расчетная биомасса крабов составит соответственно 1545 и 3750 кг/га.

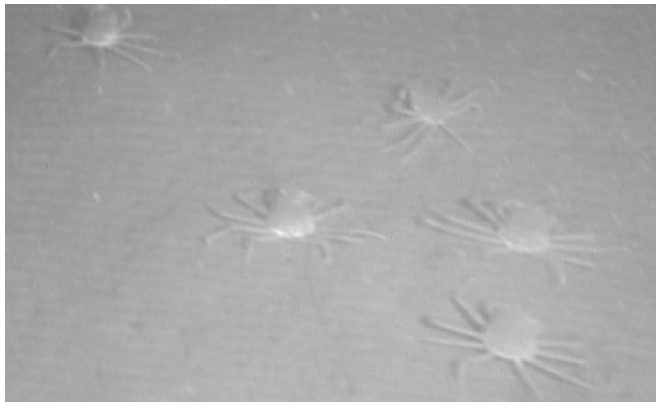


Рис. 1. *Chionocetes opilio*. Стоп-кадр из видеозаписи. Гл. 50 м. Чукотское море

По самым скромным оценкам средняя биомасса только *C. opilio* (6,8 т/км²), превышает предыдущие оценки [2] примерно в 20 раз (38 тыс. т на акватории 100 тыс. км² = 0,38 т/км²) и одного порядка с оценками 1997 года (402,9 тыс. т на акватории 160000 км² = 2,5 т/км²). Такая разница может быть обусловлена недостатком такого способа учета донных беспозвоночных, как траления, по сравнению с бесконтактным учетом с помощью ТПА.

По литературным данным в заливе Петра Великого Японского моря обитает более 40 видов промысловых беспозвоночных [5].

В наших исследованиях *C. opilio* и камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* были наиболее значимыми представителями промысловых беспозвоночных в заливе Петра Великого.

C. opilio распространен практически по всей акватории залива Петра Великого, а на многих обследованных станциях занимает в эпибентосе

доминирующее положение. Средняя плотность его поселений достигает $0,188 \pm 0,056$ экз./м², что в расчете на гектар составляет 1900 экз. или, при средней массе 50 г, 80 кг/га.

Камчатский краб *P. camtschaticus* особенно наглядно продемонстрировал трудности учета подвижных объектов, средняя плотность которого на одном из обследованных участков была $1,124 \pm 0,095$ экз./м², а на следующий день на том же месте и на соседних участках – не более $0,053$ экз./м². Учитывая полученные данные, биомасса *P. camtschaticus* в исследованном районе при минимальной средней массе животного 1,5 кг составляла от 800 кг до 16 тонн на гектар.



Рис. 1. *Paralithodes camtschaticus*. Стоп-кадр из видеозаписи. Гл. 60,5м. Залив Петра Великого Японского моря

При схожести биотопов в Чукотском море и в заливе Петра Великого наблюдалась огромная разница в обилии фауны исследованных районов. Донные ландшафты залива Петра Великого представляют собой пустыню по сравнению с Чукотским морем. Общим для них является только то, что основными объектами, относящимися к разряду промысловых, являются крабы. При этом в Заливе Петра Великого наибольшей биомассой характеризуется популяция камчатского краба, которая, однако, не занимает больших площадей и активно мигрирует. В Чукотском море имеются большие по биомассе запасы крабов, но их неболь-

шие размеры не позволяют назвать их промысловыми. Обилие следов донных орудий лова также отличает дно залива Петра Великого, чем объясняется наличие огромных пространств, практически лишенных эпифауны, по сравнению с Чукотским морем, где антропогенное влияние практически отсутствует.

Таким образом, за период с 21 мая до 5 октября 2016 года в результате работы в заливе Петра Великого и в Чукотском море на 66 станциях обследовано 7759 м² донных биоценозов, получено и обработано 46 часов видеоматериала, что позволило оценить запасы некоторых промысловых беспозвоночных без нанесения ущерба донным сообществам.

Выполнен очередной шаг отработки методов оценки запасов морских биологических ресурсов с применением подводной робототехники. Получен опыт использования телеуправляемых подводных аппаратов разных типов в различных по многим характеристикам морских акваториях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Баканев С.В., Павлов В.А.** Краб-стригун опилио (*Chionoecetes opilio* Fabricius, 1788) / Материалы, обосновывающие объёмы общих допустимых уловов беспозвоночных животных Северного рыбохозяйственного бассейна на 2016 г. Федеральное агентство по рыболовству, ФГБНУ «ПИНРО».

2. **Чучукало В.И., Надточий В.А., Федотов П.А., Безруков Р.Г..** Питание и некоторые черты биологии краба-стригуна опилио (*Chionoecetes opilio*) в Чукотском море. // Известия ТИНРО, 2011. Том 167. С.197–206.

3. **Слизкин А.Г.** Донные беспозвоночные животные // Расширенные тез. докл. регион. науч. конф. «Северо-восток России: прошлое, настоящее, будущее». Магадан: ОАО «Северовостокзолото», 1998. Т.1. С.121–122.

Слизкин А.Г., Борисовец Е.Э., Згуровский К.А. Сравнительный анализ габитуса некоторых видов крабов рода *Chionoecetes* (Crustacea, Decapoda) // Изв. ТИНРО. 2001. Т.128. С.582–610.

Арзамасцев И.С. Атлас промысловых морских беспозвоночных, водорослей и трав Приморского края // Владивосток: Изд. «Арт-Пилот». 1997. 52 с.

НАПРАВЛЕНИЯ И СПОСОБЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДВИЖИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ И РОБОТОВ

Яковлев А.Ю., Маринич Н.В., Шевцов С.П.

*ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
196158, С.-Петербург, Московское шоссе, 44,
+7(812)386-67-49, 10_otd@ksrc.ru*

Paper is devoted to design of propulsors for underwater devices. Ducted propulsors and propeller in pipe are the most popular of them. Additionally the modern RIM-driven propulsor and axial waterjet are analysed in the paper. The main features of design process and characteristics of designed propulsor has been presented.

Движительный комплекс является одним из важнейших устройств подводного аппарата (ПА). В настоящее время известно множество типов движителей, однако на ПА наибольшее распространение получили гребные винты (ГВ) в насадках и ГВ в канале. Выбор этих типов обусловлен не только стремлением предохранить лопасти ГВ от повреждений, но и возможностью существенно повысить упор развиваемый движителем при больших нагрузках. Так же современные движители ПА часто выполняются в виде модуля, включающего электродвигатель в гондоле, который вращает ГВ, и насадки закрепленной на гондоле [1]. Такая конфигурация (активно внедряемая и на современных судах), имеет целый ряд преимуществ [2]. Однако эффективность создаваемых модульных движителей может оказаться невысокой по причине неудачного и несогласованного проектирования их элементов. На рис.1 сопоставлены тяговые характеристики ряда движителей ПА (по данным доступных отечественных публикаций) и моделей движителей аналогичного типа, спроектированных в Крыловском ГНЦ для современных судов. Здесь в качестве основного критерия используется так называемый коэффициент Бендемана, который характеризует эффективность использования мощности для создания упора движителя на швартовном режиме его работы:

$$K_{\text{ben}} = \frac{T}{\sqrt[3]{\rho(nDQ)^2}}$$

где T – упор движителя, Q – момент на валу, D – диаметр ГВ, n – число оборотов ГВ в секунду, ρ – плотность воды.

Из рис. 1 видно, что имеет место существенный разброс эффективности движителей ПА, причем все они заметно уступают приведенным моделям судовых движителей.

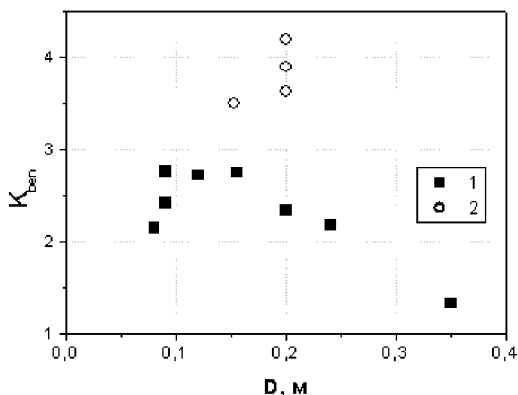


Рис. 1. Сопоставление тяговых характеристик движителей ПА (1) и моделей современных судовых движителей (2).

Подобная ситуация, по нашему мнению, обусловлена тем, что для судовых движителей, в отличие от движителей ПА, в настоящее время разработаны и внедрены в практику современные технологии проектирования. Эти технологии включает в себя выбор исходного образца движителя на основе обширной базы испытанных ранее моделей, численную оптимизацию всех элементов движителя с помощью специально разработанных компьютерных программ и проведение комплекса модельных испытаний спроектированного движителя. В ряде случаев, дополнительно, на базе суперкомпьютера, выполняется численное моделирование работы движителя с помощью CFD пакетов.

Если говорить о ГВ в насадке, то оптимизация подразумевает одновременное определение геометрии лопастей ГВ [3], формы насадки и гондолы [4] (в пределах заданных конструктивных ограничений), а также энергосберегающих устройств [5]. Лопастей ГВ проектируются исхо-

дя из одновременного удовлетворения требований по достижению максимального КПД ГВ, отдалению начала кавитации и исключению ее влияния на пропульсивные характеристики движителя, а так же обеспечения необходимой прочности лопастей. Вклад насадки в упор движителя, при ее целенаправленной оптимизации, может достигать 50%, то есть качественная насадка может удваивать тягу движителя. Кроме того, энергосберегающие устройства, позволяют увеличить упор движителя еще на 10 – 15%. В арсенале проектировщиков имеется так же большое число расчетных методов позволяющих контролировать специфические характеристики движителей, например вибрацию [6].

Аналогичная технология разработана и для проектирования ГВ в трубе [2], а так же других типов движителей. Крыловский центр занимается так же разработкой принципиально новых конструкций движителей. К числу таких решений относятся движитель с концевым приводом [7], который может быть спроектирован как со ступицей, так и в безступичном варианте. В качестве маршевого движителя ПА может оказаться перспективным легконагруженный водометный движитель специальной конструкции [8], обладающий высоким КПД.

В качестве примера эффективности выполняемой оптимизации на рис. 1 представлены характеристики моделей различных движителей, спроектированных и испытанных в Крыловском центре. Как видно, все они имеют лучшие характеристики по сравнению со штатными движителями ПА. Особенно заметно выделяются движители, спроектированные на швартовный режим и оснащенные энергосберегающими устройствами – они по своим характеристикам превосходят все имеющиеся аналоги.

Представленная технология проектирования может быть успешно применена и для проектирования движителей ПА. Причем, с этой целью можно выполнить проектирование типорядов движителей различной мощности для ходовых и швартовых режимов эксплуатации и устанавливать их в дальнейшем на различные ПА. Контрольные исследования эффективности работы движителей на конкретном ПА можно осуществлять в рамках испытаний ПА в опытовом бассейне [9].

Подводя итог, можно сделать следующие выводы: В настоящее время разработаны и применяются в судостроительной практике технологии, позволяющие существенно повысить гидродинамические характеристики движителей ПА. Применение этих технологий в комплексе с достижениями достигнутыми в других отраслях отечественной науки позволяет осуществить разработку типорядов движителей ПА нескольких типов, предназначенных для различных условий эксплуатации.

Создание этих движителей целесообразно выполнять группой предприятий, включая специалистов в области ПА, конструкторское бюро и Крыловский центр.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бриллиантов А.Н.** Погружные винтомоторные агрегаты на базе 3-х фазных асинхронных двигателей для подводных аппаратов / Бриллиантов А.Н., Никитин А.Д. // Материалы XIV международной научно-технической конференции «МСОИ-2015» – апрель 2015. – Т. 2. – С.217–222.

2. **Афремов А.Ш.** Средства активного управления судами / А.Ш. Афремов, Г.Г. Мартыросов, А.И. Немзер, А.А. Русецкий, В.В. Сергеев, С.П. Шевцов, А.Ю. Яковлев. – СПб., ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2016. – 182 с. : ил.

3. **Яковлев А. Ю.** Проектировочный расчет лопастных систем путем прямой оптимизации / Яковлев А. Ю. // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова – 2008 – вып. 35(320) – С.111–121.

4. **Маринич Н. В.** Оптимизация формы направляющей насадки / Маринич Н. В. // Труды Крыловского государственного научного центра – 2013 – вып. 73 (357) – С. 51–62.

5. **Маринич Н. В.** Численная оптимизация водометных движителей подводных аппаратов / Маринич Н. В. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Морское подводное оружие. Перспективы развития» – СПб., ноябрь 2015. С. 72–77.

6. **Яковлев А.Ю.** Особенности пульсаций сил на движителях подводных аппаратов / Яковлев А.Ю. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Морское подводное оружие. Перспективы развития» – СПб., ноябрь 2015. С. 69–71.

7. **Бушковский В.А.** Патент на изобретение «Водометный двигатель-двигательный комплекс» №2585207 / Бушковский В.А., Яковлев А.Ю., Маринич Н.В.

8. **Александров С.А.** Патент на изобретение «Легконагруженный водометный движитель» №2537351 / Александров С.А. Каневский Г.И. Капранцев С.В. Пустошный А.В.

9. **Соколов М.А.** Испытания и совершенствование глубоководных подводных аппаратов на основе экспериментальных исследований в опытовом бассейне / М.А. Соколов // Материалы XIV международной научно-технической конференции «МСОИ-2015», апрель 2015. – Т.2. – С. 67–71.

БЕРГОЗАЩИТА СИСТЕМОЙ ПОНТОНОВ

Шоларь С.А., Душко В.Р.

Филиал «Севастопольский морской завод»

АО «ЦС «Звездочка»

ул. Героев Севастополя 13, г. Севастополь, 299001, sa.sholar@mail.ru

Paper presents results of experimental researches of pontoons system for coastal protection.

Морские берега очень изменчивы, даже один сильный шторм способен срезать огромную площадь суши, размывать пляж, разрушить береговые постройки. Существующая система берегозащиты Черноморского побережья в последнее десятилетие практически не реконструировалась [1–3], не строились современные берегозащитные сооружения, в связи с чем, возникла необходимость анализа состояния существующих сооружений, и разработки современных мероприятий по защите берегов от воздействия внешних факторов окружающей среды.

Существует много приемов защиты берегов: навалы в полосе прибоя глыб, железобетонных шпал, тетраподов и других конструкций; строительство бетонных стенок. И те, и другие предназначены для непосредственной защиты берега от воздействия прибоя. Для перехвата вдоль берегового потока наносов строят буны – бетонные дамбы, перпендикулярные берегу. Для разрушения волн с целью уменьшения их параметров, следовательно, и энергии волн сооружают волноломы – бетонные дамбы на некотором удалении от береговой линии или параллельные ей.

Севастопольскими учеными был предложен метод волногашения при помощи специального гидротехнического сооружения (сложной заякоренной системы, составленной из отдельных плавучих элементов правильной шестигранной или шарообразной формы), находящегося на некотором удалении от берега [3, 4].

Предложенная система береговой защиты состоит из понтонов, связанных между собой в сотовую конструкцию с помощью амортизаторов (пассивных или энергогенерирующих), каждый понтон заякорен при помощи мертвого винтового якоря на минимальную глубину провала волны. Каждый понтон, ныряя в волны, отражает ее ход на волну, отраженную соседним понтоном для взаимопогашения. Шарообразная фор-

ма понтона обеспечивает максимальное рассеивание волны и гарантирует гашение волн отраженных соседними понтонами. Вся система устанавливается вдоль берега на расстоянии примерно 50–150 м и соединена с берегом понтонными дорожками. Каждый понтон шаровидной формы можно легко перемещать в системе, заменяя одни понтоны шаровидной формы на другие, присоединять дополнительные или отделять и удалять каждый понтон при необходимости. Таким образом, плавучая система может быть составлена в любую форму. Винтовой мертвый якорь, удерживая понтон на глубине провала волны, растягивает якорный амортизатор, не позволяя понтону свободно проваливаться между гребнями волны, и сглаживает его вертикальное перемещение. Использование электрогенерирующих амортизаторов обеспечивает дополнительную функцию электроснабжения, превращая энергию волн в электричество. Сами понтоны должны быть выполнены с возможностью временного или постоянного проживания в них людей и могут использоваться как различные культурно-бытовые, научно-исследовательские, технические и развлекательно-гостиничные объекты, а именно – гостиницы, спортивные и ночные клубы, казино, магазины, оздоровительные центры, научно-исследовательские центры, морские фермы, зоны свободного отдыха и т. п. Такая конструкция системы позволяет создать искусственные бухты, защищенные от волнения, открывая возможность использования системы как стоянки маломерных судов.

В опытовом бассейне СевГУ была проведена серия испытаний модели данной системы. Наиболее важные результаты работы представлены в работе [3]. Проведенные эксперименты позволили определить характер влияния и численно оценить параметры вертикальной качки, а также нагрузки, действующей на наружную обшивку и якорь элементов системы, в зависимости от количества элементов в системе и типа соединения между элементами.

Эффективность предлагаемого сооружения как средства защиты берега от волнового воздействия – потеря энергии волны после прохождения системы достигает 55 %. Основной, но не единственной функцией остается берегозащита. С помощью предложенной системы планировалось расширить функциональные возможности систем береговой защиты, позволяя использовать ее как туристический, развлекательный, культурно-бытовой, научно-исследовательский центр, производственный комплекс морепродуктов, с собственным источником безопасной электроэнергии. Но, круглая форма шаров, как показала серия экспериментов [3], несмотря на все существующие преимущества системы, на

данном этапе экспериментов не позволяет использовать систему для размещения людей, т.к. амортизаторы не поглощают полностью качку, и долгое нахождение в системе во время шторма невозможно. В перспективе, коллектив авторов планирует провести серию вычислительных экспериментов в программном пакете Ansys, для определения наиболее оптимальной формы понтонов. В случае нахождения оптимальной формы повторить эксперименты в опытовом бассейне СевГУ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Кушнир В.М.** Трансформация, удары и разрушение морских волн в прибрежной зоне / В.М. Кушнир, О.А. Иванова, С.А. Шоларь. Саарбрюккен: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 72 с.

2. **Кушнир В.М.** Экспериментальные исследования динамических нагрузок при разрушении поверхностных волн на наклонном дне / С.А. Шоларь, В.Р. Душко // Приборы и техника эксперимента. 2016. № 3. С. 123–129.

3. **Джамаль С.В.** Волногашение плавучим островом СОБЕРЕНГО / С.В. Джамаль, Д.Ю. Несин // Научно-практическая конференция «Пути решения проблемы сохранения и восстановления пляжей крымского полуострова»: материалы конференции. Севастополь: Морской гидрофизический институт, 2015. С. 42–43.

4. Патент Украины № 100154, 10.07.2015.

УДК 534, 621.376

МАКЕТ СИСТЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Токмачев Д.А.¹, Ченский А.Г.²

*¹Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет,
ул. Лермонтова, 83,664074, г. Иркутск,
89245344744, tokmachev.dmitrij@yandex.ru*

*²Иркутский Национальный Исследовательский Технический Университет,
ул. Лермонтова, 83,664074, г. Иркутск, chens-01@yandex.ru*

The article is devoted to a test bench designing for comparing the noise immunity of different types of signal modulation. The software and used hardware description is shown. The article

demonstrates some experimental data acquired for different modulation types. The designed bench can be used for development of hydroacoustic modems underwater unmanned devices, bottom stations, etc.

Сейчас в мировой практике все большее распространение получают исследования глубин мирового океана, в том числе с применением автономных необитаемых подводных аппаратов и станций. Это ставит задачу создания надёжной системы передачи информации в подводной среде. Перед разработкой системы гидроакустической связи стоит ряд проблем, например, высокий уровень шумов в воде, многолучевое распространение сигнала, быстрое поглощение сигнала на высоких частотах передачи сигнала, все эти факторы негативно влияют на дальность действия, скорость передачи данных и помехоустойчивость канала связи. Для решения этих проблем предлагается использовать сложные сигналы.

В силу развитого современного программного обеспечения, возможно, проводить моделирование применяемых сложных сигналов непосредственно в программе, что значительно ускоряет разработку конечного оборудования. После отработки основных алгоритмов модуляции и демодуляции необходимо отработать

Основной задачей поставленной перед разработкой данного макета, является создание системы передачи информации: построение самого макета, проверка различных видов модуляции, сравнение максимально достижимой скорости передачи данных и помехоустойчивости информационного канала.

Основное преимущество данного макета системы ШПС в возможности программной реконфигурации всей системы – в зависимости от вновь поставленной экспериментальной задачи. Для обмена информацией возможно использование различных видов модуляции.

Программа для системы широкополосной связи написана на графическом языке программирования NI LabVIEW с использованием инструментов разработки приложений и Real-Time, для генерации излучаемого и оцифровки принимаемого используется плата расширения NI PCI-6251, усилители мощности и приемный – собственного изготовления.

Данное решение, позволяет, разработать всю систему в рамках одного проекта, использование готовых алгоритмов обработки и передачи данных существенно ускоряет процесс разработки программного обеспечения и реализации проекта в целом[1].

Информационная посылка формируется в зависимости от выбранного вида модуляции и передается на PCI-6251. С выхода ЦАПа сигнал

поступает на усилитель мощности, и излучается пьезокерамическим преобразователем. С принимающей стороны акустический сигнал преобразуется пьезокерамической антенной в электрический, усиливается и поступает на вход АЦП платы PCI-6251. Оцифрованный сигнал проходит обработку в соответствии с алгоритмом демодуляции. На рис. 2 показана подпрограмма обработки PSK/MSK сигнала:

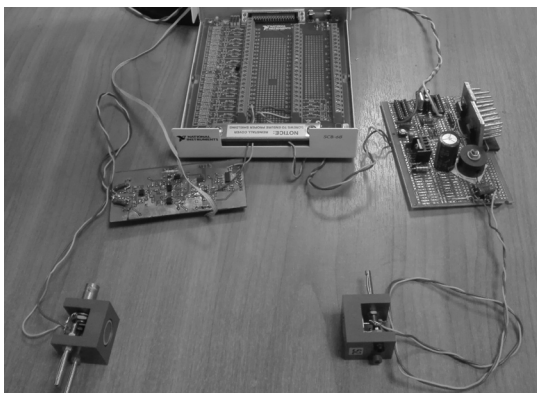


Рис. 1. Макет системы широкополосной связи

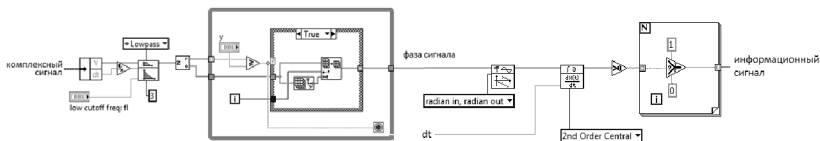


Рис. 2. Выделение полезного PSK/MSK сигнала и его демодуляция

Перед демодуляцией необходимо выделить информационную посылку, так как информация передается «пакетами» через определенные промежутки времени, принятый сигнал представлен в виде «шум-сигнал-шум». Необходимо выделить только полезный сигнал – при превышении порогового уровня из массива, в котором содержится фаза сигнала, выделяется массив, в котором будет содержаться фаза только полезного сигнала. После того, фаза полезного сигнала приводится к непрерывному виду. Далее полученная фаза дифференцируется, и получившийся сигнал приводится к виду «1», «0». Таким образом, после выполнения данных операции получается массив содержащий отсчеты демодулированного сигнала [3].

В ходе экспериментов с макетом системы широкополосной связи были использованы следующие виды сигналов:

- Тональная посылка.
- Сигнал с линейной частотной модуляцией.
- FSK-сигнал.
- MSK-сигнал.
- Сигнал с фазовой B-PSK-модуляцией.

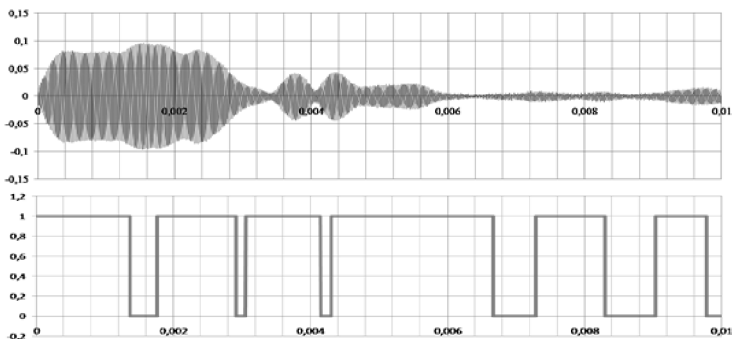


Рис. 3. Принятый и демодулированный MSK сигнал

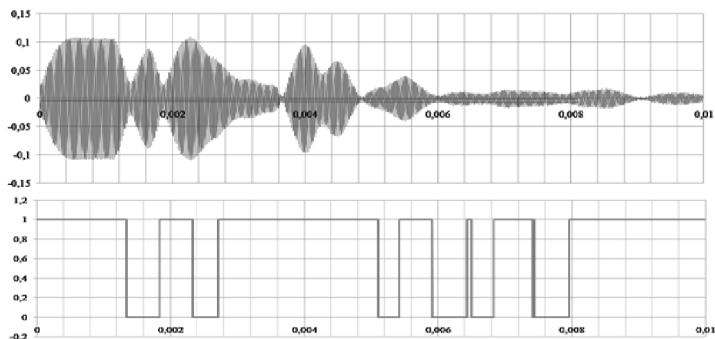


Рис. 4. Принятый и демодулированный B-PSK сигнал

Использование данного макета системы широкополосной связи необходимо для создания гидроакустического модема, и его дальнейшего применения в целях приема информации с буксируемых аппаратов, беспилотных подводных и надводных комплексов, автономных донных и буйковых станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Баран Е.Д.** LabVIEWFPGA. Реконфигурируемые измерительные и управляющие системы / Москва: ДМК Пресс, 2009.
2. **Федосов В.П.** Цифровая обработка звуковых и вибросигналов в LabVIEW / Москва: ДМК Пресс, 2010.
3. **Латыпов Е.С., Засенко В.Е.** Разработка модема для подводной связи. Сборник трудов конференции «Современные проблемы радиотехники и связи», ИрГТУ, 17 мая 2012.

УДК 634.67

КОНТРОЛЬ ДВИЖЕНИЯ И ПОИСК МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА СУДНОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Комаров В.С.

*Институт океанологии им. П.П.Шишова РАН,
Нахимовский пр.,36, 117997,г.Москва, 8(499)1292045,
Romv2000@mail.ru*

Предлагается гидроакустический метод контроля движения и определения местоположения необитаемого подводного аппарата относительно судна обеспечения.

Hydro-acoustic method for controlling underwater vehicle movement and location relative to the support vessel is proposed.

С тех пор как появились подводные аппараты (ПА), возникли задачи их навигации и поиска под водой – на дне акватории. Особенно это касается необитаемых и телеуправляемых аппаратов. Здесь рассмотрен относительно простой способ подводной навигации, а точнее, способ определения местоположения подводного аппарата посредством гидроакустической навигационной системы. Этот метод может быть использован, например, для определения, относительно борта судна обеспечения, направления и дальности до подводного аппарата, а так же местоположения донной станции.

Успешное применение миниатюрных подводных телеуправляемых аппаратов (мини-ПТА) типа «Гном» [1] в ряде приложений, связанных с фото – телевизионным обследованием поверхности дна и идентифика-

цией объектов, обнаруженных на дне гидролокационными и другими средствами дистанционного мониторинга, во многом сдерживается трудностями, связанными с обеспечением их навигации относительно судна обеспечения и регистрации их места положения.

Известны технические решения координации ПА относительно стационарных акустических маяков ответчик [2], где исследуемый полигон акватории координируют тремя акустическими маяками ответчиками, с которыми подводный аппарат взаимодействует, получая запрос и передавая свой акустический сигнал, а маяки передают на судно обеспечения их расстояния до аппарата. На судне вычисляют координаты аппарата, как точку пересечения трёх сфер.

Известный способ громоздок, требует больших затрат судового времени для развёртывания и дорог в эксплуатации. Другое решение, близкое к рассматриваемому, заключается в том, что на подводный аппарат устанавливают транспондер – типа пингер ответчик [3], а на судно приёмник с антенной и акустический генератор, который генерирует импульс запроса, улавливая импульс запроса, транспондер отвечает своим импульсом. Измеряя половину временного интервала между импульсами запроса и ответа, определяют расстояние до местоположения подводного аппарата. Однако и этот способ не способен определить координаты ПА, а также должен расходовать его энергию на перемещение веса транспондера, тогда как при поиске важно знать хотя бы приближённо место положения ПА для более точного координирования его на грунте дна с переменным рельефом.

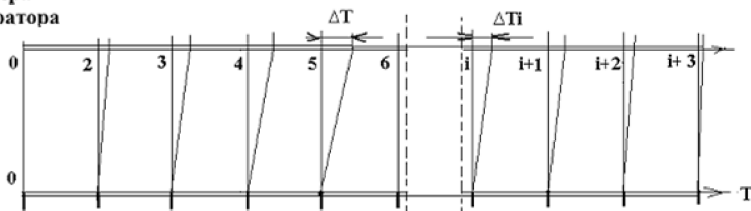
Поставленная цель может быть достигнута тем, что в известном гидроакустическом способе, использующим транспондер, последний заменить на пингер, излучающий непрерывно стандартные периодические сигналы [4], начало которых предварительно синхронизуют с судовым генератором аналогичных опорных сигналов, при этом сигналы пингера принимают судовой антенной, усиливают и передают на вход измерителя временного смещения (смесителя), а на второй вход смесителя подают опорные сигналы судового генератора, где сравнивают их с принятыми одноимёнными сигналами пингера и, таким образом, вычисляют их временное смещение ΔT относительно одноимённых опорных сигналов, умножая которое на скорость звука «с», получают расстояние «R» по лучу от пингера до антенны:

$$R = \Delta T \cdot c.$$

Вместе с тем, используя судовую приёмную антенну дипольного типа, с явным «*min*» диаграммы направленности и, вращая её относительно вертикальной оси, фиксируют, пеленг α пингера подводного аппара-

та относительно судовых координат по \min амплитуды принимаемого сигнала, а так же, используя судовой эхолот, определяют глубину акватории h , затем из геометрического построения прямоугольного треугольника, где R – гипотенуза, h – катет, а второй катет определяют, как лежащий на горизонтальной поверхности дна, что в совокупности с углом пеленга определяет ориентировочные относительно судна координаты подводного аппарата.

Запаздывание импульсов пингера относительно генератора



Импульсы пингера

Рис. 1. Синхрограмма пингера и судового опорного генератора

На рис.1 приведена синхрограмма пингера и судового генератора в состоянии сравнения в смесителе. Интервалы импульсов « i » генератора задает исследователь, а смеситель вычисляет смещение ΔT и расстояние до ПА по лучу R . Полагая процесс определения R , h и α непрерывным, можно не только определять местоположения ПА, но и контролировать движение, построить примерную траекторию относительно координат и ориентации судна обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ёлкин А.В., Комаров В.С., Розман Б.Я. История развития телеуправляемого микро робота «Гном» XIII международная научно-техническая конференция (МСОИ-2013).
2. ГАНС УКБ <http://edboe.ru/>. ОКБ ОТ, 2015.
3. Acoustic Target Transponder ATT-400 <http://www.rjeint.com/templates/theme1577/pdf/ATT400-RevB.pdf>
4. Пингер ELP-362A. <http://pdf.nauticexpo.com/pdf/teledyne-benthos/locator-product-catalog-2012/40202-49557.html#open>.

КОЛЛЕКЦИИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ В МУЗЕЕ МИРОВОГО ОКЕАНА

Стрюк В.Л.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры
«Музей Мирового океана»
Калининград, Набережная Петра Великого, 1
8 4012 53 89 15, stryukv@rambler.ru*

Oceanologic equipment has been received by the museum since its foundation (1990) and later it gradually turned into the following full-grown collections: – deck winches and mechanisms; – sea research tools: bathometers and probes (including optical ones); – ship's laboratory equipment: salinometers, thermometers, tools for water chemistry and optics study; – geological structure research equipment: dredges, sediment core samplers, bottom samplers; – seabed research equipment: echo sounders, sonars and profilographs; – Earth's magnetic field research tools; – manned and unmanned submersible vehicles; – undersea photo- and video-equipment; – tools to study atmospheric phenomena in the ocean: anemometers, wind speed indicators, barometers and psychrometers. The collection is dynamically enlarging and the museum kindly asks for new artifacts, please.

Образцы океанологической техники стали поступать в музей со дня его основания (1990 год), постепенно формируясь в полноценные коллекции, основные из которых следующие:

– палубные лебедки и механизмы. **Особо** – глубоководное якорное устройство и глубоководная кормовая траловая лебедка на НИС «Витязь»;

– приборы для изучения водной толщи – батометры, зонды, в том числе оптические. **Особо** – батометр Б-200 для отбора больших объемов воды;

– приборы для изучения воды в судовой лаборатории – солемеры, термометры, приборы для изучения химии и оптики воды;

– приборы для изучения геологического строения – трубки, дночерпатели, драги;

– судовые приборы для изучения рельефа океанского дна – эхолоты, профилографы, локаторы. **Особо** – эхолот «Кельвин Хьюз», с помощью

которого на НИС «Витязь» измерена максимальная глубина Мирового океана;

– приборы для изучения магнитного поля Земли. **Особо** – магнитометр с немагнитной шхуны «Заря»;

– подводные обитаемые и необитаемые подводные аппараты. **Особо** – ПОА «Пайсис-7» и ГОА «Мир-1» (на временном хранении).

– подводные фото- и киноустановки. **Особо** – фотоустановка для глубоководных работ.

– приборы для изучения атмосферных процессов в океане – анемометры, ветрочеты, барометры, психрометры.

Приборы использовались в экспедициях на НИС «Витязь», «Академик Курчатов», «Михаил Ломоносов», «Дмитрий Менделеев», «Профессор Штокман», «Профессор Ковалевский», «Академик Мстислав Келдыш», «Академик Федоров», «Академик Иоффе», «АтлантНИРО» и многих других.

Коллекция активно пополняется, и музей обращается ко всем, кто может помочь в комплектовании коллекции океанологических приборов и оборудования, с предложением принять в этом участие.

УДК 551.46.07

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПОД ВОДОЙ

Данилов А.В.¹, Кропотов А.Н.²

*Научно-исследовательский институт специального машиностроения
МГТУ им. Н.Э. Баумана 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, с. 1*

¹т. 8(916)903-86-12, E-mail: 157304@rambler.ru

²т. 8(499)263-61-14, E-mail: sm42@bmstu.ru

This report deals with problems of actual technological operations performed by underwater manipulators. There are necessary requirements for the design and construction of manipulators, that are able to perform these operations with sufficient accuracy.

При освоении подводного мира в различных областях деятельности человечества, особенно в последнее время, увеличивается доля высокотехнологических подводных операций в совокупности всех проводимых

под водой работ, а именно: взятие и возврат инструмента, операции сверления и резания, завинчивание рым болтов, монтажные работы, сборка, стыковка и пр. Все эти работы, независимо от типа подводного носителя (необитаемый подводный аппарат (НПА), автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), обитаемый подводный аппарат (ОПА)), выполняются манипуляторами. Это, в свою очередь, выдвигает особые требования к разработке и изготовлению манипуляторов таких как:

- высокая точность позиционирования конечного звена манипулятора-схвата (статическая точность),
- высокая траекторная точность прохождения конечного звена манипулятора-схвата (динамическая точность),
- высокая геометрическая подвижность для обеспечения большой рабочей зоны,
- полная автоматизация технологических операций,
- фиксация носителя при проведении технологических операций,
- визуальное (с видеокамер) и интерактивное (модель на мониторе) наблюдение оператором за работой манипулятора во всем спектре проводимых работ, как автоматических, так и полуавтоматических (с участием оператора),
- высокая скорость проведения подводных работ,
- высокая надежность и ударная прочность,
- большой ресурс работоспособности.

Чтобы манипулятор соответствовал выше перечисленным требованиям, этим требованиям должна удовлетворять каждая составляющая манипулятора, а именно:

- высокая конструктивная жесткость и точность изготовления звеньев манипулятора,
- коррозионная стойкость используемых материалов в конструкции манипулятора,
- применение прецизионных редукторов в сочленениях звеньев манипулятора с возможностью передачи больших нагрузок,
- применение приводов с высокой степенью управления по точности движения и фиксации положения, обладающих высокими удельными характеристиками по мощности,
- использование типов систем управления, устраняющих влияние диссипативных процессов на управление манипулятором, а также неопределенное влияние гидромеханики сопротивления и присоединенных масс и моментов инерции воды,
- применение высокоточных датчиков в сочленениях звеньев манипулятора,

- использование эффективных алгоритмов для решения обратной задачи кинематики (ОЗК) и обратной задачи динамики (ОЗД), позволяющих управлять манипуляторами в реальном масштабе времени,
- использование программного обеспечения и аппаратной части для создания интерфейса управления, отвечающего всем современным требованиям.

Для получения конструктивной жесткости используются кессонные или трубчатые профили для звеньев, обладающие максимальной жесткостью при заданном весе совершенстве [1]. Подобные манипуляторы показаны на рис. 1.



Рис. 1. Манипуляторы Titan 4 и Orion производства Shilling Robotics

Данные манипуляторы обладают подвижностью и точностью, которые необходимы для выполнения самых сложных задач.

Высокая геометрическая подвижность для организации большой рабочей зоны реализуется разработкой многостепенных манипуляторов со степенью подвижности равной шести и выше.

Для обеспечения коррозионной стойкости манипуляторы изготавливают, как правило, из алюминиевых или титановых сплавов.

Для обеспечения минимального люфта используют прецизионные редукторы. Выходное звено у этих редукторов, как правило, имеет угловое или линейное движение, смотри рис. 2 [2], [3].

Эти редукторы обладают высокой нагрузочной способностью, жесткостью и точностью перемещения выходного звена. У редуктора ПВР-2 мертвый ход выходного вала не превышает 2 угловых секунд.

В качестве приводов звеньев редуктора следует использовать приводы с большой удельной мощностью. К таким приводам относятся двигатели бесконтактные моментные (ДБМ) и гидроприводы. А чтобы обеспечить высокую степень управления по точности движения и фиксации необходимо при управлении указанными приводами использовать систему управления, устраняющую нелинейности в их рабочих

характеристиках. В качестве такой системы управления может быть адаптивная система управления (СУ) с эталонной моделью.

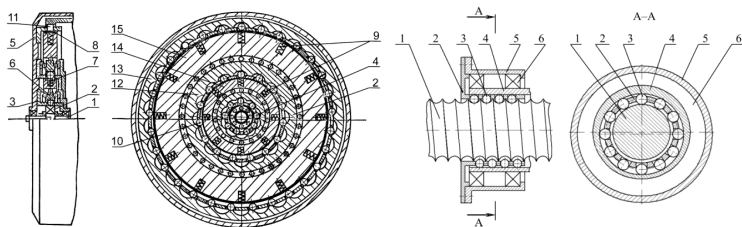


Рис. 2. Прецизионные редукторы привода вращения рамок ПВР-2 с угловым движением выходного звена и с использованием волновой винтовой передачи (ВВП) с линейным движением выходного звена нашего производства

Одной из особенностей подводного манипулятора является неопределенность параметров гидравлического сопротивления звеньев, а также параметров присоединенных к ним масс и моментов инерции воды. Приведенные неопределенности не позволяют точно рассчитать желаемые моменты управления звеньями для получения траекторных характеристик заданной точности, а, значит, исключают применение более простых систем управления, использующих пропорционально-интегрально-дифференцирующие (ПИД) регуляторы и пр., этому ещё способствует и нелинейное изменение самих параметров манипулятора в процессе движения. Для повышения точности движения и положения схвата манипулятора в этих условиях следует также применять систему управления, которая дает заданную точность управления. В качестве такой системы управления может также использоваться адаптивная СУ с эталонной моделью.

Новым подходом для решения рассмотренной задачи управления манипулятором является определенное сочетание применения совокупности разработанных эффективных алгоритмов таких как: решения ОЗК для n степенного манипулятора с однозначным определением положения звеньев, даже если n больше шести; использование адаптивной системы управления с эталонной моделью меньшего порядка; получение динамических характеристик звеньев манипулятора непосредственно в момент управления и формирование желаемого вектора U_n управления приводами звеньев манипулятора для заданной динамической и статической точности.

Основным достоинством приведенного подхода разработки манипулятора отвечающего всем указанным требованиям для применения его в технологичных подводных операциях является то, что он позволяет обеспечить заданную точность позиционирования, а также максимально возможную скорость перемещения схвата по заданной траектории, и заданную точность перемещения в области максимальных мощностей приводов звеньев манипулятора без входа в зоны насыщения в условиях неопределенности гидродинамических сил сопротивления и присоединенных масс и моментов инерции воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Березин А.В., Вельтищев В.В.** Манипуляторный комплекс для оснащения АНПА и ТНПА НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
2. **Янгулов В.С.** Прецизионный редуктор повышенной долговечности Томский политехнический университет.
3. **Янгулов В.С., Эдличко А.А.** Прецизионные винтовые механизмы и передачи для использования в редукторах приводов систем космического назначения Томский политехнический университет.

УДК 551.46.07

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ ПОДВОДНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ

Данилов А.В.¹, Кропотов А.Н.²

*Научно-исследовательский институт специального машиностроения
МГТУ им. Н.Э. Баумана 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, с. 1*

¹т. 8(916)903-86-12, E-mail: 157304@rambler.ru

²т. 8(499)263-61-14, E-mail: sm42@bmstu.ru

In this report there is an analysis of the implementation of an underwater manipulator control system based on microprocessors and microcontrollers. The preference is given to microcontroller-based control system with the ARM core and its Russian microcontroller made by «Milandr» company.

Для выполнения технологических операций под водой, а именно: взятие и возврат инструмента, операции сверления и резания, завинчивание рым болтов, монтажные работы, работы со связанным объектом, сборка, стыковка и пр., манипулятор должен иметь высокоточную систему управления движением. Решение данной задачи зависит от многих составляющих элементов манипулятора и его подсистем. Рассматривается одна из подсистем – микропроцессорная система управления (МПСУ) манипулятора.

Как правило, система управления (СУ) манипулятором распределенная и состоит из двух подсистем, а именно: СУ верхнего и СУ нижнего уровней.

Задачи системы управления верхнего уровня:

- визуализация трехмерной модели манипулятора на экране,
- обработка команд управления движением манипулятора от оператора (сигналы с рукоятки управления и дискретные команды).

Задача системы управления нижнего уровня:

- управление приводами в замкнутом и разомкнутом режимах.

Следующие задачи можно решать в системе управления, как верхнего, так и нижнего уровня:

- прямая задача кинематики (ПЗК),
- обратная задача кинематики (ОЗК),
- движение манипулятора по траектории.

Выбор решаемых задач зависит от конкретной реализации МПСУ и от прикладных задач манипулятора, но в любом случае система управления нижнего уровня должна работать в режиме реального времени. Это накладывает определенные требования к скорости вычисления, а также к выбору более эффективных алгоритмов, которые обеспечивают высокую точность СУ манипулятором.

Ввиду вышесказанного, систему управления верхнего уровня целесообразней реализовывать на одноплатной электронной вычислительной машине (ЭВМ) под управлением операционной системы общего назначения (Windows, или Linux), а систему управления нижнего уровня можно реализовать как на одноплатной ЭВМ под управлением операционной системы жёсткого реального времени (QNX, VxWorks), так и на микроконтроллерах.

Рассмотрим подробнее варианты реализации систем управления нижнего уровня, а также их плюсы и минусы. Так как результат работы программного обеспечения на одноплатной ЭВМ и на микроконтроллерах одинаковый, то в качестве критериев сравнения будем использовать следующие: габариты, тепловыделение, цена, надёжность, комплек-

тующие, скорость разработки программного обеспечения, возможность работы в переменных условиях окружающей среды.

Вариант 1 на базе одноплатной ЭВМ предполагает наличие следующих компонентов: одноплатная ЭВМ Helios HLV800-256AV [1], плата цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) и дискретных портов ввода/вывода RUBI-MM-1612-XT, источник питания, операционная система реального времени (ОСРВ) QNX Neutrino 6.3.2. Стоимость перечисленных компонентов составляет соответственно 55 тыс. руб., 2 тыс. руб., 5 тыс. руб., 10 тыс. руб. и итоговая стоимость достигает 90 тыс. руб. Помимо этого необходим комплект разработчика стоимостью 1 млн. 100 тыс. руб.

Данная реализация МПСУ может работать в температурном диапазоне $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$, имеет габариты $90 \times 96 \times 48$ мм, требует отводить рассеиваемую мощность около 10 Вт и имеет дополнительную вычислительную мощность, так как программа выполняется под управлением операционной системы, а не сама по себе как на микроконтроллерах.

Вариант 2 предполагает использовать микроконтроллеры фирмы Atmel с ядром AVR32 семейства AT32UC3 [2], например МК AT32UC3C0512C. У этого микроконтроллера имеются: модуль для работы с числами с плавающей запятой (FPU), контроллер Ethernet (MAC), инструкции цифрового сигнального процессора (DSP), встроенные ЦАП и аналого-цифрового преобразователя (АЦП), RISC-архитектура ядра, 1,5 инструкции выполняются за 1 такт центрального процессора, удобные отладочные средства программного обеспечения, есть готовые макетные платы с данным микроконтроллером, которые можно использовать на целевом изделии. Стоимость микроконтроллера около 1 тыс. руб., а отладочных плат от 7,5 до 25 тыс. руб. Диапазон рабочих температур составляет $-55^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$.

Вариант 3: Микроконтроллеры на базе ядра ARM Cortex-M4F [3].

К ним можно отнести следующие: микроконтроллеры фирмы «STMicroelectronics» например STM32F407VGT6, микроконтроллеры фирмы «Texas Instruments» семейства Stellaris, например LM4F120H5QR, или других семейств (TM4C12x, TM4C129x и др.), микроконтроллер фирмы «Миландр», например, 1986BE8T и другие микроконтроллеры с ядром ARM Cortex-M4F.

Эти микроконтроллеры имеют вычислительные характеристики и модули ядра такие же, как и у контроллеров с ядром AVR32, за исключением, что за 1 такт центрального процессора выполняются 1,25 инструкций и максимальная тактовая частота поменьше – 168МГц против 240МГц у AVR32.

Стоимость микроконтроллера STM32F407VGT6 около 750 руб, а отладочного комплекта из двух плат: STM32F4DISCOVERY и DM-STF4BB – 5500 руб. Основным плюсом данных контроллеров с ядром ARM Cortex-M4F является то, что имеется русский аналог фирмы Миландр. Диапазон рабочих температур составляет от -55°C до +125°C.

Достоинства микроконтроллеров в том, что не нужно использовать операционную систему, у них малое тепловыделение по сравнению с одноплатной ЭВМ, прямой доступ к памяти, тем самым во много раз меньшим количеством операций можно достигнуть такого же результата, что и на одноплатной ЭВМ, поэтому не нужна большая вычислительная мощность, но при этом на этих контроллерах есть аппаратный вычислитель операций над числами с плавающей запятой, что упрощает и ускоряет разработку программного обеспечения для этих контроллеров. Габариты МПСУ на базе микроконтроллеров существенно меньше, поэтому её можно встраивать отдельно в каждое звено манипулятора и иметь более короткую сеть проводов для передачи аналоговых сигналов, что уменьшает количество наводок и улучшает качество функционирования системы в целом, а также упрощает и ускоряет обработку датчиков и увеличивает точность передачи показаний датчиков.

Из всего вышесказанного следует, что использование МПСУ на базе микроконтроллеров позволяет спроектировать не только более надежный и высокоточный манипулятор, но выполнить его в виде модуля, что значительно упрощает установку такого манипулятора на любой подводный носитель.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Материалы сайта www.diamondsystems.com
2. **Редькин П.П.** Микроконтроллеры Atmel архитектуры AVR32 семейства AT32UC3. Руководство пользователя. Москва: Техносфера. 2010. – 784 с.
3. **Joseph Yiu.** The Definitive Guide to the ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors. ARM Ltd., Cambridge, UK Copyright 2014 Elsevier Inc.

МНОГОЦЕЛЕВОЕ УНИВЕРСАЛЬНОЕ НАДВОДНОЕ РОБОТИЗИРОВАННОЕ СУДНО-НОСИТЕЛЬ

Ченский Д.А., Григорьев К.А., Ченский А.Г.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, 664074 г. Иркутск 89086425656, E-mail – dimpson05@yandex.ru

Multi surfaced platform allows for scientific research, search the rescue work geological exploration remotely without human intervention on the vessel. The use of robotic platforms significantly reduces the cost works performed and improves the quality of data.

Многоцелевая надводная платформа позволяет проводить научно исследовательские работы, поисково спасательные работы, геологоразведочные работы удаленно без участия человека на судне. Применение роботизированных платформ существенно снижает стоимость производимых работ и улучшает качество данных

На сегодняшний день в российских разработках надводных роботизированных платформ практически отсутствуют надводные плавучие средства носители научно-исследовательских и экологических приборов. Роботизированные платформы существенно повышают безопасность проведения работ на воде, увеличивают производительность, повышают качество данных. Основной задачей роботизированных платформ служат: геологоразведочные работы, поисково-спасательные работы, экологический мониторинг.

Многоцелевая роботизированная платформа представляет собой автономную мобильную систему сбора, хранения и передачи данных в модульном исполнении. В зависимости от задачи исследований, удалённости оператора от места проводимых работ, на платформу могут устанавливаться различные модули, включающие оборудование и программное обеспечение.

Многоцелевая роботизированная платформа состоит из следующих систем: энергообеспечения, связи, диагностики, сбора данных и информационно-управляющей системы. Аппарат выполнен на базе катамарана с жесткой платформой и полезной нагрузкой до 200 кг.



Рис. 1. Многоцелевой катамаран полевые испытания 2016 года

В качестве накопителей энергии применены гелиевые аккумуляторные батареи общей мощностью 4800 Вт. В процессе работы аккумуляторы катамарана подзаряжаются от солнечных батарей общей мощностью 600 Вт. Роботизированный катамаран приводят в движение два коллекторных электрических двигателя мощностью 500 Вт каждый. Автономность плавания составляет 8 часов с максимальной скоростью до 10 км/ч. Навигация аппарата, осуществляется двумя независимыми системами – бортовой инерциальной и спутниковой системой навигации GPS, ГЛОНАСС. Бортовая инерциальная система навигации состоит из акселерометра, гироскопа, электронного компаса, датчиков счисления пути, датчиков определения положения аппарата относительно береговой станции. Навигационный приемник GPS, ГЛОНАСС в режиме реального времени определяет координаты аппарата, курс, крен, дифферент, скорость. По данным навигационной системы микропроцессорная система управления движением выдает соответствующие команды механизму управления для удержания аппарата на заданной траектории. Периодически, по радиоканалу данные навигационной системы передаются на НИС носитель. Разрабатываемая платформа имеет реконфигурируемую систему управления и сбора данных, благодаря этому перечень выполняемых работ существенно расширится. Многоцелевая платформа способна удерживаться на курсе, двигаться по заданному маршруту, удерживаться в заданной точке независимо от течения и волнения. Впоследствии система управления дополнится машинным зрением, что позволит распознавать и обходить препятствия.

Применение данной платформы, возможно на мелководьях озера Байкал, шельфах морей и внутриконтинентальных озерах и водоемах.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ченский Д. А., Григорьев К. А.** Многоканальный информационно-измерительный комплекс для подводных исследований / Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2015)»: Материалы XIV международной научно-технической конференции, 19-21 мая Москва 2015. ИО РАН, 2015.

2. **Caccia M., Bibuli M., Bono R., Bruzzone G., Bruzzone G., and Spirandelli E.**, «Unmanned surface vehicle for costal and protected water applications: The Charlie project.» Marine Technol. Soc. J., vol.41, no.2, pp.62-71, 2007.Что такое CompactRIO[Электронный ресурс] / LabVIEW– режим доступа <http://www.labview.ru/products/articles/307/1688>, свободный.

3. Технология реконфигурирования FPGA в контроллерах CompactRIO / <http://www.picad.com.ua/0404/0404.htm> // Промышленные измерения контроль автоматизация диагностика выпуск № 4/2004.

УДК 004.896

АВТОНОМНЫЙ МОРСКОЙ SMART ПРОФИЛОГРАФ

Краснодубец Л.А.

*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул.
Студенческая, 33, 299053,
г. Севастополь, 8(869)243-52-72, lakrasno@gmail.com*

The report introduces the concept of the autonomous marine smart profiler that can automatically change the direction and speed depending on the temperature gradient in depth in order to reduce the dynamic temperature sensor error.

Современное состояние профильных измерений вертикального распределения термохалинных параметров океанской среды характеризуется массовым характером проводимых станций на регулярной основе и глобальным охватом поверхности Мирового океана. Координаты новых станций постоянно обновляются, пополняя базу данных *TS*-профилей, которые вскоре становятся доступными для заинтересованных пользо-

вателей. Это является свидетельством успешного выполнения международной программы Argo [1], предназначенной для крупномасштабных исследований верхнего слоя океана. В рамках этой программы работает сеть, состоящая из более 3800 подводных роботов – автономных профилографов, построенных на основе ныряющих буев с регулируемой плавучестью класса Argo [2]. Вместе с тем, открытие тонкой структуры океанских вод – природного явления, заключающегося в расслоении океана на тонкие слои и прослойки с размерами по вертикали от 0,01 м до 10 м и по горизонтали от 0,01 м до 10 км [3], ставит новые задачи при исследовании вертикальных профилей и, в частности, задачи обнаружения и измерения мелкомасштабных, как по пространству, так и по времени явлений, связанных с изменениями температуры и солености океанской среды. Для решения этих актуальных задач профилографы Argo мало подходят. Во-первых, они выполняют профилирование с постоянной скоростью $v = 0,1$ м/с в режиме подъема с глубины 2000 м до выхода на поверхность, что занимает примерно 6 часов – время достаточно большое для мелкомасштабных явлений. Во-вторых, разрешение отбора данных по глубине составляет 10 м. Этого явно недостаточно для обнаружения тонких слоев воды с отличительными свойствами во время вертикального профилирования.

Таким образом, разработка методов и средств, обеспечивающих обнаружение и измерение тонкой структуры океанских вод, является задачей актуальной.

В работе [4] выполнена оценка характеристик режимов движения ныряющих буев (профилографов) при регистрации вертикальных распределений температуры и солености морской воды с учетом рекомендаций WOCE. В результате сформулированы требования на допустимую вертикальную скорость подъема ныряющего буя в области большого градиента температуры при использовании датчиков температуры фирмы Sea Bird Electronics Inc. [5] с постоянной времени $\theta_v = 0,065$ с. Чтобы динамическая погрешность измерения не превышала значения $(\Delta t)_{\text{дин}} \leq 0,0008^\circ \text{C}$ в слое максимального градиента температуры, скорость подъема ныряющего буя не должна превышать

$$V_{\text{дин}} \leq (0,12 \dots 0,025) \text{ м/с}.$$

При этом скорость подъема должна определяться по скорости изменения давления в децибарах (дбар), а текущий градиент температуры должен вычисляться по данным получаемой информации непосредственно с помощью микропроцессора в электронном блоке буя-профилографа.

Таким образом, для повышения качества и точности профильных измерений предлагается ввести функцию управления скоростными режимами автономного профилографа, оснащая его мехатронной системой регулирования плавучести и регулятором, которые образуют вместе с информационными каналами замкнутый контур управления с отрицательной обратной связью. Такая структура предлагаемого морского автономного профилографа полностью соответствует определению smart структуры, приведенной в [6].

Использование автономного профилографа с адаптивными свойствами, обладающего способностью гибкого изменения скоростных режимов в условиях динамически изменяющихся параметрических и координатных возмущений, позволит повысить качество и точность профильных термохалинных измерений за счет изменения его скорости в процессе сбора данных в зависимости от значений градиентов измеряемых параметров (прежде всего температуры). При больших значениях градиента температуры (пороговые значения могут устанавливаться при настройке измерительной системы в соответствии с постоянными времени измерительных каналов) система управления профилографом принимает решение об изменении модуля и знака его скорости. Это позволит во-первых, автоматически изменять разрешение, с которым измеряется термохалинный параметр и во-вторых, сделать остановку и пройти профиль в другом (обратном) направлении с меньшей скоростью с тем, чтобы зафиксировать тонкую структуру профиля температуры. Такой режим управления работой автономного профилографа с адаптивными свойствами особенно важен, когда небольшое обострение стратификации может привести к развитию термохалинной катастрофы.

Построение комплексного трехмерного мониторинга океанской среды с учетом профильных измерений невозможно без решения ключевых проблем, связанных с разработкой методов управления движением роботов и их группировок, а также с разработкой концепции построения, состава, типов, организации связи, алгоритмов управления автономными робототехническими комплексами (РТК), расположенными на значительном удалении друг от друга. Рассматривая морской smart профилограф как автономный РТК, решение упомянутых выше ключевых проблем задачи разработки адаптивных систем управления для работы в изменчивой океанской среде можно связать с разработкой концепции применения smart профилографа для сбора, регистрации и передачи данных. При этом так же должна быть разработана концепция построения морской наблюдательной системы для мониторинга океанской сре-

ды, использующей группировку совместно работающих smart профилографов, удаленных друг от друга на значительные расстояния и управляемых из единого центра посредством спутниковой связи. Более того, для smart профилографа можно спроектировать терминальный адаптивный регулятор [7], который даст возможность переводить профилограф из исходного состояния на океанской поверхности на заданную глубину за требуемое время и задавать время выхода группировки морских роботов-профилографов на заданный горизонт синхронно во времени. Это весьма важно, например, для исследования характеристик тонкой структуры вод океана и внутренних волн.

Использование данных мониторинга стратификации океанской среды, полученных при помощи smart профилографов, обеспечивающих более высокое (по сравнению с буями Argo) разрешение при измерении профилей термохалинных параметров, наряду с анализом архивных данных, результатов различных ре-анализов и моделирования термохалинных циркуляций позволит получить уточненные количественные оценки вероятности развития термохалинной катастрофы и реализовать систему ее мониторинга. Это, в свою очередь, приведет к созданию более надежных сценариев возможных климатических изменений в Атлантико-Европейском регионе [8] на ближайшие десятилетия – сотни лет, позволит оценить вероятные экономические последствия этих изменений, сформулировать рекомендации по адаптации к ним и снизить риски, связанные с опасными погодными и климатическими явлениями.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. <http://www-argo.ucsd.edu> (дата обращения: 04.11.2016).
2. http://edu.org/argoeu_6.php A brief history of Argo Early float development From WOCE to Argo Jason and the Argo floats (дата обращения: 12.11.2016).
3. **Федоров К.Н.** Тонкая термохалинная структура вод океана / К.Н. Федоров. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 184 с.: ил.
4. **Краснодубец Л.А.** Управление морскими буями профилографами как метод повышения репрезентативности термохалинных измерений. Модели движения / Л.А. Краснодубец, В.И. Забурдаев, В.В. Альчаков // Морской гидрофизический журнал. 2012. – № 4. С. 69–79.
5. <https://sea-birdscientific.com/sea-bird-electronics> (дата обращения: 04.11.2016).
6. **Akhras G.** Smart Materials and Structures / Georges Akhras // Canadian Military Journal, Autumn, 2000. – P. 25–31.

7. **Краснодубец Л.А.** Терминальное управление в морских наблюдательных системах с подвижными платформами сбора данных / Л.А. Краснодубец //Изв. РАН Серия ТиСУ. – 2008. – №2. – С.141–153.

8. **Baziura E.A** Termohaline circulation of North Atlantic and its simulation for a recent climate. In book: Informatization of geographical researches and space simulation of the natural and socio-economic systems / E.A Baziura, A.B. Polonsky, V.F. Sannikov // ed. by V.M. Kotliakov. МААК-РАС. – Moscow, 2013. – P. 256–270.

УДК 629.584

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В РАЗРАБОТКАХ ИПМТ ДВО РАН

Волков Я.Ю., Нечаев В.Д., Михайлов Д.Н., Стороженко В.А.

*Институт проблем морских технологий ДВО РАН,
ул. Суханова, 5а, 690091, г. Владивосток, 8(423)243-24-16,
imtp@marine.febras.ru*

This report presents motors developed in the Institute of Marine Technology Problems FEB RAS and shows main characteristics of the devices.

На сегодняшний день для построения движителей, манипуляторов и других исполнительных устройств в подводной робототехнике наибольшее распространение получил вентильный электропривод, обладающий повышенной надежностью и большой перегрузочной способностью.

В ИПМТ ДВО РАН вентильный погружной электропривод (ВПЭП) применяется с конца 90-х годов в следующих системах необитаемых подводных аппаратов (НПА): движительно-рулевой комплекс (НПА «МТ-2010», «МАКС-300», «МАКС-300М», «Платформа», «МТ-2016», «Чилим», «ММТ-3000», «Пилигрим», глайдер «Монитор»), фото и видеосистема (НПА «МАКС-300М»), система регулирования плавучести (глайдер «Монитор»), а также в приводах поворота (НПА «МТ-2016», «МАКС-300М»), манипуляторах (НПА «МАКС-300М»).

В движительно-рулевом комплексе ВПЭП используют в качестве гребного электропривода, а также приводов механизмов поворота дви-

жителей и рулей. В фото и видеосистеме ВПЭП применяют для поворота фото и видеокамер. Кроме того ВПЭП используют в качестве приводов поворота и захвата манипуляторов, механизмов выдвигания антенн и датчиков, кабелеукладчиков, пробоотборников и насосов систем регулирования плавучести.

В табл. 1 приведены основные характеристики разработанных в ИПМТ электроприводов (ВПЭП-40, ВПЭП-70, ВПЭП-120). Ниже показаны структурные схемы электропривода на базе бесколлекторных двигателей серии ДБМ производства ОАО «Машиноаппарат» и малогабаритных бесколлекторных электродвигателей постоянного тока со встроенными датчиками положения ротора фирмы Fulling motor. Внешний вид электроприводов представлен на рис. 3.

Таблица 1. Технические характеристики ВПЭП ИПМТ ДВО РАН

Параметр	ВПЭП 40	ВПЭП 70	ВПЭП 120
Тип управляемого электродвигателя	Fulling motor 42BLDC062	ДБМ70-1.1-1.3-3	5ДБМ120-5-2-3
Тип датчика положения ротора	датчики Холла	СКВТ	СКВТ
Диапазон рабочих напряжений, В	18 – 52	18 – 52	18 – 52
Максимальная рабочая глубина, м	600	6000	6000
Интерфейс связи	CAN	CAN	CAN
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+85	-40...+85	-40...+85
Максимальный КПД, %	78	74	82
Габариты, мм	62×160×10	84×230×10	130×350×18
Ном. механическая мощность, Вт	110	110	800
Ном. частота вращения, об/мин	3500	1300	1000
Дополнительные функции	Расположение электроники в тонкостенной масляной магистрали. Защита от затекания, КЗ, перегрева. Измерение тока, температуры и оборотов двигателя.	Защита от затекания, КЗ, перегрева. Ограничение тока. Измерение тока, температуры и оборотов двигателя.	Защита от затекания, КЗ, перегрева. Ограничение тока. Измерение тока, температуры и оборотов двигателя.

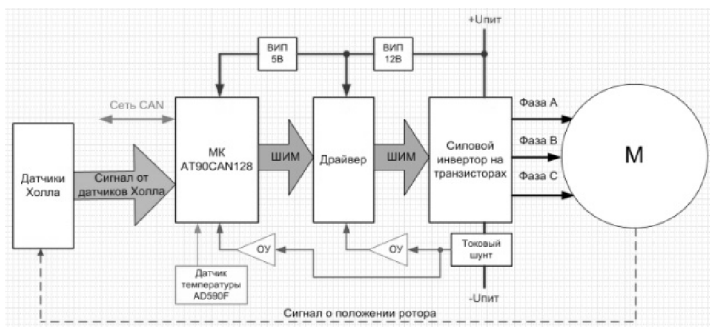


Рис. 1. Структурная схема ВПЭП-40

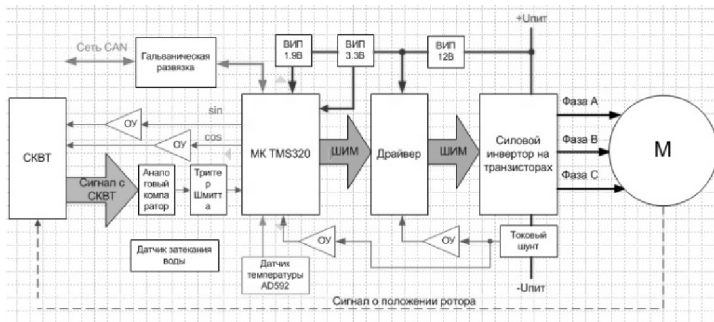


Рис. 2. Структурная схема ВПЭП-70 / ВПЭП-120



Рис. 3. ВПЭП производства ИПМТ ДВО РАН (слева направо): ВПЭП-70, ВПЭП-120 и ВПЭП-40

На рисунках 4–7 показаны основные устройства разработки ИПМТ ДВО РАН на основе ВПЭП [2].



Рис. 4. Маршевые движители АНПА «МТ-2016»

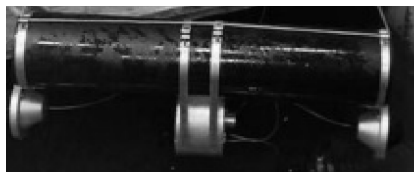


Рис. 5. Система регулирования плавучести глайдера «Монитор»

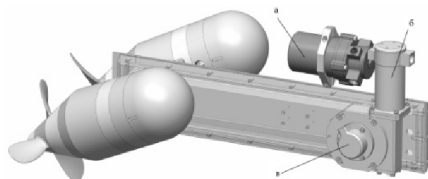


Рис. 6. Привод поворота маршевых движителей АНПА «МТ-2016»: БУД (а), электропривод (б), датчики угла поворота (в)

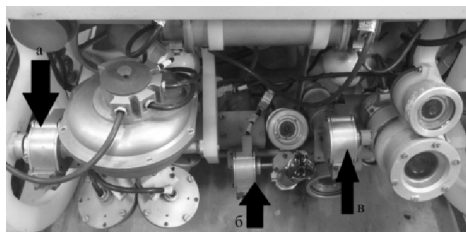


Рис. 7. Приводы поворота доплеровского лага (а), манипулятора (б) и фотосистемы (в)

Все приведенные устройства успешно прошли испытания, а некоторые и многолетнюю опытную эксплуатацию в составе НПА разработки ИПМТ ДВО РАН. Приведенный обзор систем и устройств НПА позволяет оценить масштабы применения вентильного погружного электропривода в подводной робототехнике.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Беленький Ю.М.** Опыт разработки и применения бесконтактных моментных приводов. – Л.: ЛДНТП, 1987.

2. **Гой В.А., Костенко В.В.** Регулирование плавучести и дифферента автономного подводного робота // Подводные исследования и робототехника. 2016. №1(21). С. 4–14.

УДК 629.584

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ КАБЕЛЬНОГО БАРАБАНА С ПРОГРАММИРУЕМЫМ УКЛАДЧИКОМ ДЛЯ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ С ВОЛОКОННО ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ СВЯЗИ

**Стороженко В.А., Михайлов Д.Н., Гой В.А.,
Нечаев В.Д., Волков Я.Ю.**

*Институт проблем морских технологий ДВО РАН 690091,
Владивосток, ул. Суханова 5а, тел (423) 2432416,
e-mail: imtp@marine.febras.ru*

The report presents the experience of MPPI Feb RAS in developing the cable reel with programmable stacker for underwater vehicles with fibre-optic communication channel.

При работе с телеуправляемым подводным аппаратом одной из важнейших задач является своевременное изменение длины кабеля связи, которое требует равномерного его распределения по ширине барабана вьюшки. Отсутствие автоматической укладки кабеля приводят к рывкам кабеля, что может привести к обрыву кабеля и потере аппарат. В ИПМТ ДВО РАН было принято решение разработать для самоходного интеллектуального буя с оптической линией связи кабельный барабан с элек-

троприводом автоматической укладки кабеля, структурная схема которого показана на рис. 1.

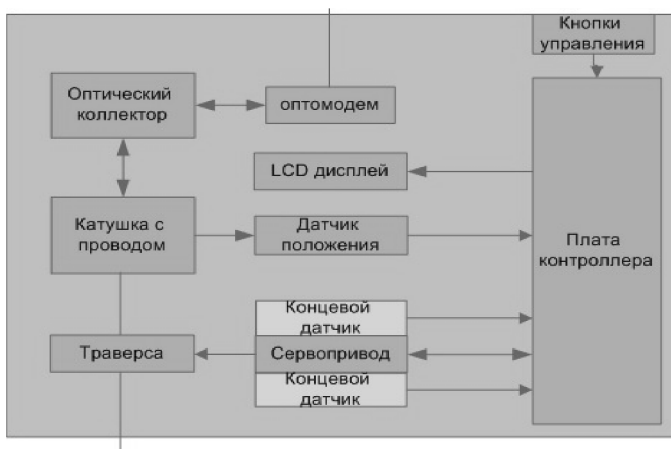


Рис. 1. Структурная схема кабельного барабана

Для реализации автоматической укладки кабеля возможны два типа устройств – это механические укладчики и электрические. Электрический укладчик обладает рядом преимуществ по сравнению с механическим: возможность задавать плотность укладки, толщину кабеля и вид намотки, а так же сохранять профиль намотки [2].

Модель катушки с электрическим укладчиком представлена на рис. 2. Устройство представляет собой кабельную катушку 3, закрепленную на валу с помощью подшипника. Вал крепится к полиэтиленовому основанию 5 и позволяет катушке свободно вращаться. Для определения положения катушки на ней установлен магнитный энкодер 4. Для смотки и намотки кабеля к катушке присоединяется металлическая ручка 7.

Для электрического укладчика были разработаны несколько приспособлений: траверса 2 для равномерной укладки кабеля перемещаемая по оси 8, электропривод и плата управления 1. В качестве электропривода, был выбран шаговый двигатель 17HD4452, обеспечивающий высокую точность позиционирования вала без датчиков обратной связи и потребляют минимальный ток для удержания вала в заданном положении. Для обеспечения защиты от выхода траверсы за заданные пределы предусмотрены оконечные датчики по краям катушки.

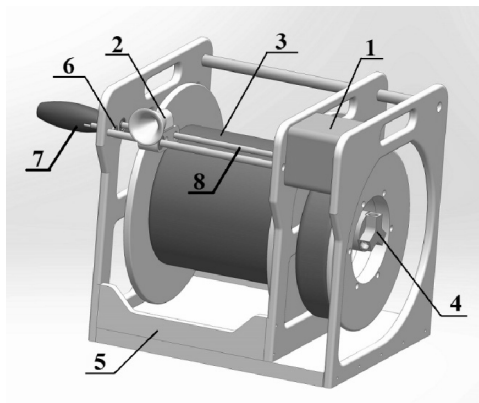


Рис. 2. 3-D модель кабельного барабана

Таблица 1. Технические характеристики кабельного барабана

Габариты барабана, мм	300×350×280
Масса без провода, кг	5
Габариты катушки, мм	150×250
Допустимый диаметр кабеля, мм	1–10
Максимальная длина кабеля, м	2000
Напряжение питания, В	18–24
Потребляемая мощность, Вт	4,8
Максимальное число оборотов в минуту	320

Устройство управляется платой с программируемым контролером типа Atmega32. Контроллер принимает данные от магнитного энкодера AS5048, который обеспечивает точность до 1 угловой минуты, и посылает сигналы управления драйверу управления сервоприводом. Драйвер управления двигателем выполнен на микросхеме L6470, которая следит за количеством шагов выполненных сервоприводом, ограничивает максимальный ток и рабочее напряжение.

Программная часть представляет собой динамический диспетчер задач (схема представлена на рис. 4). Диспетчер работает в основном цикле, он выбирает задачи из очереди и выполняет их, это позволяет разбить программу на множество независимых подпрограмм, равномерно распределяя процессорное время. Задача представляет собой структуру с указателем на функцию и параметрами, такими как период запуска и время выполнения. Задачи ставятся в очередь из прерываний или после

выполнения других задач. После попадания задачи в диспетчер вызывается функция, на которую ссылается указатель.

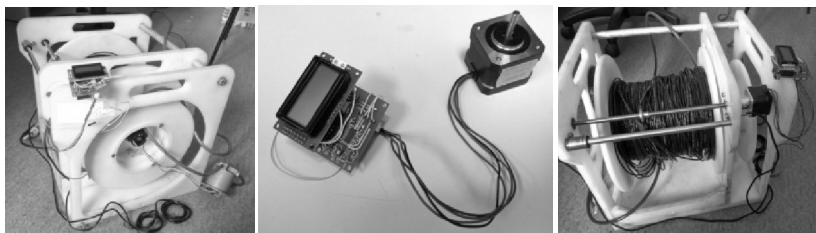


Рис. 3. Прототип барабана с программируемым кабелеукладчиком



Рис. 4. Блок схема работы диспетчера

Очередь выполнена в виде совокупности задач и может динамически изменяться во время работы. Прерывание генерируется по таймеру через равные промежутки времени и считывает данные с энкодера о положении катушки. Полученные данные попадают в кольцевой буфер. Такая структура программы позволяет добавлять новые задачи, не изменяя остального кода.

На данном этапе происходит сборка прототипа кабельного барабана (рис. 3) и идет подготовка к испытаниям в реальных морских условиях. В дальнейшем планируется усовершенствовать вьюшку, добавив электропривод вращения барабана для автоматической смотки и намотки

кабеля, сделать его водонепроницаемым и усовершенствовать траверсу для автоматического контроля длины выпущенного кабеля, а также силы его натяжения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

Кувшинов Г.Е., Наумов Л.А., Чупина К.В. Влияние морского ветрового волнения на глубоководный привязной объект: монография. Владивосток: Дальнаука, 2008. – 215 с.

УДК 629.584:62.768

ОБЗОР СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫМИ АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ ДЛЯ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Волков Я.Ю., Михайлов Д.Н., Нечаев В.Д., Стороженко В.А.

*Институт проблем морских технологий ДВО РАН.
690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а, тел/факс: (423) 243-24-16,
e-mail: imtp@marine.febras.ru*

The report presents an overview of the systems of control and management of Lithium-Ion battery packs for unmanned underwater vehicles.

В качестве источника энергии для автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) в наши дни чаще всего используют литий-ионные аккумуляторные батареи (ЛИАБ). Они обладают высокими удельными характеристиками, низким саморазрядом и простотой обслуживания. Однако чтобы поддерживать ЛИАБ в работоспособном состоянии, необходимо избегать некоторых нештатных ситуаций (чрезмерные токи заряда или разряда, токи короткого замыкания, перезаряд выше или ниже определенных уровней напряжения на аккумуляторах). Несоблюдение этих предосторожностей может привести к воспламенению и даже взрыву. Во избежание подобных ситуаций была придумана система контроля и управления (СКУ) аккумуляторными батареями [1].

СКУ – это электронная система, которая отслеживает состояние аккумуляторных батарей и управляет ими.

Реализовать функции СКУ можно, используя элементы общего назначения или специализированные микросхемы. Вариант с использованием микросхем предпочтительнее, так как позволяет обойтись меньшим числом компонентов и экономит место на плате. На сегодняшний день такие микросхемы есть у самых разных производителей – Texas Instruments, Linear Technology, Maxim Integrated, Atmel и другие [2].

В ИПМТ ДВО РАН в качестве контроллера СКУ ЛИАБ ранее использовалась микросхема BQ78PL116. Однако в связи с тем, что компания – производитель Texas Instruments прекратила ее производство, возник вопрос о необходимости замены данной микросхемы. В связи с фиксированным количеством аккумуляторов в модулях ЛИАБ ИПМТ ДВО РАН (7 и 12 элементов), подходящей является продукция компаний Texas Instruments, Linear Technology, Maxim Integrated.

У Texas Instruments наиболее подходящей является микросхема BQ78350-R1. Она используется совместно с BQ76930, необходимой для измерения параметров (тока, температуры, напряжения). Микросхема BQ78350-R1, в свою очередь, управляет ключами заряда/разряда и выключает их при возникновении нештатных ситуаций [3].

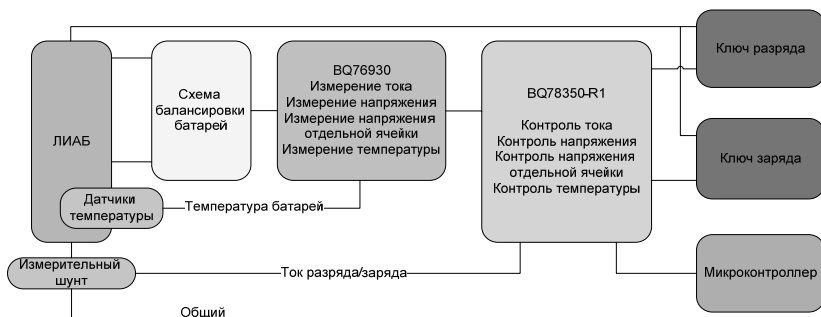


Рис. 1. Функциональная схема СКУ ЛИАБ на базе микросхемы BQ78350-R1 совместно с BQ76930

У компании Maxim Integrated наиболее подходящей является микросхема MAX14921, которая обеспечивает измерение общего напряжения батареи, напряжение и температуру каждого аккумулятора. Для измерения тока необходимы дополнительные внешние цепи.

Компания Linear Technology предлагает семейство микросхем контроля батарей LTC68xx, которое насчитывает уже четыре поколения. Все микросхемы этого семейства способны отслеживать общее значе-

ние напряжения, напряжение каждого элемента, значения токов, температур. Для связи с внешними устройствами используют интерфейс SPI. Также это семейство поддерживает пассивную балансировку аккумуляторных элементов с использованием дополнительных микросхем LTC3300 или LTC8584. При этом возможна и активная балансировка [5, 6].

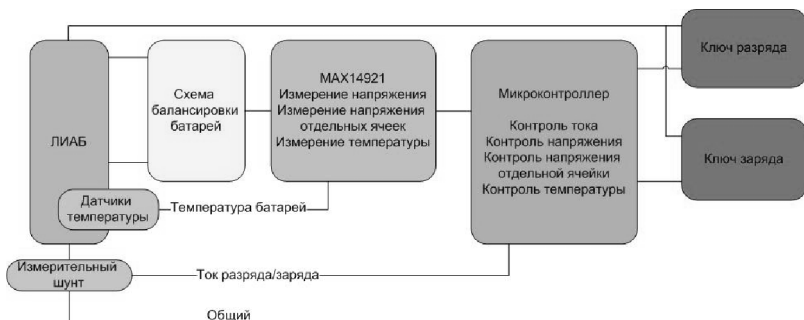


Рис. 2. Функциональная схема СКУ ЛИАБ на базе микросхемы MAX14921

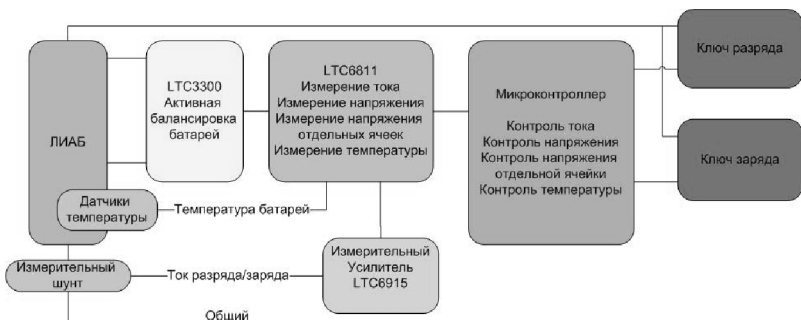


Рис. 3. Функциональная схема СКУ ЛИАБ на базе микросхемы LTC6811 совместно с LTC3300

Проведенный обзор специализированных микросхем для СКУ ЛИАБ выделяет наиболее предпочтительную замену устаревшей BQ78PL116 – микросхему LTC6811 в связке с LTC3300. Данный комплект микросхем позволяет создать полноценную СКУ ЛИАБ, обеспечив активную балансировку аккумуляторных элементов, а также наиболее быструю защиту батареи и точные измерения параметров по сравнению с альтернативными вариантами.

Таблица 1. Сравнение характеристик различных микросхем

Наименование микросхемы	BQ78350-R1 совместно с BQ76930	MAX14921	LTC6811 совместно с LTC3300
Конфигурация ячеек	6-10	3-16	До 12
АЦП	14-разрядный	внешний	16-разрядный
Измерение тока	До 320 А	с помощью внешней цепи	с помощью внешней цепи
Погрешность измерения напряжения	15 мВ	0,5 мВ	2,20 мВ
Балансировка	Пассивная, с помощью внешней цепи	Пассивная, с помощью внешней цепи	Активная с помощью внешней цепи
Ток балансировки	Задается параметрами внешней цепи		
Интерфейс связи	SMBus	SPI	SPI, I2S

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Михайлов Д.Н., Найденко Н.А., Борейко А.А.** Опыт разработки и испытаний систем энергообеспечения АНПА // Материалы 5-ой научно-технической конференции «Технические проблемы освоения мирового океана», Владивосток, 30 сентября – 4 октября 2013 г. с. 118–124.

2. **David Andrea.** Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs. Artech house, 2010.

3. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq78350-r1.pdf>

4. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq76pl455a.pdf>

5. <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/68111f.pdf>

6. <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/680313fa.pdf>

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИКОПТЕРОВ В ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Анисимов И.М., Белевитнев Я.И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
oceanbreak@gmail.com*

Paper presents observation of fields in which drones can be used for oceanographic research and shows the results achieved during several expeditions, with discussion about specific problems of using drones in Arctic region.

В 2016 году в нескольких лабораториях Института океанологии РАН им. П.П.Ширшова начали применяться мультикоптеры. Особенности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) этого типа позволяют решать широкий спектр задач в океанологических исследованиях. Рассматриваются преимущества и недостатки мультикоптеров относительно других типов БПЛА, проводится обзор типов данных, которые могут быть получены с помощью мультикоптеров.

Анализируя опыт работы с данным типом БПЛА, авторы делят области применения мультикоптеров на несколько категорий:

- наблюдение за животными;
- количественный учет животных;
- обследование рельефа дна и техногенных объектов на малых глубинах;
- обследование речных стоков и выносов;
- изучение ледовой обстановки;
- оценка структуры ледяного покрова;
- разведка перед высадками на землю;
- осмотр корпуса суда с внешней стороны в открытом море.

В докладе в частности рассматриваются данные, полученные в ходе 66-го рейса НИС Академик Мстислав Келдыш в Карское море, обсуждается специфика работы БПЛА в северных широтах. Авторы доклада представляют видеоматериалы, полученные с помощью БПЛА, и анализируют возможности для дальнейшего использования таких аппаратов в океанологических исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническое описание БПЛА DJI Phantom 3 Advanced и DJI Phantom 3 Professional [Электронный ресурс] URL: <http://www.dji.com/>
2. Архив видеоматериалов аэросъемки в экспедициях ИО РАН [Электронный ресурс] URL: https://www.youtube.com/channel/UC6g8Zl5eekIO9iPjb_V83ZQ.

УДК 629.127

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ С ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРИНЦИПАМИ ДВИЖЕНИЯ

Татаренко Е.И.¹, Смирнов В.Д.¹, Рубцов М.Г.¹, Мильто А.Н.²

¹Самарский государственный технический университет,
ул. Молодогвардейская, 244, 443100, г. Самара, 8(846)263-76-26,
comandor239@mail.ru

²КБ «Талисман», ул. Дзержинского, 29,
443070, г. Самара, 8-960-831-27-00

The report generalizes the experience of advanced oceanengineering development – torpedo-shaped glider wave glider and multifunctional autonomous unmanned surface-underwater vessel.

Доклад посвящен анализу результатов деятельности Научно-производственной группы «Морские Автоматические Комплексы» (Консорциум «МАКО»), связанной с разработкой и созданием новых перспективных образцов подводной техники – автономных подводных аппаратов с гидродинамическими принципами движения.

Представлены законченные разработки опытных экземпляров устройств, прошедших натурные испытания в 2012–2016 гг.

1. Подводный глайдер торпедообразного типа «МАКО» (рис. 1). Может использоваться в следующих режимах: в режиме движения по «пилообразной» вертикальной траектории в заданном коридоре глубин; в режиме зависания на нужной глубине, на поверхности воды или у дна; в режиме движения по заданной траектории по маршруту или в заданном районе с периодическим выходом на свободную поверхность.

Стандартное оснащение аппарата: подсистема управления движением – автопилот; навигационная система; подсистема связи и обмена ин-

формацией с Центром управления; подсистема заряда аккумуляторных батарей; контрольно-аварийная подсистема; СТД-модуль (удельная электропроводность, температура и давление воды).

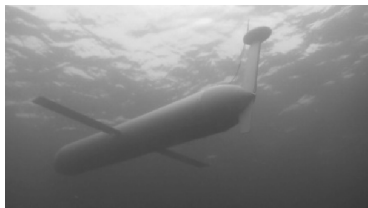


Рис. 1. Подводный глайдер «МАКО»

Модульное построение аппарата предусматривает установку дополнительного оборудования: видео- и фотокамер, гидролокаторов бокового обзора различных частотных диапазонов, доплеровского лага, профилирующего многолучевого гидролокатора/батиметра, измерителя скорости звука в воде, магнитометра, гидрохимического модуля и пр.

При возникновении аварийной ситуации приводится в действие система аварийного всплытия с подачей светового, гидроакустического и радиосигнала с координатами местонахождения аппарата.

Программное обеспечение обладает развитыми функциями контроля и предупреждает оператора о потенциально опасных ситуациях, отслеживает текущие запасы энергии аккумуляторных батарей и корректирует поведение аппарата в случае непредвиденных ситуаций.

Для связи и обмена информацией с Центром управления используется GSM модем системы сотовой связи MTSMC-G-F1.

Для непосредственной связи с пунктом управления, расположенном на судне сопровождения, использована система ZigBee модемов, позволяющих установить обмен данными на высокой скорости на расстоянии более 1500 м.

Для приёма сигналов орбитальной спутниковой группировки системы глобального позиционирования использован GPS-модуль EB-500 с активной антенной компании Transystem.

Основные технические характеристики: рабочая глубина – до 1000 м; вес в воздухе – 45 кг; длина – 2 м; диаметр корпуса – 0,24 м; размах крыльев – 1,3 м; масса полезного груза – до 5 кг; автономность – до 60 сут.; скорость хода – до 0,5 м/сек; точность навигации – 0,5% от дистанции; тип источника питания – литий-ионная батарея; материал прочного корпуса – алюминиевый сплав.

2. Волновой глайдер – дистанционно управляемая платформа для наблюдений за океаном (рис. 2).

Состоит из двух связанных между собой кабелем частей – надводной и подводной.

Надводная часть плавает на поверхности. Изготовлена из стеклопластика с наполнением из пенопласта. Имеет длину 3,6 м и ширину 0,6 м. Имеет встроенную систему измерений океанографических и метеорологических параметров: характеристик волн, температуры и солёности воды, концентрации солей и растворённого в воде кислорода. Здесь же установлены миниатюрная метеостанция и солнечные панели.



Рис. 2. Волновой глайдер

Подводная часть представляет собой специальное устройство для преобразования энергии волн в энергию поступательного движения вперёд. Снабжена свободно поворачивающимися плавниковыми движителями (крыльями), которые, используя энергию набегающей волны, двигают подводную часть вперёд и тянут за собой надводную часть. Состоит из вертикальной рамы, имеющей сквозные профилированные окна, в которые на шарнирах вставлены шесть свободно переключаемых крыльев. Крылья плоские, выполнены из трехслойного алюминий-пластикового композита толщиной 3 мм. Общая площадь крыльев – 0,48 м². Профиль окон позволяет изменять угол переключивания крыльев в диапазоне $\pm 35^\circ$.

В нижней части рамы закреплен цилиндрический герметичный прочный корпус полезным объёмом 3 л для размещения электронной исследовательской аппаратуры. В кормовой части рамы аппарата размещена рулевая машинка с рулём направления.

В состав электронного оборудования входят: подсистема управления движением (автопилот), подсистема измерения заданных параметров океанологических полей, подсистема связи и обмена информацией с

Центром управления, подсистема навигации, подсистема аккумуляции электроэнергии.

Основные технические характеристики: скорость перемещения – до 1,5 м/сек; длина подводной части – 1230 мм; размах крыльев – 800 мм; масса подводной части – 15 кг; объем/масса полезного груза – 2 л/2 кг; запас автономности плавания – неограниченный.

3. Аппарат морской разведки – Многофункциональный Автономный Необитаемый Надводно-Подводный Аппарат (МАННПА) (рис. 3).

Аппарат представляет собой маломерное судно-робот в блочно-модульном исполнении с электроэнергетической установкой, состоящей из литиево-ионной аккумуляторной батареи и двух гребных электродвигателей, способное перемещаться в трёх различных режимах: в режиме глиссирования по поверхности воды для быстрого выхода в заданную точку акватории; в водоизмещающем режиме при выполнении заданной миссии; в режиме подводного плавания для детального обследования подводных объектов, химического анализа придонных вод и пр.



Рис. 3. МАННПА в режиме подводного плавания

Системы аппарата включают в себя: подсистему управления движением (автопилот), информационно-измерительную подсистему, подсистему связи и обмена информацией с Центром управления, подсистему навигации, подсистему изменения плавучести, уравнительно-дифференциальную систему, систему энергопитания, контрольно-аварийную подсистему.

В силу своей универсальности аппарат может использоваться: для сбора гидрографической, батиметрической и пр. информации; для ведения гидроакустической разведки; для поиска, обнаружения, идентификация донных объектов; может использоваться в качестве надводной части волнового глайдера, а также для быстрой и скрытной доставки малогабаритных автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) в заданный район акватории.

Основные технические характеристики аппарата: длина 1700 мм; ширина 650 мм; высота корпуса 400 мм (с килем 800 мм); водоизмещение 0,1 м³; скорость экономичного хода – 3 узла; глубина погружения – до 100 м.

Все указанные аппараты успешно испытаны в натуральных условиях на р. Волга. На основании полученных результатов проводится необходимая модификация проектов.

УДК 62-519

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО И ПОВОРОТНОГО ДВИЖЕНИЙ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА С ГИБРИДНЫМ ДВИЖИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Гладкова О.И., Вельтишев В.В., Егоров С.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет), 105005, г. Москва, 2-я Бауманская д. 5 стр. 1, 8 (499) 263-61-15, sm42@sm.bmstu.ru

Paper presents a mathematical model of curvilinear motion of remotely operated vehicle with a hybrid propulsion system. The model takes into account design efforts, movement features and conditions of working environment. The results of model are confirmed by field test results.

В данной работе представлена математическая модель прямолинейного и поворотного движения телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) с гибридным движительным комплексом (или гибридного телеуправляемого необитаемого подводного аппарата – ГТНПА [1]), применяемого для обследования протяженных подводных конструкций, таких как корпуса судов, плотины и внутренние поверхности ядерных реакторов.

Он представляет собой систему, пространственное движение которой в среде осуществляется за счет использования как традиционных

для подводных аппаратов движителей с гребными винтами (винтомоторными агрегатами – ВМА), так и колесных движителей. Такой подход к построению ГТНПА позволяет обеспечить фиксированное положение аппарата на обследуемом объекте с заданной высокой точностью. При этом для перемещения в толще воды и стабилизации заданных угловых положений аппарата используются движители с гребными винтами, а для изменения положения на обследуемой поверхности – дополнительные движители (колеса или гусеницы), гарантированный контакт которых с опорной площадкой может быть осуществлён вертикальными ВМА.

Создание системы управления движением ГТНПА является новой задачей. Для её решения необходимы предварительные исследования, выполняемые на основе математической модели криволинейного (прямолинейного и поворотного) движения аппарата данного класса. На сегодняшний день в открытой печати подобные модели представлены не были. В связи с этим в данной работе рассмотрена математическая модель движения ГТНПА на примере аппарата «Износ», созданного МГТУ им. Н.Э. Баумана (рис. 1).

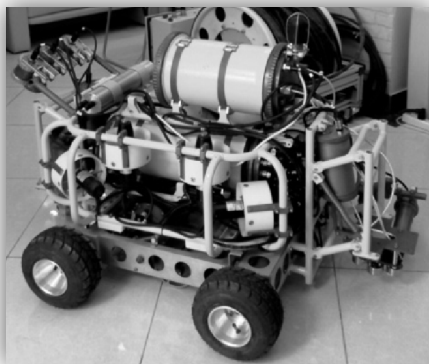


Рис. 1. Внешний вид ГТНПА «Износ»

Конструкция данного ГТНПА является наиболее наглядной и позволяет, не нарушая общности, исследовать принципиально свойства систем, в управлении движением которых участвуют различные типы движительных комплексов.

Аппарат включает в свой состав 4 вертикальных движителя с гребными винтами, 4 маршевых движителя с векторной схемой расположения и 4 колеса с отдельными приводами для осуществления движения

по обследуемой подводной конструкции. Сила прижима к опорной поверхности создается за счет вертикальных ВМА.

Построение математической модели движения ГТНПА выполнено с учетом особенностей аппаратов данного типа и с рядом допущений, которые не вносят существенных ошибок в результат.

Среди особенностей ГТНПА выделим следующие:

– для обследования подводных конструкций аппарат с измерителями дефектов должен обеспечить практически любое пространственное положение датчиков. Это требование может быть достигнуто как за счет специальных поворотных платформ, на которых размещены датчики дефектоскопии, так и за счет широких диапазонов угловых положений самих ТНПА. Более общим и универсальным является вариант с широкими диапазонами углов дифферента и крена, обеспечиваемых аппаратом [2];

– упоры вертикальных движителей в режиме перемещения аппарата по обследуемой поверхности могут быть различными. Они определяются в зависимости от нормальной реакции, которая необходима в точке контакта колесного движителя с опорной поверхностью;

– горизонтальные движители в режиме движения аппарата по опорной поверхности могут обеспечить дополнительный момент для осуществления поворота по курсовому углу и использоваться для компенсации действующего течения.

В математической модели рассматривается движение аппарата с нулевой метацентрической высотой и нейтральной плавучестью по гладкой недеформируемой горизонтальной поверхности, колеса – идеально жесткие, что обусловлено спецификой работы в водной среде.

Результаты моделирования прямолинейного и поворотного движения ГТНПА для различных условий движения согласуются с результатами экспериментов, проведенных в процессе натурных испытаний аппарата «Износ». На основании этого можно сделать вывод об адекватности разработанной математической модели и её пригодности для дальнейшего построения системы управления движением аппаратов данного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вельтищев В.В.** Роботизированная технология освидетельствования подводной части судна / В.В. Вельтищев, С.А. Егоров и др. // Подводные исследования и робототехника: научно-технический журнал о проблемах освоения мирового океана. Владивосток: Дальнаука, 2016. №1(21). С. 15–23.

2. Лямина Е.А. Особенности построения системы управления угловым положением подводного аппарата с учетом перекрестных связей между каналами для больших углов крена и дифферента / Е.А. Лямина, С.А. Егоров // Управление в морских и аэрокосмических системах (УМАС-2016): Материалы конференции / АО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор». – СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор», 2016. – С. 183–190.

УДК 629.584

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖИТЕЛЕМ ПОДВОДНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Костенко В.В., Михайлов Д.Н., Толстоногов А.Ю.

*Институт проблем морских технологий ДВО РАН,
ул. Суханова, 5а, 690091, г. Владивосток,
8 (423) 243-24-16, imtp@marine.febras.ru*

The report provides an analysis of the most relevant thruster control methods: control of torque, control of speed and control of thrust. Dynamic characteristics of the methods were compared and analyzed.

Введение

подавляющее большинство действующих подводных робототехнических комплексов, как телеуправляемых так автономных, оснащено гребными движителями как основным средством маневрирования в толще воды. Качественный метод управления упором движителя напрямую влияет на качество позиционирования и динамику подводного аппарата. При этом движитель представляет собой сложную нелинейную систему, в которую входит множество параметров зависящих от как геометрических характеристик используемого винта, так и скорости и формы набегающего потока [1].

Цель данной статьи – получить и проанализировать переходные и частотные характеристики трех различных методов управления упором в различных условиях внешней среды на основе модели движителя в среде simulink.

Методология

Математическая модель движителя в данной статье рассматривается как совокупность математической модели вентильного электропривода постоянного тока представляющего собой апериодическое звено первого порядка и классической математической модели гребного винта (ГВ), вырабатываемый упор и генерируемый момент которого зависит от частоты вращения, а так же от скорости набегающего потока и условий среды [2]:

$$\begin{cases} M - M_n - M_p = J \frac{d\omega}{dt} \\ M = C_M \frac{(T_M p + 1) U_f}{R} \\ T = K_t(\lambda) \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \\ M_p = K_m(\lambda) \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^5 \end{cases}, \quad (1)$$

где M – момент, генерируемый вентильным мотором, ω – угловая скорость вала мотора, M_p – наведенный момент сопротивления ГВ, U_f – задаваемое контуром управления фазное напряжение на обмотках мотора, T – результирующий упор движителя, описание остальных характеристик указано в табл. 1.

Таблица 1. Описание коэффициентов мат. модели движителя

Характеристики вентильного мотора	Характеристики ГВ
M_n – момент потерь холостого хода	n – частота вращения ГВ
J – момент инерции мотора	D – диаметр ГВ
T_M – постоянная времени мотора	ρ – плотность воды
R – сопротивление якорной цепи	$K_t(\lambda)$ и $K_m(\lambda)$ соответственно коэффициент тяги и момента ГВ зависящие от относительной поступи λ

В соответствии с формулой 1 была разработана компьютерная модель движителя в среде simulink (рис. 1).

В качестве контуров управления тягой движителя были рассмотрены три различных метода управления:

Стабилизация оборотов

Данный метод представляет собой пропорционально-интегральный контур с обратной связью по текущей скорости вращения ГВ. При этом $T_{ref} = g(n_{ref})$, т.е. происходит предварительная стендовая калибровка упора движителя в зависимости от скорости вращения ГВ. Соответст-

венно при дальнейшей работе по данной калибровке вместо заданного упора стабилизируется соответствующая ей скорость вращения ГВ.

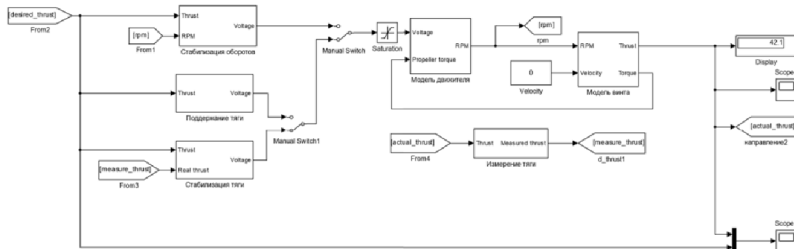


Рис. 1. Схема компьютерной модели двигателя ПА

Поддержание момента

Данный метод представляет собой широко используемый пропорциональный контур с упреждающим управлением по моменту, $T_{ref} = f(I_{ref})$. Таким образом, предварительная стендовая калибровка упора двигателя от подаваемого тока позволяет генерировать необходимый упор по калибровочной кривой тока мотора.

Стабилизация упора

Данный метод представляет собой пропорционально-интегральный контур с обратной связью по генерируемому упору. Данный метод представляет собой в данном случае «идеальный» метод управления двигателем, так как не требует дополнительных калибровок или лишних передаточных звеньев в системе управления, но является конструктивно сложным в реализации.

Результаты моделирования

В результате моделирования построенной системы были построены переходные графики для трех представленных систем управления при нулевой скорости набегающего потока (рис. 2) и при скорости набегающего потока 0.5 м/сек (рис. 3).

Как видно из полученных графиков, при отсутствии набегающего потока на двигатель модели управления различаются лишь скоростью переходного процесса, в то время как при ненулевой скорости набегающего потока фактически выдаваемая тяга сильно меняется в зависимости от типа метода управления. Это связано с тем, что, как метод стабилизации оборотов, так и метод поддержания момента, опирается на швартовые характеристики двигателей. При этом никак не учитывается

нелинейная зависимость коэффициентов $K_i(\lambda)$ и $K_m(\lambda)$ ГВ от скорости набегающего потока.

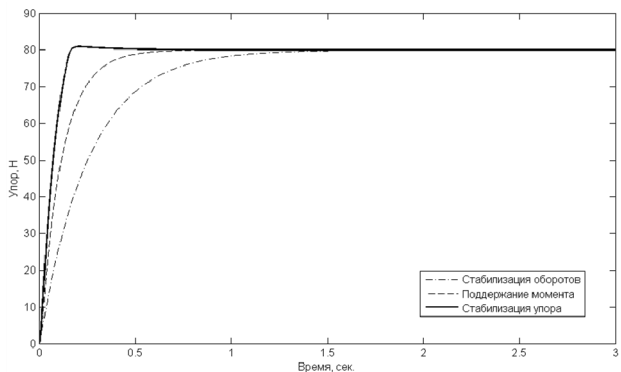


Рис. 2. Переходной процесс трех различных типов управления при $v=0$ м/сек

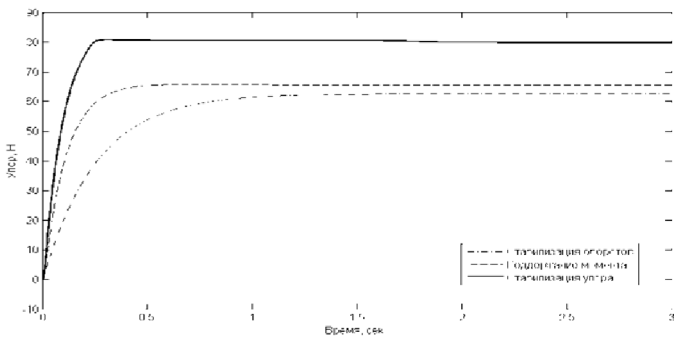


Рис. 3. Переходной процесс трех различных типов управления при $v=0.5$ м/сек

Вывод

Результаты моделирования показывают сильную зависимость динамических характеристик движителя от метода управления. Так же при движении ПА свыше 0.5 м/сек. наблюдается сильное несоответствие желаемой и действительной тяги движителя. Следовательно, для высокоточного управления аппаратом следует разработать методы измерения упора вырабатываемого движителем.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Костенко В.В., Михайлов Д.Н., Найдено Н.А.** Определение параметров гребного электропривода по результатам нагрузочных и бассейновых испытаний // Материалы 5-ой научно-технической конференции «Технические проблемы освоения мирового океана», Владивосток, 30 сентября – 4 октября 2013 г., стр.389-394, ISBN 978-5-8044-1409-3.
2. **Войткунский Я.И., Першиц Р.Я., Титов И.А.** Справочник по теории корабля. Л.: Судостроение, 1973.

УДК 629.584

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ИМПУЛЬСНОГО СВЕТА ДЛЯ ФОТОСИСТЕМЫ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Михайлов Д.Н., Бабаев Р.А., Воронцов А.В.

*Институт проблем морских технологий ДВО РАН,
ул. Суханова, 5а, 690091, г. Владивосток, 8 (423)243-24-16,
imtp@marine.febras.ru*

The paper presents a comparative analysis of artificial light sources required for photographing at large depth by autonomous underwater vehicle (AUV) regardless of ambient light.

В докладе представлен сравнительный анализ перспективных источников искусственного освещения, необходимых для осуществления фотосъемки на больших глубинах с применением автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). В силу того, что частота кадров при маршрутной фотосъемке зачастую не превышает 1 кадр/с, целесообразно использовать импульсный режим освещения, отличающийся повышенной экономичностью в сравнении с непрерывным.

Цель сравнения – определение предпочтительного источника импульсного света для фото системы подводного аппарата. Большой интерес представляют светодиоды с повышенным световым потоком в виду их повышенной надежности, широкого распространения и замены ими большинство существующих источников света.

Сравнение проводилось между импульсными лампами ИИП-3/35 и EG 4764, применяемыми в импульсных светильниках ИПМТ ДВО РАН,

а так же сборкой из 1290 светодиодов XLamp CXA2 компании CREE, выбранных по максимальному световому потоку среди светодиодов подобного класса. Количество светодиодов в сборке подобранно таким образом, что бы их общий световой поток был близок к световому потоку импульсной лампы ИПП-3/35.

Для расчета электрических и световых характеристик искусственных источников света воспользуемся формулами [1, 2].

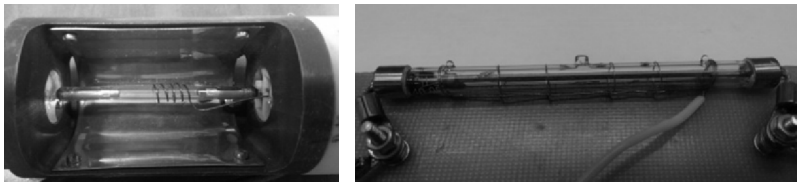


Рис. 1. Импульсные лампы ИПП-3/35 (слева) и EG 4764 (справа)



Рис. 2. Светодиод XLamp CXA2

Энергия разряда конденсатора рассчитывается по формуле [1]:

$$E = \frac{CU^2}{2}, \quad (1)$$

где E — энергия разряда конденсатора; C — ёмкость конденсатора; U — электрическое напряжение на конденсаторе.

При расчете энергии разряда для каждой лампы применялись конденсаторы, обеспечивающие наилучшие характеристики импульсного светильника (150мкФ для ИПП-3/35, 2×330мкФ для EG 4764).

Мощность светового потока рассчитывается по формуле [1]:

$$E_\phi = \frac{E}{t}. \quad (2)$$

где E_ϕ — мощность светового потока; t — длительность импульса.

Для расчета светового потока используем соотношение [2]:

$$\Phi_U(\lambda) = K_m * V(\lambda) * \Phi_e(\lambda) \quad (3)$$

где $V(\lambda)$ — относительная спектральная световая эффективность монохроматического излучения, имеющая смысл нормированной в максимуме на единицу чувствительности среднего человеческого глаза при дневном зрении (0,35 по спецификации ламп); K_m — коэффициент, величина которого определяется используемой системой единиц. В системе СИ этот коэффициент равен 683 лм/Вт; $\Phi_e(\lambda)$ — поток излучения, который в нашем случае принимается за мощность светового потока E_Φ .

Для расчета мощности светового потока светодиодной сборки используется формула (3), где $K_m * V(\lambda) = 127$ лм/Вт (по спецификации светодиода XLamp CXA2).

Таблица 1. Расчетные характеристики ламп ИНП-3/35, EG 4764 и сборки из 1290 светодиодов XLamp CXA2

№	Наименование характеристики	Значение		
		ИНП-3/35	EG4764	CXA2
1	Марка импульсной лампы	ИНП-3/35	EG4764	CXA2
2	Напряжение питания, В	350	350	72
3	Средняя мощность, Вт	10	45	17
4	Энергия разряда, Дж	9	40	15
5	Минимальный период вспышек, с	1	1	1
6	Длительность импульса, мкс	100	100	100
7	Мощность светового потока, кВт	90	400	153
8	Световой поток, лм	$21,5 \cdot 10^6$	$95,6 \cdot 10^6$	$19,4 \cdot 10^6$
9	Количество циклов разряда	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$	не ограничено

В результате проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

Несмотря на меньший световой поток в сравнении с ИНП-3/35, средняя мощность потребления светодиодной сборки выше на 70%.

В качестве недостатка светодиодной сборки можно отметить ее габариты (1200×1200 мм), обусловленные большим количеством светодиодов (1290 шт.) необходимых для достижения требуемого светового потока.

По совокупности характеристик предпочтительным источником импульсного света для фотосистемы подводного аппарата являются импульсные газоразрядные лампы

ЛИТЕРАТУРА

1. **Зельдин Е.А.** Импульсные газоразрядные лампы и их схемы включения. Москва – Ленинград: издательство «Энергия», 1964. 48стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 523).
2. **Гуревич М. М.** Фотометрия (теория, методы и приборы). – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. 272 с.
3. **Стропцов Н.А., Груздев М.А.** Средства подводного освещения. – Л.: Судостроение, 1985. – 200 с.

УДК 551.46.077

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДВУХ ТЕЛ С ГИБКОЙ СВЯЗЬЮ С ПОМОЩЬЮ МНОГОЗВЕННОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКЕАНОТЕХНИКИ

Зарецкий А.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский просп., 36, 8(499) 129-27-45
zaretsky@ocean.ru, <http://ocean.ru>*

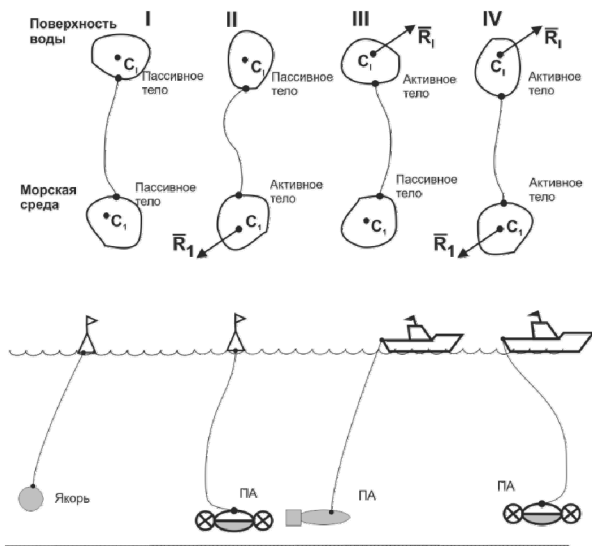
In this work an attempt to obtain a fairly complete mathematical model of the dynamics of the considered mechanical system is done on the basis of analytical mechanics in multiply systems with holonomic connections. The model is made in the form most convenient for implementation on a digital computer

При решении океанологических промышленных и научно-исследовательских задач характерно использование технических комплексов, представляющих собой многосвязные механические системы. Такими задачами являются буксировка надводных и подводных судов, постановка сложных буйковых станций на течении, задачи глубоководного траления, взаимодействие подводных аппаратов и роботов с обеспечивающим судном и ряд других задач. Технические системы, выполняющие указанные задачи, в самом общем случае, можно представить, при соответствующих допущениях, как совокупность абсолютно твердых тел с голономными и неголономными связями. Конфигурация таких систем может быть достаточно сложной, обладающая как структурой дерева, так и кольцевой структурой.

Из всего многообразия морских технических систем достаточно обширный класс может быть определен как механическая система двух твердых тел с гибкой связью. К решению задачи поведения двух тел с гибкой связью в океанической среде сводятся такие операции, как буксировка поврежденного судна, буксировка бурильных платформ несколькими буксирами, буксировка над дном океана носителей океанографической аппаратуры, установка буйковых станций на течении и др. Возможные приложения задачи двух тел с гибкой связью в океанологической практике представлены на рис. 1. В зависимости от наличия активных движителей на устройствах, входящих в состав данных систем, весь класс систем можно разделить на три типа: полностью пассивная система, в которой ни одно из двух тел не обладает движителями, активная система, в которой оба тела имеют движители и система комбинированного типа.

Задача двух тел с гибкой связью была впервые рассмотрена И.Ньютоном. В работе [1] исследовался удар двух упругих тел, связанных нерастяжимой невесомой гибкой нитью. Поведение минного буйрепа на течении исследовал А.Н.Крылов [2]. В более общей постановке взаимодействие двух тел через нить рассмотрели П.В.Воронец и Г.К.Суслов [3, 4]. Они решили задачу динамики двух вращающихся твердых тел, связанных нитью. Наиболее полно данные вопросы исследовались В.В.Добронравовым [5] для определения динамических характеристик двух симметричных вращающихся твердых тел с неподвижными полюсами /составных спутников/. К настоящему времени достаточно подробно изучены отдельные элементы составляющие механическую систему двух тел с гибкой связью в приложении к морской практике. Общеизвестны работы по теории судна, подводных аппаратов; имеется многочисленная литература, посвященная описанию поведения кабель-троса и др. Различие в исходных предпосылках, математическом аппарате составления моделей не позволяют полностью оценить все многообразие взаимодействий отдельных частей системы. Поэтому, представляется целесообразным создание математической модели механической системы двух тел с гибкой связью с единых позиций на основе аналитической механики многосвязных систем.

Однако до настоящего времени не существует общего решения задачи взаимодействия двух тел через гибкую нить. В данной работе делается попытка получить достаточно полную математическую модель динамики рассматриваемой механической системы на основе аналитической механики многосвязных систем с голономными связями (более подробно методика построения модели описан в работе [6] и др.). Модель составляется в форме наиболее удобной для реализации на ЦВМ.



I – буй на плавучем якорь; II – подводный аппарат с выброшенным на поверхность моря буюм связи; III – буксировка подводного аппарата судном; IV – привязной телеуправляемый подводный аппарат, имеющий связь с обеспечивающим судном через кабель-трос. Механическая система IV принадлежит к активному типу систем, I – к пассивному, а системы II и III к комбинированному типу. Управляющие силы \bar{R} приложены к центрам инерций C активных тел

Рис. 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ньютон И.** Всеобщая арифметика. Пер. с лат. Изд. АН СССР, 1948. 442 с.
2. **Крылов А.Н.** О равновесии шаровой мины на течении. Собр. тр. т. IX часть II. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1949. С.183–202.
3. **Суллов Г.К.** Теоретическая механика. ГЛ.-Л.: ГИТТЛ, 1944. 655 с.
4. **Минаков А.П.** Основы механики нити. Труды моек, текст, ин-та, т. IX. Вып. I. ГИЛЛ, М.-Л., 1941. 87 с.
5. **Добронравов В.В.** Основы механики неголономных систем. – М.: Высшая школа, 1970. 272 с.
6. **Зарецкий А.В.** О методе решения задачи двух тел с гибкой связью с помощью многозвенной аппроксимации в приложении к океанологической практике. – Деп. в ВИНТИ N2028-82.1982. 27 с.

О СОЗДАНИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОДВОДНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Зарецкий А.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский просп., 36, 8(499) 129-27-45
zaretsky@ocean.ru, <http://ocean.ru>*

Computer modeling is an effective tool for studying the physical phenomena occurring in the operation of underwater robots and robotic systems. Simulation of real processes on the computer to the extent sufficient to study the behavior of the studied object is meant to be computer simulation. The aim of computer modeling is to give recommendations for developing standardized subsystems and technologies of underwater robots, in particular intellectual management systems.

1. Цель и задачи компьютерного моделирования подводной робототехнической системы (РТС)

Компьютерное моделирование является эффективным средством исследования физических явлений, происходящих в процессе функционирования подводных роботов и робототехнических систем. Под компьютерным моделированием понимается имитирование на ЭВМ реально протекающих процессов в степени, достаточной для изучения поведения исследуемого объекта.

Целью компьютерного моделирования является составление рекомендаций для разработки унифицированных подсистем и технологий создания подводных роботов и РТС, в частности интеллектуальных систем управления.

Для осуществления поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- создать компьютерную модель РТС, включающую в себя модель робота и модель внешней среды;
- с помощью компьютерного моделирования исследовать режимы функционирования унифицированных подсистем и РТС в целом при выполнении ими типовых задач;

– составить рекомендации для разработки унифицированных подсистем и технологий создания подводных роботов и РТС, в частности интеллектуальной системы управления.

Предварительно следует сделать два замечания относительно методологии создания компьютерной модели.

Во-первых, построение модели желательно осуществлять в рамках классического подхода, при котором модель системы и среды строится на гипотезе о том, что состояние системы в бесконечно малой степени влияет на внешнюю среду и, следовательно, не меняет свойств последней.

Во-вторых, компьютерное моделирование целесообразно проводить в форме так называемого структурного моделирования, которое часто используется для исследования систем автоматического регулирования и других динамических систем [1]. При использовании этой формы в модели создается структура дифференциальных уравнений динамики системы. Структура дифференциальных уравнений отображает физическую структуру динамической системы, передаточные функции её звеньев, нелинейные связи так, что уже в процессе подготовки модели проявляются основные свойства исследуемого объекта.

Компьютерная модель в рамках структурного моделирования состоит в общем виде из математической модели (математического описания натурального процесса) и моделирующих устройств, т.е. технических средств представления природы. При практической же реализации компьютерная модель должна состоять из трех частей:

- математического обеспечения;
- программного обеспечения;
- технического обеспечения.

Математическое обеспечение представляет собой формализуемое описание природы, доведенное до практически реализуемых моделей и расчетных схем. Оно может включать в себя:

- системы дифференциальных уравнений, описывающих структуру и динамику объекта;
- набор алгоритмов функционирования составных частей (подсистем) и всего объекта в целом;
- описание внешней среды;
- описание внутреннего состояния объекта.

Программное обеспечение является практической реализацией математической модели на имеющихся вычислительных мощностях. Программное обеспечение можно разделить на базовое, т.е. неизменяемую его часть, которая не зависит от конкретного состава вычислительных средств, и изменяемую состав которой определяется при каждой реали-

зации типом используемой вычислительной платформы, набором внешних устройств, ЭВМ и другими факторами.

Техническое обеспечение представляет собой программно-аппаратную модель, состоящую из базовой ЭВМ и связанных с ней дополнительных внешних устройств. Последние могут быть либо частью природы, либо имитаторами отдельных подсистем исследуемого объекта. Программными средствами здесь являются операционная система ЭВМ, вспомогательные и сервисные программы.

Математическое обеспечение компьютерной модели подводной РТС состоит из:

- математической модели РТС;
- математической модели внешней среды.

В свою очередь, математическую модель РТС можно разделить на:

- динамическую модель (модель внешнего состояния);
- диагностическую модель (модель внутреннего состояния).

Динамическая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих структуру и динамику РТС в жидкости.

Диагностическая модель отражает внутреннее состояние РТС (режим функционирования подсистем) в виде матрицы состояния.

2. Динамическая модель РТС

2.1. Состав и структура РТС

Подводные РТС можно разделить на простейшие с одним исполнительным модулем (подводным аппаратом) и составные, с двумя и более модулями.

Общая классификация и подробное описание некоторых простейших РТС можно найти в работах [2,3]. Более полное определение подводных РТС, их детальная классификация, а также описание некоторых многомодульных РТС приведено в работе [4].

В обобщенном виде подводную РТС можно представить как погруженную в жидкость механическую систему твердых тел имеющую в своем составе гибкие связи. При этом твердыми телами являются надводные и подводные плавсредства (суда, баржи, понтоны, подводные лодки и др.), подводные аппараты (телеуправляемые, буксируемые, автономные) и вспомогательные устройства (заглубители, буи, плавучести, грузы и т.п.). Гибкими связями будут являться цепи, троса, канаты и т.п. С учетом вышесказанного, математическая модель подводных РТС может строиться в виде дифференциальных уравнений динамики системы твердых тел с гибкими связями в жидкости.

Прежде всего, следует провести анализ механических структур РТС. Однако, прежде, чем приступить к структурному анализу необходимо ввести некоторые ограничения на свойства предмета исследования. Эти ограничения следующие:

* Тела, входящие в РТС, например, такие как надводные и под водные плавсредства, подводные аппараты, буи, плавучести, грузы и т.п. объекты рассматриваются как абсолютно твердые, имеющие в общем случае 6 степеней свободы.

* Гибкие связи, например, такие как цепи, тросы, канаты и т.п. рассматриваются как абсолютно гибкие нерастяжимые (идеальные) нити. Под идеальной нерастяжимой гибкой нитью обычно понимают линейный материальный континуум, который может принимать произвольную форму в пространстве [5]. В идеальной гибкой нити существует только сила вдоль её касательной (сила натяжения), изгибающий и крутящий моменты отсутствуют. Если физико-механические характеристики гибкой связи не позволяют ее считать идеальной на малой длине, то всегда можно подобрать такую длину, при которой нить становится практически идеальной.

* Взаимодействие между телами системы осуществляется только через связи. Считается, что взаимное влияние тел друг на друга через среду мало и поэтому не учитывается.

* Как правило, РТС являются неконсервативными системами, так как в реальных условиях происходит активный энергетический обмен со средой (жидкостью).

Под подводной робототехнической системой будем понимать связанную механическую систему, состоящую из I твердых тел и J гибких идеальных связей, погруженную в жидкость. Минимальный состав системы включает одно твердое тело ($I=1$) и одну гибкую связь ($J=1$).

Каждая РТС обладает структурой и конфигурацией. Структура характеризуется количеством твердых тел (узлов) I и гибких связей J , а также способом (или порядком) их объединения в систему. Различают системы с неизменной во времени ($I+J=\text{const}$) и изменяемой структурой ($I+J=\text{var}$). Конфигурация определяет взаимное расположение в пространстве узлов и связей при неизменной структуре. Многообразие конфигураций, принимаемых системой, является пространством конфигураций.

С классификацией структур РТС и их перечнем более подробно можно ознакомиться в работе [6].

2.2. *Обобщенная математическая модель динамики подводной РТС.*

Создание математической модели механической системы с гибкими (неголономными) связями представляется чрезвычайно сложной зада-

чей. Даже при составлении уравнений движения и их решении для простейшего случая (известная задача двух тел с гибкой связью) возникают существенные затруднения.

Имеется возможность упростить задачу, путем сведения неголономных связей к голономным, что позволит широко применить аппарат аналитической механики системы твердых тел.

Следует добавить, что при этом связи в системе должны быть реомномны.

Как указывалось выше, основным структурным элементом РТС является система «гибкая связь + твердое тело». Осуществив голономизацию гибкой связи основного структурного элемента, можно получить голономную реомномную систему твердых тел. Голономизация гибкой связи осуществляется методом аппроксимации нити жесткими стержнями с идеальными сферическими шарнирами. Нить рассматривается как шарнирно-сочлененный многозвенник. Подробно этот метод изложен в [7]. В итоге РТС можно представить как связанную механическую систему твердых тел с голономными связями. При этом состав системы определяется метрическим тензором, а конфигурация отражается символом Кристоффеля.

3. Диагностическая модель РТС

Каждая РТС характеризуется составом и структурой. Диагностическая модель определяет состояние её составных частей. Будем рассматривать диагностическую модель РТС в виде матрицы состояния. Такое представление удобно для постановки модели на ЭВМ.

Предположим, что любая РТС состоит из модулей, систем и подсистем. Тогда матрицу состояния можно представить в виде трёхмерного объекта с одномерным основанием $A_{i,j,k}$. Состав матрицы состояния определяется набором модулей систем и подсистем из составленных перечней. Значения элементов матрицы зависят от состояния подсистемы, которое, в свою очередь, фиксируется в виде значений регистрируемых параметров подсистемы. Содержание матрицы отражает конкретный режим функционирования РТС. Область допустимых состояний матрицы является областью функционирования систем и подсистем РТС.

Определив эту область, можно автоматизировать процесс принятия решений о функционировании РТС в рамках экспертной системы. Подробно о формировании диагностической модели для разных вариантов РТС [8].

Диагностическая модель встраивается в общую компьютерную модель подводного РТС. В соответствии с содержанием диагностической

модели в процессе моделирования осуществляется периодический опрос состояния систем и подсистем, затем по данным опроса заполняется матрица $A_{i,j,k}$. В зависимости от содержания матрицы принимается решение о режиме дальнейшего функционирования РТС.

4. Модель внешней среды

Математическая модель внешней среды представляет собой пространственно-временное распределение выбранных параметров окружающего мира. Выбор параметров среды определяется степенью их воздействия на объект и возможностью формализации.

По отношению к объекту различаются упорядоченная, частично упорядоченная и неупорядоченная внешняя среда. В случае упорядоченной и частично упорядоченной среды система управления объекта имеет прогнозируемую с определенной степенью вероятности модель внешнего мира и способна в данной ситуации планировать поведение объекта на некоторый период, что позволяет сравнительно легко использовать оптимизационные алгоритмы. Для неупорядоченной среды имеется информация о ее настоящем (в момент измерения ее характеристик сенсорной системой объекта) и о прошлом (опыт). Система управления в этом случае должна в реальном масштабе времени реагировать на происходящие изменения, основываясь на приборетенном опыте и предварительно заданных граничных значениях параметров среды.

Математическая модель окружающего мира подводных РТС строится для неупорядоченной (по отношению к объекту) среды в виде параметрических зависимостей следующих переменных:

- координаты рельефа дна относительно абсолютной системы координат;
- локальный вектор скорости течения;
- плотность воды;
- время.

Модель среды может содержаться в архивных файлах. Каждый из них содержит данные о натуральных или виртуальных параметрах среды.

В процессе проведения ситуационного моделирования модель среды может быть стационарной или динамической. В динамической модели пространственное распределение параметров среды меняется во времени. Изменение параметров может подчиняться известному закону и быть алгоритмизировано. В случае, когда закон изменения параметров неизвестен или трудноформализуем, зависимости вектора скорости течения и плотности от координат строятся для последовательности дискретных моментов времени ΔT в рассматриваемый период и хранятся

в дополнительных архивных файлах. Среда в этом случае считается квазистационарной на шаге времени Δt .

5. Заключение

В статье предложена технология построения компьютерных моделей подводных робототехнических систем различного назначения, основанная на опыте создания необитаемых подводных аппаратов разных типов и многолетних теоретических исследований в области подводной робототехники.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тетельбаум И.М., Шнейдер Ю.Р.** Практика аналогового моделирования динамических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1987. 384 с.
2. **Филатов А.М., Зарецкий А.В.** Автономные подводные роботы. Аналитический обзор. – Деп. в ВИНТИ, N 1168-B94, 1994. 39 с.
3. **Зарецкий А.В.** Подводные телеуправляемые рабочие аппараты. Аналитический обзор. – Деп. в ВИНТИ N 2681-B91, 1991. 52 с.
4. **Зарецкий А.В.** Подводные робототехнические системы. Основные определения, классификация и применение. – Деп. в ВИНТИ, N1169-B94, 1994. 32 с.
5. **Минаков А.П.** Основы механики нити. – Труды моск. текстильного ин-та, т.IX, вып.1, ГИЛП, М.-Л.: 1941. 87 с.
6. **Зарецкий А.В.** Подводные тросовые системы. Классификация и анализ структур. – Деп. в ВИНТИ, N 2262-B94, 1994. 48 с.
7. **Зарецкий А.В.** О методе решения задачи двух тел с гибкой связью с помощью многозвенной аппроксимации в приложении к океанологической практике. – Деп. в ВИНТИ N 2028-82, 1982. 27 с.
8. **Зарецкий А.В.** Компьютерное моделирование подводных робототехнических систем. Деп. в ВИНТИ, № 1963-B96, 1996.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ
ПРОГРАММ «ПОДВОДНАЯ МЕХАНИКА» В ЧАСТИ РАСЧЕТА
СТАТИКИ ТРОСОВЫХ СИСТЕМ**

Зарецкий А.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский просп., 36, 8(499) 129-27-45
zaretsky@ocean.ru, <http://ocean.ru>*

The present program is a component of developing by the author over many years the software package «Underwater mechanics». This component allows to define shape and tension of the cable system in the vertical plane for two classes of objects – towed and moored systems. The addition of the information system and of the designer of submarine cable system configuration improves this program.

Программа расчета статического равновесия предназначена для определения пространственной конфигурации подводных объектов, содержащих гибкие связи (троса, буйрепы, кабели и т.п.) – подводных тросовых систем (ПТС). Традиционными видами ПТС являются заякоренные буйковые станции, буксируемые системы.

Любую механическую систему можно условно разделить на отдельные составляющие, примерно разделив их на твердое тело и голономизированную гибкую связь в виде цепочки твердых тел с идеальными связями [1]. При таких допущениях эту механическую систему можно рассматривать как систему абсолютно твердых тел с голономными связями. Набор таких механических составляющих представляет собой многомерный объект естественного движения.

Для формализации расчетов ПТС рассматривается как система абсолютно твердых тел с голономными идеальными связями. Гибкая связь при этом аппроксимируется шарнирно-сочлененным многозвенником. Используемый метод расчета основан на определении ориентации каждого тела в отдельности на базе аксиомы освобожденности от связи с учетом граничных условий с последующей компоновкой в исходную конфигурацию по геометрическим уравнениям связи (структурной матрице) при использовании условий неразрывности. На основе этого метода расчета соз-

дано соответствующее программное обеспечение. На рис. 1 и 2 представлены скриншоты визуализированных результатов расчетов для тяжелого и легкого тела.

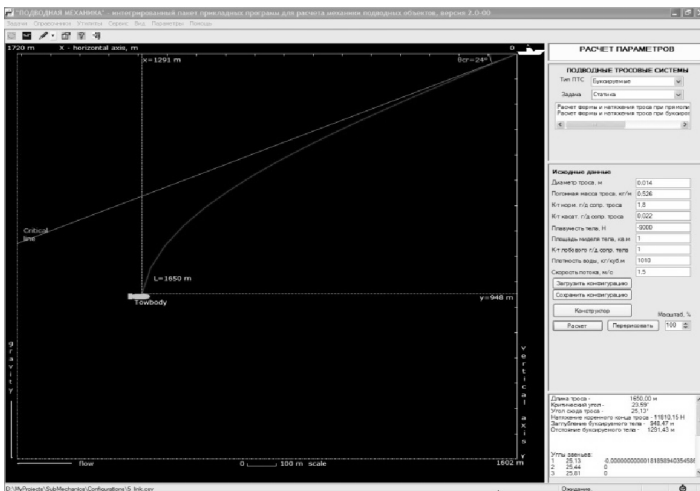


Рис. 1. Буксируемый подводный аппарат

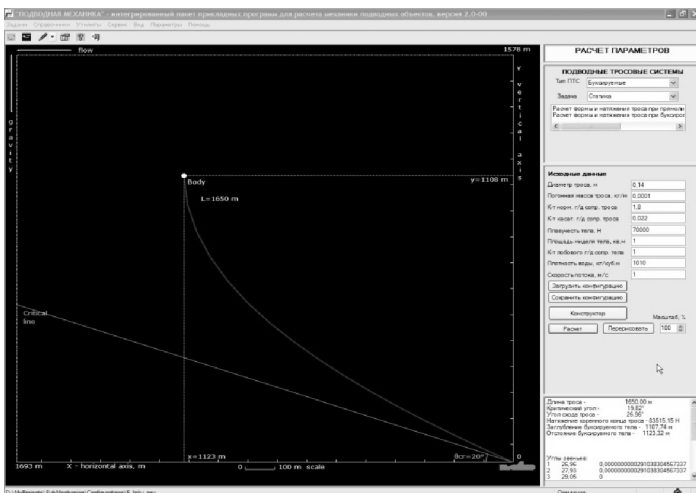


Рис. 2. Буксируемый буй

Представляемая программа является компонентой разрабатываемого автором в течение многих лет пакета прикладных программ «Подводная механика». Эта компонента позволяет определять форму и натяжение тросовой системы в вертикальной плоскости для двух классов объектов – буксируемых и заякоренных (закрепленных) систем.

Усовершенствованием программы является дополнением её информационно справочной системой и конструктором конфигураций ПТС. Скрин одного из элементов информационно-справочной системы приведен на рис. 3 и 4. На рисунке изображены два варианта кабельного круга впервые введенные **Springston G.B** [2] – для буксировки и буйрепов.

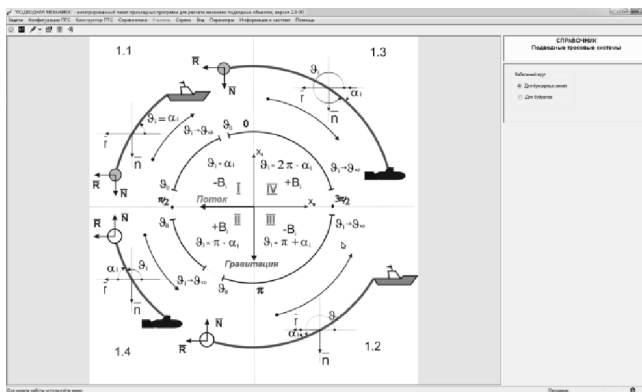


Рис. 3. Кабельный круг для буксирных линий

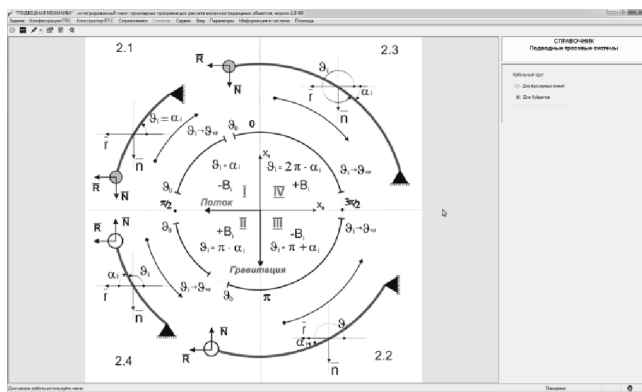


Рис. 4. Кабельный круг для буйрепов

С помощью подобной методики с использованием представляемой программы можно рассчитать статическую форму любой незамкнутой ПТС со структурой «дерева», komponуя конфигурацию из отдельных составляющих её участков «гибкая связь + твердое тело», используя встроенный конструктор конфигураций.

Программа адаптирована для использования её на стадии проектирования подводно-технических средств, а также для оперативного планирования подводно-технических работ в процессе их выполнения. Достоверность получаемых расчетов неоднократно проверена в ходе проведения морских испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Зарецкий А.В.** Определение статического равновесия подводных объектов типа «гибкая связь + твердое тело» – Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011». Том II. – М.: АПР, 2011. С. 93–95.

2. **Springston G.B.** Generalized Hydrodynamic Loading for Bare Cables in Two-Dimensional Steady-State Configuration. – DTMB Report 2424, 1967.

УДК 551.46.08

БУКСИРУЕМЫЙ НЕОБИТАЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ ВИДЕОМОДУЛЬ ДЛЯ ОСМОТРОВЫХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Анисимов И.М., Белевитнев Я.И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
oceanbreak@gmail.com*

Paper presents submersible Videomodule device for underwater searching and shows the results of its work in Kara sea in 2016.

Задача поиска подводных объектов традиционно решается с помощью гидролокаторов бокового обзора (ГБО). Однако, когда объект обнаружен и уточнены его координаты, может возникнуть задача его визуального осмотра. На небольших глубинах с этим справляются телеуправляемые аппараты. Для решения этой задачи в глубоководных час-

тях океана в Лаборатории гидролокации дна Института океанологии РАН им. П.П.Ширшова был разработан буксируемый необитаемый подводный аппарат (БНПА) Видеомодуль (рис. 1).

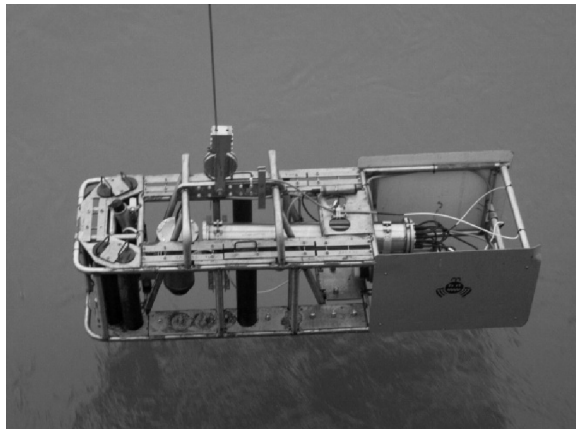


Рис. 1. Спуск БНПА Видеомодуль

Рабочая глубина погружения аппарата составляет 6 тысяч километров. Прибор оснащен камерой высокого разрешения и двумя дополнительными камерами, а также рядом датчиков. Передача видео и сопроводительных данных производится по оптическому кабель-тросу. Программное обеспечение судовой части комплекса позволяет получать в прямом эфире все три видеопотока и сопроводительные данные.

В докладе рассмотрены результаты работы прибора в 66-м рейсе НИС Академик Мстислав Келдыш в Карское море, и на основе их анализа обсуждается дальнейшее развитие оснастки прибора, крепление дополнительных датчиков и видеокамер.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Римский-Корсаков Н.А., Егоров А.В., Лискин В.А.** Технико-методические аспекты разработки автономного океанологического комплекса для экологического и ресурсного мониторинга акваторий / Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013». – М.: АПР, 2013. ISBN 978-5-904761-35-6. Т. 2. С. 290–294.

АВТОНОМНЫЙ ДРЕЙФУЮЩИЙ ПРОФИЛИРУЮЩИЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЙ БУЙ

Островский А.Г.¹, Леднев В.В.², Швоев Д.А.¹

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)1245983, osasha@ocean.ru*

²*ОКБ океанологической техники РАН, ул. Летняя, 1, к. 2, 109387, г. Москва,
8(495)3502612, 8(495)3500329, okb@edboe.ru*

This presentation deals with modification of the ARGO profiling float. The system that allows for change of the center of gravity of the float is used to rotate the float by 180° vertically at lowest depth of the float trajectory and at the ocean surface. This is needed to obtain proper measurements by the float sensors in the undisturbed waters at the float descend as well as at the float ascend. By this invention the modified ARGO float can deliver twice as more data as the conventional float.

Благодаря программе АРГО (ARGO) автономные дрейфующие ныряющие (профилирующие) буи («ocean profiling floats» или «Argo Profiling Floats») стали основным инструментом глубоководных измерений термохалинной структуры и климатических трендов в Мировом океане [1]. Уже через несколько лет после старта программы АРГО в конце 1990-х годов отношение количества вертикальных профилей солености, температуры и давления воды, полученных автономными профилирующими буями и судами, составляло 5:1 [2]. Значимость автономных буюв для исследований и мониторинга океана продолжает расти, что подтверждается финансированием новых крупнейших проектов, таких, например, как AtlantOS (<https://www.atlantos-h2020.eu/>), в целях оперативной океанографии и научных исследований Мирового океана.

Дрейфующие профилирующие буи выполняют несколько функций, главные из которых нижеследующие:

- проводят измерения вертикальных профилей океанологических характеристик;
- определяют скорость и направление переноса в системе течений на изопикнических поверхностях в водной толще в качестве квази-лагранжевых дрейфтеров;

– определяют свои географические координаты, находясь на поверхности воды, и передают данные измерений по каналам спутниковой связи.

Буй АРГО имеет цилиндрическую форму. На верхней крышке снаружи корпуса буя установлены океанологические измерители, включая датчики температуры, электропроводности и давления, а также антенны систем навигации и связи. В верхней части буя также расположена расширительная емкость для воздуха, который выкачивается из корпуса при всплытии к поверхности, чтобы приподнять антенны над водой. На нижней крышке снаружи корпуса буя расположена расширительная емкость для рабочей жидкости гидравлической системы погружения/всплытия. Для всплытия рабочая жидкость выкачивается в эту емкость из одноцилиндрового поршневого насоса, расположенного внутри корпуса буя, вследствие чего общий объем буя увеличивается и, соответственно, возрастает архимедова сила, выталкивающая буй вверх к поверхности воды. Для погружения рабочая жидкость закачивается обратно внутрь поршона, при этом объем буя уменьшается, архимедова сила становится меньше силы тяжести, и буй погружается в водную толщу. Большую часть рабочего цикла погружение/всплытие, как правило, до 10 суток, буй находится под водой на горизонте дрейфа, обычно заданном равным 1000 м или 2000 м. Рабочее положение буя — вертикальное. Конструкция одноцилиндрового поршневого насоса позволяет менять вес буя в воде с точностью до 10^{-3} кг. Такая точность необходима для выхода буя на заданный горизонт в толще воды. Дело в том, что вблизи горизонта 2000 м, который часто задан как горизонт дрейфа буя, вертикальный градиент плотности воды обычно незначителен, например, в северной части Тихого океана он составляет примерно $5 \cdot 10^{-3}$ кг/м³. В этих условиях буй АРГО типа АРЕХ, имеющий объем 25 л, при увеличении своей массы на 10^{-3} кг погружается на 12.5 метров. То есть, теоретически, ошибка в регулировке массы буя в $\pm 10^{-3}$ кг приводит в данном районе к погрешности выхода на горизонт дрейфа ≈ 10 м. На практике погрешность выхода на горизонт 2000 м буя АРГО часто достигает 50 м [3].

При работе с бумом АРГО большое внимание уделяется аккуратной балансировке буя с учетом вертикального распределения плотности воды и коэффициента термического расширения алюминиевого сплава корпуса буя при характерных значениях температуры воды в акватории дрейфа. Для профилирования в океане объем буя АРГО АРЕХ изменяется в пределах 260 см³. Буй поднимается медленно, поскольку архимедова сила частично компенсирована силой сопротивления движению буя в воде. На всплытие буя с горизонта 2000 м уходит 5–7 часов. Не-

большая скорость всплытия буя необходима для обеспечения высокой точности определений солености воды. На 90% буюв как APEX, так и AVROR, также работающих по программе APГО, устанавливаются измерители температуры, электропроводности и давления SBE 41/41CP CTD (до 1000 шт. ежегодно). Будучи установлены на верхней крышке корпуса буя, эти датчики позволяют проводить измерения в невозмущенной водной среде при подъеме буя к поверхности воды. Версия CP измерителя SBE CTD41 появилась в 2008 г. и представляет собой совершенный океанологический инструмент, обеспечивающий высокую точность и стабильность данных солености воды. Датчик электропроводности характеризуется точностью определения солености воды равной 0.005 практических единиц солености в течение 3 лет эксплуатации. Измеритель температуры, электропроводности и давления, а также датчик кислорода включаются только на участках подъема. На участках спуска термохалинные характеристики не регистрируются, главным образом, из-за того, что измерения проводятся в спутном следе над буюм и качество данных неизбежно снижается.

Таким образом, из-за того что измерители температуры, электропроводности и давления выключены на участках спуска буя, объем данных, которые могли бы быть получены за цикл погружение/всплытие уменьшен вдвое, хотя на спуск буя также затрачивается работа гидравлической системой погружения/всплытия. Следовательно, удельное количество данных, получаемых на единицу электрической емкости батареи, оказывается заниженным, что не рационально. Для того чтобы увеличить объем данных в 2 раза за цикл погружение/всплытие, буй должен всплывать датчиками вверх, а погружаться этими же датчиками вниз. В этом случае океанологические измерения будут проводиться в невозмущенной среде на всей траектории профилирования буя.

Нами решена задача перемещения буя датчиками вперед при профилировании в водной толще, за счет возможности его переворота в вертикальной плоскости на 180° в нижней и верхней точках траектории профилирования буя [4].

В оптимальных условиях буй должен переворачиваться в момент начала погружения или всплытия через бесконечно малый интервал времени после изменения знака собственной плавучести. Эти условия позволяют провести равноценные по качеству измерения полных вертикальных профилей термохалинных характеристик с помощью стандартного измерителя температуры, электропроводности и давления, например, SBE 41/41CP CTD, как на траектории подъема, так и на траектории спуска буя.

На практике нужно добиться, чтобы момент времени наступления состояния неустойчивого равновесия буя совпал с моментом перехода плавучести от положительной к отрицательной или наоборот, с учетом того, что вертикальные профили плотности воды меняются в зависимости от географического положения буя и сезона. Поэтому мы использовали дополнительную систему продольного перемещения балласта внутри корпуса.

С помощью системы управления мы добились синхронизации времени изменения положения центра масс с временем изменения положения центра вытеснения, что гарантирует переворот буя на 180° в нижней и верхней точках траектории профилирования независимо от плотности воды в акватории.

Исходя из этой модели мы максимизировали количество океанологических данных, получаемых за один рабочий цикл профилирования. При этом объем данных измерений возрос в 2 раза по сравнению с ближайшим аналогом - буюм АРГО.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Roemmich, D.** The Argo Project: Global ocean observations for understanding and prediction of climate variability / W.B. Owens // *Oceanography*. 2000. V.13. No.2. P. 5–50.

2. **Gould, J.** Argo profiling floats bring new era of in situ ocean observations / The Argo Science Team // *EoS, Transactions of the American Geophysical Union*. 2004. V. 85. No.19. P. 1.

3. **Barker, L.** Santa Clara University Closed – loop buoyancy control for a Coastal Profiling Float Mentor: Gene Massion Summer 2014 // Найдено 10.05.2015 в Интернет:

http://www.mbari.org/education/internship/14interns/2014_papers/Barker_Laughlin.pdf.

4. **Островский А.Г.** Автономный дрейфующий, профилирующий океанологический буй / В.В. Леденев, Д.А. Швюев // Заявка на изобретение регистрационный №2015150936/11 (078411) ФГБУ ФИПС от 27.11.2015.

НОВЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ПРОФИЛОГРАФОВ ПРИ ЗОНДИРОВАНИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ ПОД УГЛАМИ, БЛИЗКИМИ К КРИТИЧЕСКИМ

Душенин Ю.В.

¹ *НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ,
ул. Шевченко, 2, 347922, Ростовская обл., г Таганрог, 8(8634)39-30-75,
dyv-dsp@tgn.sfedu.ru*

The possibility of use the parametric antenna in sounding of bottom sediments at angles close to the critical and excitement in them of shear waves at difference frequency in echo sounder mode of operation are disclosed.

Эффективное применение параметрических профилографов для стратификации донных осадков (ДО) и обнаружения заиленных объектов обусловлено возможностью параметрических антенн (ПА), входящих в состав их излучающих трактов формировать в средах «вода – ДО» высоконаправленное излучение на низких частотах при малых габаритах исходных излучателей накачки [1].

В отличие от воды, ДО представляют собой среды, в которых присутствуют как продольная, так и сдвиговая составляющие скорости распространения акустических колебаний [2, 3]. Наличие нескольких компонент скорости в донных осадках дает возможность возбуждения различного типа волн при использовании ПА под углами близкими к критическим.

В работах [1, 4, 5] представлены экспериментально-теоретические исследования поля создаваемого ПА в многофазной среде «вода – ДО» при наклонном падении на границу раздела под углами, близкими к критическим.

Показано, что сформированные в воде продольные волны накачки и волны разностной частоты (ВРЧ) в ДО трансформируются в соответствующие сдвиговые волны.

В данном докладе представлены результаты, подтверждающие возможность работы ПА в ДО в эхолокационном режиме под углами падения к границе раздела, близкими к критическим.

Исследования возбуждения сдвиговых ВРЧ, формируемых ПА в ДО в эхолокационном режиме, проводились в лабораторном гидроакустическом бассейне. В качестве ДО использовались глина и песок.

На рис. 1 представлена геометрия эксперимента. На глубине 0,3 м в ДО были зарыты алюминиевые пластины размером 0,25×0,15 м, расположенные перпендикулярно к углам прихода сдвиговых волн. Приемная антенна ВРЧ крепилась к платформе излучающей антенны накачки.

Вначале экспериментальным путем была получена зависимость амплитуды давления сдвиговых ВРЧ от угла ввода колебаний к нормали границы раздела для каждого типа ДО. Из графиков рис. 2 видно, что наибольшая трансформация происходит в глине при углах падения $\alpha_0 \approx 74-78^\circ$, в песке $\alpha_0 \approx 65-72^\circ$.

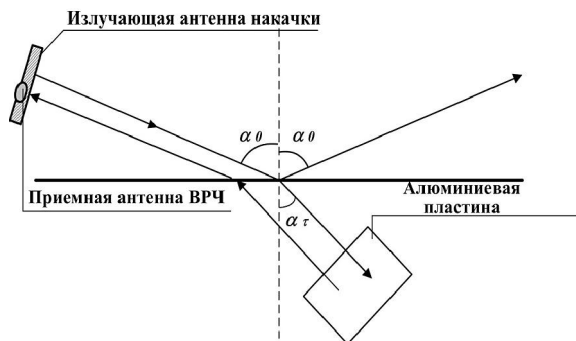


Рис. 1. Эхолокационный режим, геометрия эксперимента

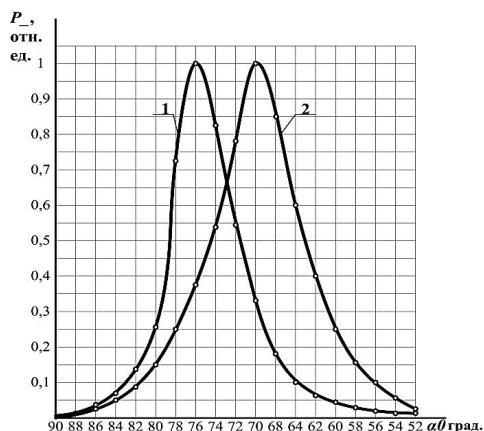


Рис. 2. Зависимость амплитуды звукового давления поперечных ВРЧ от угла ввода колебаний α_0 (1 – песок, 2 – глина)

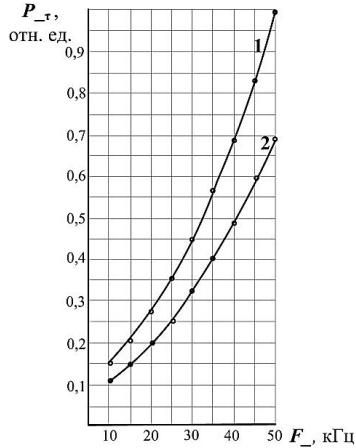


Рис. 3. АЧХ ВРЧ отраженных от объектов при возбуждении и трансформации в осадках сдвиговых волн (1 – глина, 2 – песок)

Далее, для данного режима получены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) ВРЧ, отраженных от объектов в глине и песке при возбуждении и трансформации в них сдвиговых волн. Из графиков, приведенных на рис. 3, видно, что АЧХ носит традиционный характер для параметрических профилографов (ПП).

Полное расстояние, пройденное сигналом до объектов и обратно, составило 2,7 м. При этом скорость сдвиговой ВРЧ в глине составила 350 м/с, в песке – 250 м/с. Скорости распространения сдвиговых ВРЧ в осадках определялись по временному признаку.

Преимущества использования такого режима эхолокации ПП, заключается в повышении разрешающей способности по дальности, что связано с возбуждением в осадках сдвиговых ВРЧ, обладающих малыми скоростями распространения в ДО.

Таким образом, предложенный метод эхолокации можно использовать в ПП для стратификации ДО и обнаружения в них различных инородных объектов с высокой разрешающей способностью по дальности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Душенин Ю.В., Рыбачек М.С. Исследование взаимодействия акустических волн на неоднородной границе раздела двух сред // Изв. высш. учеб. заведений. Электромеханика. – Новочеркасск, Изд-во НГТУ, 1995. – С. 30 – 32.

2. **Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П.** Теоретические основы акустики океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1982.– 264 с.

3. **Мюир Т. Дж.** Нелинейная акустика и ее роль в геофизике морских осадков / В кн.: Акустика морских осадков. – М.: Мир, 1977. – С. 227–273.

4. **Душенин Ю.В., Рыбачек М.С.** Возбуждение акустических волн параметрической излучающей антенной в неконсолидированных средах// Известия ТРТУ. Специальный выпуск. Матер. XLI науч.-тех. конф. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1997. – № 1 (4). – С. 114 – 118.

5. **Душенин Ю.В.** Исследование нелинейного взаимодействия сдвиговых акустических волн в донных осадках, возбуждаемых параметрической излучающей антенной на границе раздела// Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2015. – Т. 39 –№ 4–2 (39). С. 29.

КОНСТРУИРОВАНИЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ-РОБОТОВ «ПРО-2»

Артамонова А.В., Елкин А.В., Розман Б.Я.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова 117997, Москва,
Нахимовский проспект д.36 тел: (499) 1245996 факс: (499) 1245983.
E-mail artamonova@gnom-rov.ru*

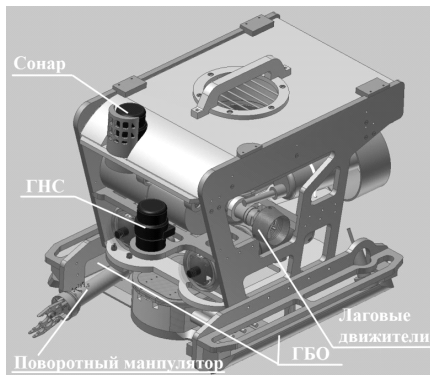
The article discusses creating and designing remotely for operated underwater vehicles PRO-2.

Спроектированы телеуправляемые подводные аппараты-роботы нового поколения ПРО-2, имеющие основные отличия от предыдущих моделей серии ГНОМ (СГ) ПРО:

- увеличенная в 1,5-2 раза мощность моторов,
- возможность работы на глубинах до 500 метров,
- новая система телекоммуникации и ретрансляции видео по одной витой паре до 400 метров длины кабеля,
- возможность установки и интеграции в систему гидролокаторов кругового и бокового обзора, системы подводной навигации, двухстепенного манипулятора (схват-поворот), дополнительных светильников и специального тросореза собственной разработки.

Методы проектирования и изготовления деталей для аппаратов описаны в статье «Методы конструирования и изготовления деталей». Материалы конференции МСОИ -2015, том II.

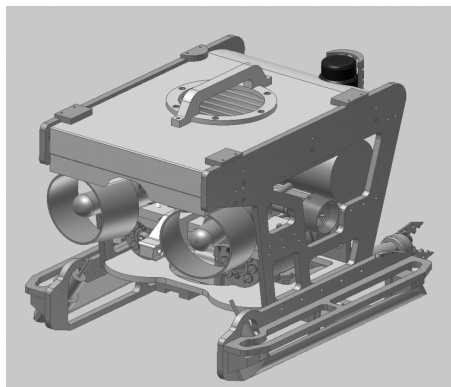
ТПА СГ ПРО-2 с модифицированными движителями и гидролокаторами бокового обзора (ГБО) Starfish. Гидролокаторы бокового обзора Starfish предназначены для поиска различных объектов на дне и в толще воды.



3D модель ТПА СГ ПРО-2 с модифицированными движителями и гидролокаторами бокового обзора Starfish и кругового обзора Micron.
Вид спереди

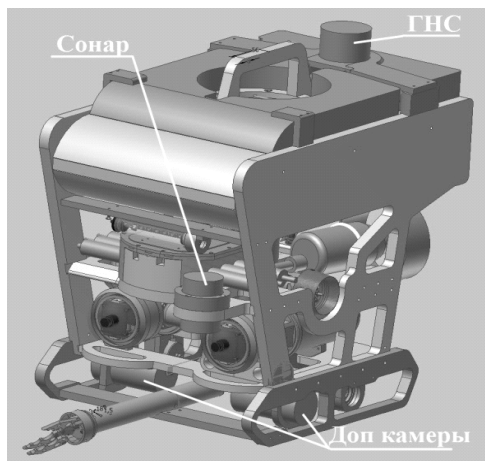
Данный аппарат может быть оснащен также гидролокатором кругового обзора типа Micron Tritech или Imagenex, гидроакустической навигационной системой (ГАНС) типа MicroNAV Tritech и поворотным манипулятором.

- Характеристики ТПА СГ ПРО-2 с ГБО.
- Вес аппарата на воздухе / Общий вес 22 кг / 80 кг
- Движители 3(5)
- Горизонтальные 2, 200 Вт
- Вертикальные 1 движитель, 200 Вт
- Боковые (опция) 2 движителя, 50 Вт
- Крейсерская скорость (вперед) до 2-х узлов
- Боковая скорость (опция) до 0.5 узлов
- Тяга горизонтальная 10 кгс
- Тяга вертикальная 5 кгс

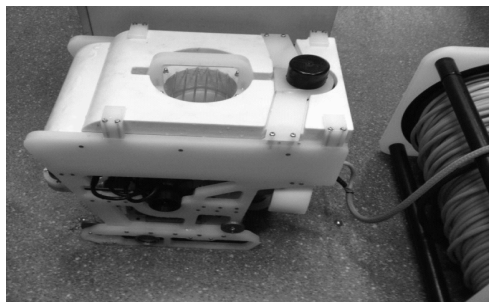


3D модель ТПА СГ ПРО-2 с модифицированными двигателями и гидролокаторами бокового обзора Starfish и кругового обзора Micron.
Вид сзади

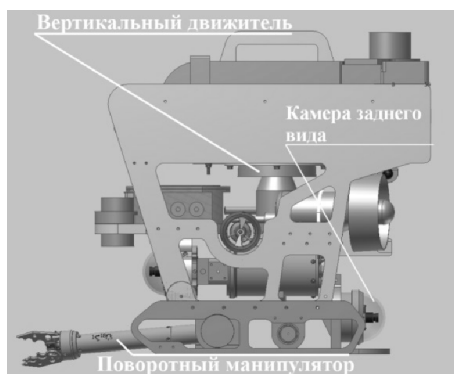
ТПА СГ ПРО-2 с модифицированными двигателями, и тремя дополнительными камерами – две боковые и одна задняя. Аппарат ориентирован на обследование гидротехнических сооружений, в том числе плотин ГЭС, способен погружаться на глубину до 300 метров.



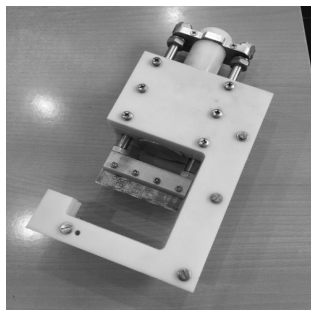
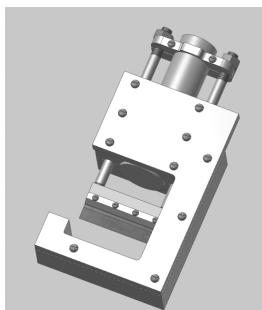
3D модель ТПА СГ ПРО с модифицированными двигателями, и тремя дополнительными камерами. Вид спереди



Опытный образец ТПА СГ ПРО-2 с модифицированными двигателями и тремя дополнительными камерами.



3D модель ТПА СГ ПРО с модифицированными двигателями, и тремя дополнительными камерами. Вид сбоку



Компьютерная модель тросореза. Реальный образец тросореза

ЛИТЕРАТУРА

1. Российская Академия наук, Российский Фонд Фундаментальных Исследований, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана – XIV Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований» – Москва, ИОРАН, 2015 г. Материалы конференции, том II.

Статья Артамонова А.В., Елкин А.В. «Методы конструирования и изготовления деталей».

РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА МЕТОДОМ МАКЕТИРОВАНИЯ

Васильчиков А.А., Елкин А.В., Розман Б.Я., Мысливец И.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр-т, 36, 117997, г. Москва, 8(499) 1245996*

Paper presents method of hydrodynamic coefficients calculation based on the results of model tests.

Для составления математической модели телеуправляемого подводного аппарата (ТПА) и последующего синтеза системы управления необходимо знать гидродинамический момент или силу сопротивления ТПА в зависимости от вида движения. В данной статье будем рассматривать движение ТПА по дифференту, то есть вращение аппарата вокруг поперечной оси (Z).

Гидродинамический момент сопротивления зависит от угловой скорости ТПА, эта зависимость имеет вид:

$$M_{ГZ} = -C_{z1} \omega_Z | \omega_Z | - C_{z2} \omega_Z, \quad (1)$$

где C_{z1} , C_{z2} , –приведенные гидродинамические коэффициенты.

Таким образом, задача определения зависимости $M_{ГZ}$ от скорости вращения ТПА ω_z сводится к поиску коэффициентов C_{z1} и C_{z2} .

Для получения необходимых гидродинамических коэффициентов удобно использовать CFD (computational fluid dynamics) пакеты, такие как SolidWorks Flow Simulation (далее SW FS). Но не всегда есть такая возможность.

Рассмотрим получение необходимых коэффициентов методом макетирования. Суть метода состоит в расчете этих параметров по результа-

там модельных испытаний. Для испытаний был сделан макет аппарата в масштабе 1:5 (рис. 1).

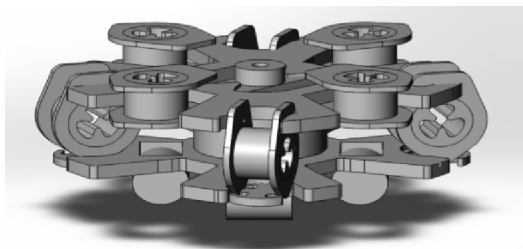


Рис. 1. Макет ТПА

К макету был присоединен двигатель MAXON (RE 40, 150 Watt, 218010) так, чтобы макет мог вращаться по дифференцу. Далее макет погружался в воду.

Напряжение питания двигателя менялось от 0 до 30В с шагом 2В, по показаниям амперметра снималось значение тока. По графику на рис. 2 снимались значения момента и частоты вращения, соответствующие значениям тока, эти данные представлены в табл. 1.

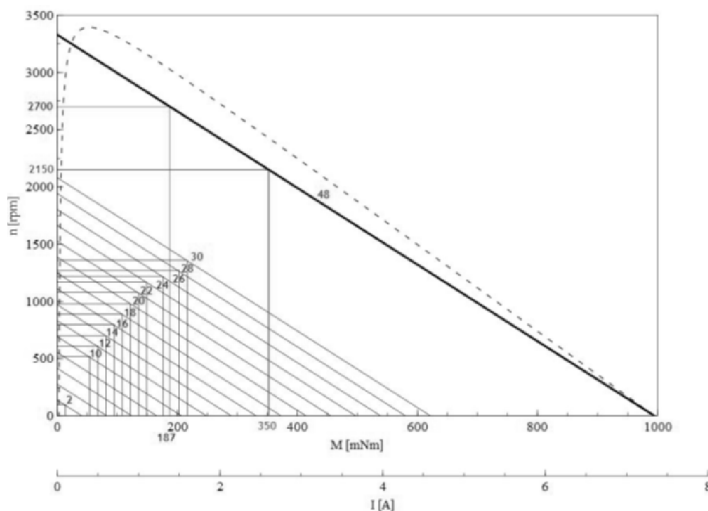


Рис. 2. График зависимости оборотов от момента

Таблица 1

U, [В]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
I, [А]	0,17	0,35	0,63	0,74	1,09	1,32	1,7	1,84	2,11	2,34	2,63	2,89	3,2	3,41	3,72
n, [об/мин]	50	100	140	180	210	240	260	280	300	320	335	350	365	380	390
M2, [мНм]	25	50	80	118	145	178	215	250	280	325	350	390	425	460	500

Далее необходимо было рассчитать значение момента для полномасштабного аппарата, для этого была получена формула переноса экспериментальных данных на реальный ТПА.

$$R = c \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S \cdot V^2, \quad M = c \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S \cdot (\omega \cdot r)^2 \cdot r, \quad [1]$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{c_1 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot b_1 \cdot r_1^4 \cdot \omega^2}{c_2 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot b_2 \cdot r_2^4 \cdot \omega^2},$$

$$b_1 = 5b_2, r_1 = 5r_2, c_1 = c_2,$$

$$\frac{M_1}{M_2} = 5^5,$$

$$M_1 = 3125 \cdot M_2, \quad (2)$$

где M_1 – значение момента для полномасштабного аппарата; M_2 – значение момента, полученное в ходе испытаний; r_1 и b_1 – длина и ширина полномасштабного аппарата соответственно; r_2 и b_2 – длина и ширина макета соответственно.

Используя формулу (2) получили M_1 для каждого M_2 . По полученным данным (табл. 2) была построена зависимость момента сопротивления M_1 от угловой скорости ω_z (рис. 3).

$C_3=0,955$ [Н·м·с²/рад²] – значение C_{z1} , полученное экспериментально;

$C_5=0,928$ [Н·м·с²/рад²] – значение C_{z1} , полученное в SW FS.

В данном эксперименте рассматривался только коэффициент C_{z1} при квадрате скорости, так как использование двигателя MAXON (RE 40, 150 Watt, 218010) не позволяет вращать макет на около нулевых скоростях.

Таким образом, мы видим, что результаты эксперимента довольно точно соответствуют результатам расчета модели в SW FS. Относительная погрешность измерений составляет $|0.955-0.928|/0.928 = 0,03$ (3%).

Таблица 2

U, [В]	I, [А]	n, [об/мин]	ω_z , [рад/с]	M2, [мНм]	M1, [Нм]
2	0,17	50	5,2	25	78,125
4	0,35	100	10,4	50	156,25
6	0,63	140	14,6	80	250
8	0,74	180	18,8	118	368,75
10	1,09	210	21,9	145	453,125
12	1,32	240	25,0	178	556,25
14	1,65	260	27,1	215	671,875
16	1,84	280	29,2	250	781,25
18	2,11	300	31,3	280	875
20	2,34	320	33,4	325	1015,625
22	2,63	335	35,0	350	1093,75
24	2,89	350	36,5	390	1218,75
26	3,18	365	38,1	425	1328,125
28	3,41	380	39,6	460	1437,5
30	3,72	390	40,7	500	1562,5

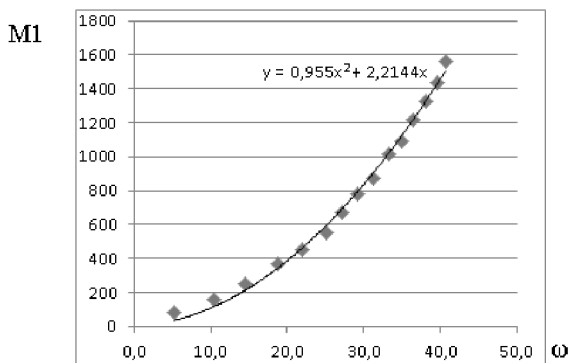


Рис. 3. График зависимости M_1 от ω_z

ЛИТЕРАТУРА

1. **Пантов, Е. Н.** Основы теории движения подводных аппаратов / Пантов Е.Н., Махинин Н.Н., Шереметов Б.Б. /Учебник – Л: Судостроение, 1973 г. 216 с.

V. ЭКОЛОГИЯ ОКЕАНА

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОН-ЛАЙН МОНИТОРИНГА ПОДВОДНОЙ ОБСТАНОВКИ

**Баранов В.И.¹, Зацепин А.Г.², Куклев С.Б.¹,
Очередник В.В.¹, Зинченко А.Б.¹**

¹ Южное отделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 8(86141)2-80-69, Просторная, 1Г, 353467, г. Геленджик-7, Россия, baranovwlad@mail.ru, kuklev@ecologpro.ru

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-63-92, zatsepin@ocean.ru

We present the construction of a multipurpose system of on-line monitoring of an ocean coastal zone parameters. Eight independent measuring stations could be connected to this system, which has a huge throughput capacity.

Для мониторинга параметров морской среды в режиме реального времени в ЮО ИО РАН разработана и внедрена многофункциональная система, функциональная схема которой представлена на рис. 1.

Эта система, за счет своей огромной пропускной способности (до 1 Гбод в секунду), имеет возможность подключения до 8-ми разных измерительных станций. При необходимости количество подключаемых станций может быть увеличено.

Станции, подключенные к системе, имеют разное назначение и не зависят друг от друга. Они выполняют измерение различных параметров и передают данные в береговой центр их обработки и хранения. Благодаря такому методу измерений мы имеем оперативную информацию о состоянии морской среды от дна до поверхности моря.

Важным элементом системы является проложенный по дну моря оптоволоконный кабель. Он обеспечивает передачу данных с различных приборов на дальнее расстояние на большой скорости. Благодаря огромной пропускной способности к системе можно подключить видеокамеру и акустическую станцию для измерения морского шума.

На данный момент к системе подключено только две станции, но и они уже несут важную информацию о состоянии морской среды. Они измеряют профили скорости течения и температуры воды. По этим дан-

ным можно судить о происходящих в водной среде процессах апвеллинга и даунвеллинга, вертикального перемешивания и других.

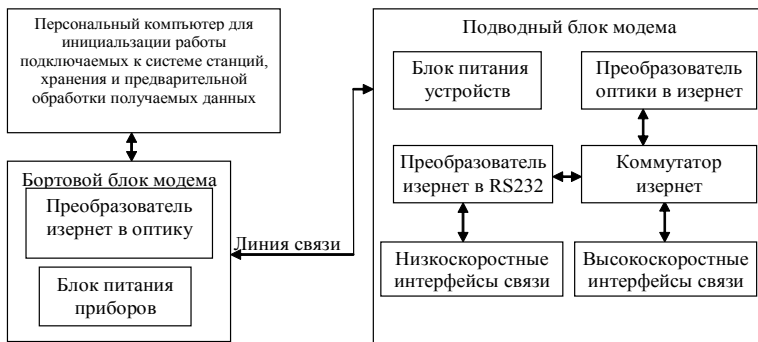


Рис. 1. Функциональная схема системы он-лайн мониторинга параметров водной среды прибрежной зоны моря



Рис. 2. Вид многофункциональной системы берегового он-лайн мониторинга

Создание системы осуществлено при финансовой поддержке проекта РФФ 14-50-00095, а подключаемых к ней станций измерения профилей скорости течения и температуры воды – при финансовой поддержке Программы 3 РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В., Низов С.С., Пиотух В.Б., Соловьев В.А., Швоев Д.А., Цибульский А.Л., Куклев С.Б., Куклева О.Н., Москаленко Л.В., Подымов О.И., Баранов В.И., Кондрашов А.А., Корж А.О., Кубряков А.А., Соловьев Д.М., Станичный С.В. Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря. // ФАО. – 2014. – №1. – С.16–29.
2. Техническое описание микроконтроллера ADuC848, 2003. – 68 с. [электронный ресурс]. URL: www.analog.com
3. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. // СПб. Питер, 2002. -608 с. ил.
4. «В интернет через Ethernet» [электронный ресурс]. URL <http://nag.ru/go/text/26280/>

УДК 581.526.325

ОНЛАЙН-ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПЕРВИЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ КАРСКОГО МОРЯ

Мошаров С.А.^{1,2}, Демидов А.Б.¹, Метальников А.А.¹,
Шеберстов С.В.¹

¹*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, 117997, г. Москва,
Нахимовский пр-т, 36, 8(499) 124-63-88, mosharov@ocean.ru*

²*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская, 5*

The report presents the data base for distribution of main parameters of marine environments (chlorophyll *a* and PAR) that determines primary productivity in the Kara Sea. The data base involves the maps of the parameter distribution on the sea surface during April-October 2002-2015 that formed from the satellite data by using the regional algorithms.

Разработана база данных о распределении основных параметров средьв Карском море, определяющих первичную продуктивность: концентрации хлорофилла «а» и фотосинтетически активной радиации

(ФАР). База данных включает в себя карты распределения этих параметров на поверхности Карского моря в период апрель-октябрь 2002-2015 гг., сформированные по спутниковым данным с помощью региональных алгоритмов.

База данных представляет собой средство для хранения в структурированном виде полученной информации в основных графических и текстовых форматах. Ее особенностями является неограниченная степень вложенности категорий и подкатегорий данных, возможность быстрого изменения и дополнения структуры базы данных в случае расширения круга задач, а также оснащение средствами резервного копирования и восстановления.

Средством отображения материалов, содержащихся в базе данных, является разработанный в рамках проекта автономный интернет портал, который расположен на выделенном сервере Института океанологии РАН. Портал построен по блочно-модульной схеме, что позволяет при необходимости в сжатые сроки существенно изменять функционал портала и форму представления данных. Портал оснащен функцией регистрации пользователей с широким спектром назначаемых прав доступа. Такое решение дает возможность ограничивать доступ к определенным категориям данных, а также устанавливать возможность просмотра части этих категорий только выбранным группам пользователей.

Важной особенностью интернет портала является наличие развитого административного интерфейса, который обеспечивает полный контроль функционирования портала для администраторов и возможность внесения изменений и дополнений в набор данных для пользователей с правами оператора.

Отличительной чертой административного интерфейса является использование интуитивно понятного интерфейса для работы с данными операторов (т.н. технология WYSIWYG). Это дает возможность привлечения к работе с данными широкого круга сотрудников, не обладающих специализированными знаниями для работы с интернет ресурсами, в том числе аспирантов и студентов.

В настоящее время основой представленной базы данных являются спутниковые данные сканера цвета океана MODIS-Aqua L2 уровня, включающие значения коэффициента яркости моря на разных длинах волн ($R_{rs}(\lambda_i)$) и ФАР (E_{in}/m^2 в день), полученные с сайта NASA www.oceancolor.gsfc.nasa.gov/ и обработанные с помощью программного обеспечения SMCS, разработанного в ИО РАН [1]. Известно, что стандартный алгоритм MODIS завышает величины концентрации поверхностного хлорофилла «а» (X_{l_0}) в водах второго оптического типа

(CaseII), к которому принадлежит значительная часть акватории Карского моря. Поэтому, для построение карт распределения этого параметра мы использовали региональный алгоритм расчета X_{L_0} [2]. Согласно этой модели наилучшая корреляция измеренных и расчетных величин хлорофилла «а» ($R^2 = 0.47$; $N = 185$) достигается при использовании отношения $R_{rs}(531) / R_{rs}(547)$:

$$\ln(X_{L_0}) = -3.66 \ln(R_{rs}(531) / R_{rs}(547)) + 0.116. \quad (1)$$

Данные по фотосинтетически активной радиации использовались как стандартный продукт сканера MODIS-Aqua. Анализ данных по ФАР для Карского моря показал систематическое завышения спутниковых величин ФАР ($ФАР_{sat}$) по сравнению с измеренными ($ФАР_{in}$). В среднем отношении $ФАР_{in} / ФАР_{sat}$ равнялось 0.64 ($N = 30$; $cv = 20\%$). Полученное эмпирическое отношение было использовано в качестве переходного коэффициента при построении карт распределения ФАР в Карском море.

Построенные карты распределения содержания хлорофилла «а» на поверхности и ФАР в Карском море в период апрель – октябрь 2002 – 2015 гг. используются для визуализации их пространственно-временной изменчивости. Среднегодовые значения этих параметров для каждого месяца, будут использованы для расчета интегральной первичной продукции (ИПП), получения годовых величин ИПП и исследования сезонной и межгодовой изменчивости этого показателя в Карском море.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Проект № 16-05-00050).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Sheberstov S.V., Lukyanova E.A.** A system for acquisition, processing, and storage of satellite and field biooptical data // Proceedings of IV international conference «Current problems in optics of natural waters», Nizhny Novgorod. 2007. P. 179 – 183.

2. **Кузнецова О.А., Копелевич О.В., Шеберстов С.В.** и др. Оценка концентрации хлорофилла в Карском море по данным спутникового сканера MODIS-AQUA // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С.21–31.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛИКАЙТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛОВЕЦКИХ БЕЛУХ

Беликов Р.А., Прасолова Е.А., Краснова В.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-59-65,
mirounga76@mail.ru*

A «lighter than air» system, based on a hybrid helium aerostat – a helikite, has being successfully applied to aerial video observations of Solovetsky beluga whales. The techniques of transporting high pressure (200 atm.) helium cylinders, storage of an inflated helikite and the use of the system from a boat in the sea and from the shore were developed.

Привязные беспилотные аэростаты не применялись ранее в России для исследования морских млекопитающих. Широкое распространение данных аппаратов сдерживалось сложностью их применения в удаленных, труднодоступных районах в связи с необходимостью использования гелия и весьма жесткими ограничениями по погодным условиям. Тем не менее, беспилотные тактические аэростаты имеют ряд неоспоримых преимуществ, среди которых – длительное время полета, бесшумность и безопасность [1]. В отличие от кайтов, аэростаты могут летать в безветренную погоду, а подъем оборудования на них является более безопасным [2]. К сожалению, традиционные малоразмерные (менее 35 м³) гелиевые аэростаты обладают слабой ветроустойчивостью: при ветре более 5 м/с они становятся нестабильными, начинают вращаться и прижиматься к земле, что крайне ограничивает их применение в реальных морских условиях.

Однако существуют гибридные аэростаты, сочетающие преимущества аппаратов разных типов и при этом практически лишенные их недостатков. Таковыми являются геликайты – змейковые гибридные гелиевые аэростаты с уникальными полетными характеристиками [3]. Геликайт представляет собой уплощенный гелиевый баллон, прикрепленный к крыльям каркасного килевого воздушного змея. При штиле полет геликайта обеспечивается аэростатической подъемной силой, однако уже при слабом ветре в 1.5–2 м/с существенную роль начинает

играть аэродинамическая подъемная сила, способствующая увеличению тяги. Киль геликайта при этом обеспечивает его стабилизацию при воздействии ветра. Таким образом, геликайты летают в более широком диапазоне ветров, чем традиционные аэростаты, они более стабильны и ветроустойчивы, при равном объеме гелия могут подниматься на большую высоту и нести полезную нагрузку большего веса [3].



Рис. 1. Привязная система на базе гибридного аэростата – геликайта

Для реализации пилотного проекта по отработке методики использования геликайта в прибрежно-морских условиях был выбран малоразмерный аппарат Skyshot 2.0. (Allsop Helikite, GB), предназначенный для низковысотной малоформатной фотосъемки. Объем аэростата равнялся 2 м^3 , грузоподъемность при штиле 500 г, при ветре 7 м/с – 3-4 кг, максимальная высота подъема без полезной нагрузки 200 м. Помимо геликайта в состав гибридной привязной системы (рис. 1) входила катушка и леер длиной 300 м из высокопрочного синтетического материала Дунеета с усилием на разрыв 200 кг, а также баллоны с гелием высокого (200 атм.) и низкого давления (24 атм.) общим объемом 4 м^3 , редуктор давления для гелиевого баллона и переходник между редуктором и клапаном геликайта. Полезная нагрузка крепилась двумя способами: 1) непосредственно к самому аппарату, используя карбоновый монопод и 2) к лееру, используя деревянную крестовину на подвеске Пикавета.

Тестирование показало, что БАС на базе малоразмерного геликайта проста, надежна, бесшумна и не оказывает беспокоящего воздействия

на белух. С ее помощью возможна синхронная съемка животных с высот разного уровня.

Наибольшую сложность в работе с системой на базе геликайта представляет ее транспортировка к месту работ. Сам геликайт в сложенном состоянии, а также катушка, леер и редуктор давления весьма компактны. Однако для приведения геликайта в рабочее состояние необходимо его наполнение гелием, транспортировка которого является основным лимитирующим фактором использования гелиевых азростатов в удаленных районах. Дело в том, что гелий обычно перевозится в баллонах высокого давления (150, 200, 300 атм.), которые относятся к категории опасных грузов. В результате, транспортировка баллонов высокого давления с гелием возможна либо специализированными компаниями, либо частным или арендованным транспортом.

В данном исследовании объем необходимого гелия оценили как рабочий объем (2 м^3) плюс компенсационный объем (2 м^3), равный рабочему. Фактически для наполнения геликайта и компенсации утечек гелия в течение примерно месяца потребовалось использовать один баллон высокого давления (10 л, 200 атм, 2.1 м^3) и два баллона низкого давления (24 атм., 0.24 м^3). Следовательно, для компенсации утечек за все время работ использовали примерно 0.5 м^3 гелия, что составляет четверть объема применяемого азростата. Согласно заявлениям производителя, утечки составляют около 1% в сутки от объема азростата, соответственно за месяц они должны были равняться примерно 30%. Действительно, объем гелия, потребовавшегося нам для компенсации утечек, был незначительным и соответствовал заявленному производителем. Компенсацию утечек производили раз в 5-7 дней. Старались избегать избыточного давления внутри оболочки азростата, чтобы не спровоцировать ее разрыв при расширении газа из-за резкого повышения температуры окружающего воздуха. Надо отметить, что колебания температуры воздуха являлись серьезной проблемой. В холодные утренние часы объем гелия мог резко сокращаться, что требовало дополнительной накачки, которая в свою очередь могла привести к созданию опасного избыточного давления в дневное время, несколькими часами позже. Таким образом, необходимо учитывать, что работа в условиях резких перепадов температуры воздуха может привести к резкому увеличению расхода гелия (при последующем сбрасывании избыточного давления) или к повреждению оболочки азростата (без сброса давления).

Вторым важным моментом является обеспечение сохранности геликайта при его хранении в надутом состоянии. Теоретически геликайт может находиться в воздухе непрерывно в течение, по крайней мере,

нескольких дней. Однако вероятность резкого усиления ветра и повреждения леера посторонними лицами требовала помещения аппарата в специально оборудованное место для хранения между миссиями. В идеале геликайт должен храниться в специальном защитном мешке внутри ангара, или фиксироваться на специальном устройстве для хранения (helibase). В нашем случае геликайт швартовался к двум 15 килограммовым грузам за кормовой и носовой концы на площадке из терпаулинга, дополнительно покрытой туристическими ковриками. Аппарат находился под двухскатной крышей из терпаулингового тента, закрепленного между деревьями. Для дополнительной фиксации и защиты геликайт накрывали полиэтиленом, прижатым к земле с помощью грузов. Данный способ хранения был достаточно эффективен, позволяя надежно хранить аппарат при ветре меньше 15–18 м/с.

Система на базе геликайта страдала от тех же недостатков, что и воздушный змей. Прежде всего, это сложности позиционирования ЛА в пространстве и его удержания на сильном ветру, а также нестабильность получаемого видеоизображения. При этом воздушный змей имеет, по сравнению с геликайтом, на порядок меньшую стоимость, чрезвычайно компактен и удобен в перевозке и хранении. Однако геликайт летает в более широком диапазоне условий (всепогоден), имеет практически неограниченную (в рамках сессии наблюдений) продолжительность полета, он более стабилен и, самое главное, безопасен для поднимаемой на нем техники.

Таким образом, установлено, что геликайт – неидеальное, но эффективное и в настоящее время, вероятно, оптимальное средство для проведения непрерывных долгосрочных этологических наблюдений и мониторинга акватории. Для полноценной работы желательно использовать геликайты большего размера (не менее 3 м³). Они более ветроустойчивы и, главное, обладают большей грузоподъемностью, что необходимо для безопасного использования качественной видеотехники. Оптимальным с точки зрения компромисса между величиной полезной нагрузки и необходимым объемом гелия является аппарат Skyhook 7.0 – наиболее популярная модель для проведения научных исследований.

Работа выполнена при поддержке IFAW (Международного фонда защиты животных).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Nowacek D.P., Tyack P.L., Wells R.S.** A platform for continuous behavioral and acoustic observation of free-ranging marine mammals: overhead video combined with underwater audio // *Marine mammal science*, 2001. 17: 191–199.

2. **Aber J.S.** Lighter-than-air platforms for small-format aerial photography // Transactions of the Kansas Academy of Science, 2004. 107 (1-2): 39–44.

3. **Verhoeven G.J.J., Loenders J., Vermeulen F., Docter R.** Helikite aerial photography – a versatile means of unmanned, radio controlled, low-altitude aerial archaeology // Archaeol. Prospect, 2009. V 16, Issue 2: 125–138.

УДК 550.84.08

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕГО
РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИИ
ОКЕАНА**

Кириленко А.С.

*ООО «Техноинфо», Кутузовский пр., 9 корп. 2а, 121248, г. Москва,
8(499)243-66-26, info@technoinfo.ru*

The paper presents an example of how modern XRF-analyzer of core «Itrax Corescanner» may help scientist in sea-sediment pollution characterization in the following ways: pollution agent determination, heavy element concentration, etc.

Метод быстрого высокоразрешающего рентгенофлуоресцентного анализа (qXRF) – новейшая разработка, предназначенная для прямого анализа кернa. При применении метода qXRF используется рентгеновский пучок малого размера для сканирования на малом расстоянии от поверхности. Это позволяет хорошо контролировать измерения и при проведении каждого анализа изучать более однородный объем образца. В случае больших образцов, например, полноразмерного кернa, сканирование вдоль него осуществляется за большое количество малых шагов, которые вместе обеспечивают хорошее качество данных по всей длине. Данные регистрируются отдельно для каждой точки анализа, что дает возможность описывать изменение содержания каждого элемента по длине и получать надёжные усредненные значения, а также осуществлять фазовый анализ. В каждой малой зоне анализа определяются все элементы, чья концентрация находится выше порога чувствительности.

Система Itrax Corescanner (производство компании COX Analytical, Швеция) представляет собой рентгенофлуоресцентный анализатор, предназначенный специально для проведения элементного анализа кернового материала, и использующий метод qXRF. С момента появления эта система зарекомендовала себя как надёжный и эффективный инструмент для решения задач во многих областях науки, о чём свидетельствует увеличивающееся с каждым годом количество публикаций, в которых присутствует ссылка на неё. В том числе, система применяется и для решения задач экологии.

Настоящий доклад посвящён результатам исследований кернов осадочных пород в гавани города Осло (Норвегия). Они позволяют судить не только об основных загрязняющих агентах (рис. 1), но и о том, в какие периоды времени происходило максимально интенсивное загрязнение.

Более того, удалось провести корреляцию между режимами загрязнения гавани и интенсивностью трафика кораблей.

Рисунок 1. Профили содержания меди, определённого традиционным химическим (красные линии) и рентгенофлуоресцентным анализом (фиолетовые линии).

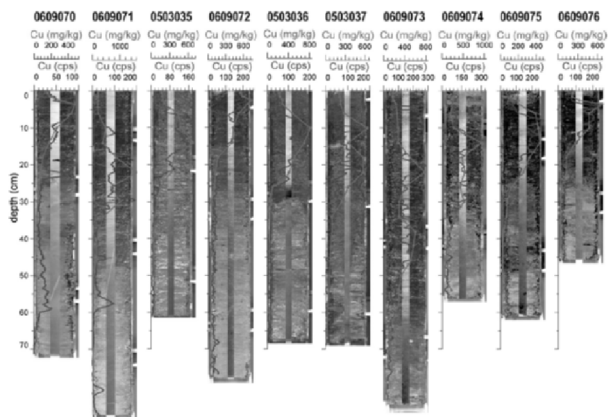


Рис. 1. Содержание меди в десяти образцах из различных мест в гавани Осло, определённое традиционными методами (фиолетовая линия) и на системе Itrax Corescanner (фиолетовая линия)

Получение подобных результатов требовало очень точных измерений керна рентгенографическими и оптическими методами, а также

проведения максимально точного элементного анализа, с чем система Itrax Corescanner справилась без каких-либо проблем. Дополнительным методом анализа (для подтверждения данных) служила радиометрия.

ЛИТЕРАТУРА

Aivo Lepland et al. Sedimentation and chronology of heavy metal pollution in Oslo Harbor, Norway / Aivo Lepland, Thorbjørn J. Andersen, Aave Lepland, Hans Peter H. Arp et al.//Marine Pollution Bulletin.- 2010.- №60.- С. 1512–1522.

УДК 574.583(26)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА В АЗЕРБАЙДЖАНСКОМ СЕКТОРЕ СРЕДНЕГО КАСПИЯ

Джалилов А.Г., Алекперов И.Х.

*Институт Зоологии Национальной Академии Наук Азербайджана,
AZ1073, г. Баку, ул. Аббасзаде, проезд 1128, квартал 504,
anvarj@mail.ru*

Zooplankton in the Azerbaijani sector of the Caspian Sea in 2011 was presented by 137, in 2012 – 102, in 2013 – 144 zooplankters. In the composition of the zooplankton community in all years of study numerically dominated the ciliate, and the copepod biomass. Throughout the growing period of main dominant species of zooplankton *Acartia clausi* Giesbrecht. Overall, for the period 2011-2013 zooplankton biomasses did not exceed 68,23 mg/m³.

Зоопланктон является важнейшим компонентом экосистемы Каспийского моря и определяет трофические взаимоотношения гидробионтов, составляя значительную долю в общей продуктивности водоема. В Азербайджанском секторе Среднего Каспия исследования зоопланктона проводились на протяжении многих лет [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Для определения микропланктона просматривались как живые пробы, так и фиксированные Буэном. Обработка осуществлялась известными методами [7]. Мезопланктон отбирался сетью Джеди вертикальным обловом столба воды. Обработка проводилась в соответствии с общепринятой методикой [8].

Зоопланктон в 2011г. был представлен всего 137 зоопланктерами, относящимся к пяти группам: Ciliophora, Rotatoria, Cladocera, Copepoda и прочие. При этом наибольшее число видов относилось к группе Ciliophora, а затем Cladocera. По биомассе доминировали копеподы. По численности весной доминировали группы Ciliophora и Rotatoria.

В 2012 г. обнаружен 102 зоопланктонный организм (Ciliophora – 72, Rotatoria – 9, Cladocera – 14, Copepoda – 4, а также личинки *Mnemiopsis*, *Balanus* и Mollusca). В комплекс планктонных инфузорий входили представители Oligotrichida, а из коловраток отмечены: *Brachionus plicatilis rotindiformis* Müller, *K. tropica* (Apstein), *K.cochlearis* (Gosse), *Synchaeta stylata* Wierzejski, *S.cecilia* Rousselet, *S.vorax* Rousselet, *S.neapolitana* Rousselet, *A. priodonta priodonta* Gosse, *Testudinella patina patina* (Hermann). Комплекс ветвистоусых ракообразных представляли – *Polyphemus exiguus* Sars и *Cercopagis pengoi* (Ostroumov), *C.neonilae* Sars, *C.socialis*(Grimm), *C.prolongata* Sars, *Pl.polyphemoides*, *Evadne anonyx typica* Sars, *Ev.anonyx producta* Sars, *Ev.anonyx deflexa* Sars, *Ev.anonyx prolongata* Behning, *P trigona typica* (Sars), *P.trigona trigonoides* (Sars), *P.trigona intermedia* (Sars, 1897), *P.trigona pusilla* (Sars, 1897), *P.angusta*(Sars), *P.camptonyx typica* (Sars). Основной комплекс рачков и коловраток весной и летом остается неизменным. Биомасса Rotatoria в 2012 г. варьировала от 0,72 до 2,30 мг/м³. Биомасса клadoцер изменялось в пределах 9,69 – 20,9мг/м³, а биомасса копепод 20,28 – 46,86 мг/м³ соответственно. Максимальное развитие зоопланктона отмечено летом. Весной в зоопланктоне развивались коловратки (47% от общей численности) и личинки прочих беспозвоночных (27,61% от общей численности). По биомассе доминирует веслоногие рачки – 59,83%, ветвистоусые – 29,94%. В начале весны доминируют представители родов *Monodinium*, *Mesodinium*, *Strombidiopsis*, *Codonella* и др.; коловратки – *A.priodonta priodonta*, *K. cochlearis*; ветвистоусые рачки–*Pl. polyphemoides*, *Ev. anonyx typica* и веслоногие рачки *A.tonsa*, *A.clausii*. Важным компонентом планктона является *A.clausii*. Видовое разнообразие достигает 102 видов, среди которых 72 – инфузории, 9 – коловратки, 18 – ракообразные (ветвистоусых – 16, веслоногих – 4). В зоопланктоне в этот период появляются личинки *Mnemiopsis*, *Balanus* и Mollusca. Биомасса зоопланктона летом возрастала и составляла 80,26 мг/м³. Летом из Rotatoria по численности и биомассе преобладают: *A. priodonta priodonta* (численность – 523 экз/м³, биомасса – 0,52 мг/м³); среди ветвистоусых ракообразных: *Pl. polyphemoides* (численность – 251 экз/м³, биомасса – 7,54 мг/м³; из веслоногих ракообразных: *A. clausii* (численность – 406 экз/м³, биомасса – 26,36 мг/м³), *A. tonsa* (числен-

ность – 280 экз/м³, биомасса – 18,22 мг/м³). В видовом составе еще преобладают летние мелкие коловратки – *K.cochlearis*, *K.tropica*, *A.priodonta priodonta*, из кладосер – *Pl.polyphemoides*, а из копепод *A.tonsa* и *A.clausi*. Таким образом, на общем фоне годового цикла выделяются сезонные изменения видового разнообразия.

Биомасса зоопланктона в 2013 г. была высока и варьировала от 66,54 до 67,18 мг/м³ и в среднем составляла 68,23 мг/м³. В 2013 г. 3,17% от общей биомассы составляли коловратки, 28,8% – ветвистоусые, 65,91% – веслоногие. В составе доминирующих комплексов как в 2011 г., так и в 2012 г. входили также веслоногие (72,92 и 70,84% от суммарной биомассы соответственно).

В 2013 г. зоопланктоне Азербайджанского сектора Среднего Каспия всего было отмечено 144 вида, из которых 112 – инфузории, Из остальных Rotatoria – 9 видов, Cladocera – 18, Copepoda – 5. Среди прочих – личинки *Mnemiopsis*, *Balanusi* Mollusca. Из инфузорий наибольшей численности достигали представители родов *Halteria*, *Strombidium*, *Strobilidium* и *Mezodinium*. Из коловраток доминировали: *A.priodonta priodonta* и *K. cochlearis* из ветвистоусых – *Pl. polyphemoides*, *Ev. anonyx typica* Sars; из веслоногих – *A.clausi* и *A.tonsa*; из прочих – личинки *Mnemiopsis*. Биомасса зоопланктона весной составлял в среднем 66,03 мг/м³. Как видно из рис. подавляющее большинство в каспийском зоопланктоне занимает группа инфузорий, в среднем составлявшая 73%. На втором месте рачки кладоцеры, составлявшие примерно 13%, далее коловратки – 7%, копеподы – 3% и прочие составлявшие 3%. Летом отмечено 112 представителей зоопланктона. В летний период в зоопланктоне развивались коловратки (1% от общей биомассы), ветвистоусые 31,29%, веслоногие 61,24% и прочие 6,9% от общей биомассы.

Осенью в составе зоопланктона обнаружено 129 видов инфузорий, коловраток и ракообразных. Биомасса зоопланктона по сравнению с летним периодом снизилась значительно – от 92,13 до 43,23 мг/м². Осенью, в зоопланктоне развивались из инфузорий представители олиготрих и некоторых крупных гипотрих, составлявших 1,03%, коловратки 1.7%, ветвистоусые 28,82%, веслоногие 68,45% от общей биомассы.

В составе сообществ зоопланктона в все годы исследований доминировали веслоногие, составляя 65,91–72,92% суммарной биомассы соответственно. В течение всего вегетационного периода основным доминирующим видом зоопланктона в 2011–2013 гг. была *A.clausi*. По численности наблюдалось доминирование инфузорий и коловраток, а по биомассе копепод. В целом, за период 2011–2013 гг. средняя биомасса зоопланктона не превышала 68,23 мг/м³.

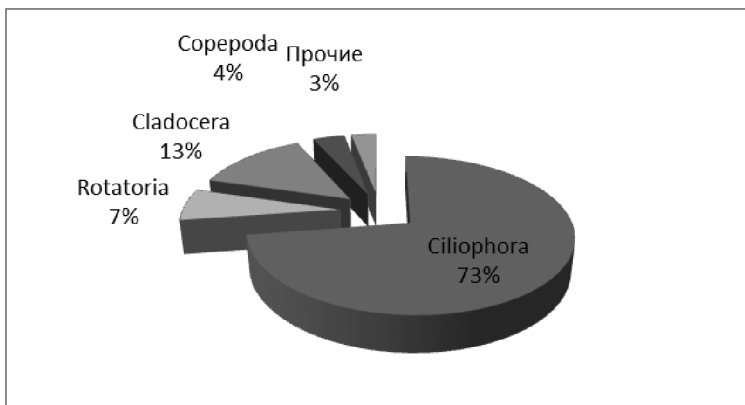


Рис. Спектр видового разнообразия основных групп сообществ зоопланктона в 2012 – 2013 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Куделина Е.Н.** Зоопланктон Среднего и Южного Каспия и его изменения в период падения уровня моря. // Тр. ВНИРО, 1959, Т.38, вып. I. С. 204-240.
2. **Касымов А.Г.** Зоопланктон западного побережья Южного Каспия. // Зоол.ж., 1966. Т.45. Вып. 2. С.172-176.
3. **Касымов А.Г.** Количественное развитие зоопланктона и зообентоса в Бакинской бухте Каспийского моря. // Океанология, 1988. Т. 28. Вып. 4. С. 670-673.
4. **Бадалов Ф.Г.** Распределение зоопланктона в прибрежной зоне Среднего Каспия. // Кн.: Биол. Сред.и Южн. Каспия. М.: Наука, 1968, С.71-79.
5. **Алекперов И.Х.** Свободноживущие инфузории Азербайджана (экология, зоогеография, практическое значение). Баку, Елм, 2012. 519 с.
6. **Джалилов А.Г.** Численность и размерный состав популяции гребневика *Mnemiopsis leidyi* Азербайджанского сектора Каспийского моря. // Морская экология 2007. Владивосток, 2007. Т.1. С. 186–190.
7. **Алекперов И.Х.,** Асадуллаева Э., Заидов Т. Методы сбора и изучения свободноживущий инфузории и раковинных амёб. Санкт-Петербург, 1996, 51 с.
8. **Методы мониторинга в Каспийском море.** Под ред. А.Г.Касымова. Баку, 2000. 57 с.

**ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПРОСТРАНСТВЕННО ОДНОРОДНОЙ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧЕТЫРЕХКОМПОНЕНТНОЙ
($N - P - Z - D$) ПЛАНКТОННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕПИ В
ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ МОДЕЛИ**

Подгорный К.А.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Атлантический научно-исследовательский институт рыбного
хозяйства и океанографии». 236022 Россия, г. Калининград,
ул. Дм. Донского 5. Факс: 8-(4012)-219997.
E-mail: karborok@mail.ru*

This article presents the investigations of the properties of mathematical model for the plankton food chain depending on changing of the model structure and values of model parameters.

Математические модели планктонных пищевых цепей, которые включают в себя небольшое число модельных переменных, достаточно часто используются в практике экологического моделирования [1]. Однако даже для таких, сравнительно простых модельных систем всесторонне исследование их динамических свойств в зависимости от изменений структуры модели и значений модельных параметров представляет собой непростую задачу.

Цель работы состоит в исследовании динамического поведения пространственно однородной математической модели четырехкомпонентной планктонной системы. Модель включает в себя биогенные элементы (N), фитопланктон (P), зоопланктон (Z) и планктонный детрит (D) [2]. В данной работе будет рассматриваться такой вариант структуры модели, который учитывает, что зоопланктон может питаться как фитопланктоном, так и детритом, а также то, что в природных экосистемах у зоопланктона существуют определенные пищевые предпочтения в питании, которые могут изменяться с течением времени в зависимости от тех или иных условий. Поэтому важно оценить влияние этого фактора на характер динамики модельной системы.

Базовый вариант модели представляет собой систему четырех обыкновенных дифференциальных уравнений [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN}{dt} = -\frac{N}{e+N} \cdot \frac{aP}{b+cP} + \beta\lambda \frac{(P+\omega D)}{\mu+P+\omega D} Z + \gamma qZ + \phi D^\delta + k(N_0 - N), \\ \frac{dP}{dt} = \frac{N}{e+N} \cdot \frac{aP}{b+cP} - rP - \lambda \frac{P}{\mu+P+\omega D} Z - (s+k)P, \\ \frac{dZ}{dt} = \alpha\lambda \frac{(P+\omega D)}{\mu+P+\omega D} Z - qZ - \theta PZ, \\ \frac{dD}{dt} = rP + \lambda \frac{((1-\alpha-\beta)P - (\alpha+\beta)\omega D)}{\mu+P+\omega D} Z - \phi D^\delta - (\psi+k)D, \end{array} \right. \quad (1)$$

где a/b – максимальная скорость роста фитопланктона; b – коэффициент поглощения света водой; c – коэффициент самозатенения фитопланктона; e , μ – константы полунасыщения; r – скорость дыхания фитопланктона; λ – максимальная скорость роста зоопланктона; q – коэффициент выедания зоопланктона организмами высших трофических уровней; k – скорость поступления биогенных элементов; N_0 – концентрация биогенных элементов, поступающих в систему; s , ψ – скорости оседания фитопланктона и детрита соответственно; ϕ – скорость минерализации детрита; δ – порядок ферментативной реакции; α – коэффициент эффективности потребления фитопланктона зоопланктоном; β – коэффициент экскреции пищи зоопланктоном; γ – коэффициент регенерации пищи, не усвоенной организмами высших трофических уровней; θ – скорость выделения метаболитов клетками фитопланктона. Все переменные модели неотрицательны и выражены в граммах углерода на m^3 . Пищевые предпочтения зоопланктона учитываются с помощью параметра $\omega = p_2/p_1$, где p_1 и p_2 – коэффициенты предпочтения зоопланктоном фитопланктона и детрита соответственно. Если $\omega = 0$, то это означает, что $p_2 = 0$, $p_1 \neq 0$, то есть зоопланктон не питается детритом, а источником пищи для него является только фитопланктон.

Рассмотрим кратко структуру математической подмодели, которая способна порождать некоторые фундаментальные правила пищевого поведения, общие для разных организмов [3]. Предполагается, что такая подмодель состоит из трех осцилляторов и имеет единственный пищевой сенсор. Все осцилляторы в любой момент времени находятся в активном состоянии. Активирующий осциллятор оказывает влияние на

два других осциллятора, которые определяют тенденции к изменению коэффициента ω в тот или иной момент времени. В результате функционирования этих осцилляторов на выходе получаем активирующую (F), левую (L) и правую (R) тенденции соответственно. Левая тенденция связана с уменьшением значения коэффициента ω в данный момент времени, а правая, наоборот, с его увеличением. Все тенденции на каждом шаге по времени τ меняются в соответствии со следующими одномерными логистическими отображениями:

$$F_{t+\tau} = \lambda_t^F F_t (1 - F_t), \quad L_{t+\tau} = \lambda_t^L L_t (1 - L_t), \quad R_{t+\tau} = \lambda_t^R R_t (1 - R_t), \quad (2)$$

где $0 < F_t, L_t, R_t < 1; 0 < F_{t+\tau}, L_{t+\tau}, R_{t+\tau} < 1; 0 < \lambda_t^F, \lambda_t^L, \lambda_t^R < 4$. В качестве τ можно выбрать, например, шаг интегрирования по времени. Предполагается, что на значения параметров $\lambda_t^F, \lambda_t^L, \lambda_t^R$ оказывает влияние внутренний и внешний шум. Изменения значений параметров $\lambda_t^F, \lambda_t^L, \lambda_t^R$ в определенный момент времени рассчитываются по следующим формулам:

$$\lambda_t^F = \mu^* + \sigma^* \xi_t^F, \quad \lambda_t^L = \mu^* + \sigma^* \xi_t^L + F_t - R_t - I_t, \quad \lambda_t^R = \mu^* + \sigma^* \xi_t^R + F_t - L_t - I_t,$$

где μ^* – среднее значение параметра; $\xi_t^F, \xi_t^L, \xi_t^R$ – случайная величина, распределенная по нормальному закону и изменяющаяся в пределах от $-1,0$ до $+1,0$; σ^* – максимальное значение внутреннего шума. При расчете параметров λ_t^L и λ_t^R учитывается, что выходной сигнал от пищевого сенсора I_t одинаков для обоих параметров и задается не в абсолютных, а в относительных единицах интенсивности внешней стимуляции. Таким образом, учитывается, какова была пищевая стимуляция на предыдущем шаге по времени и стимуляция в данный момент времени:

$$I_t = (S_t - S_{t-\tau}) / S_{t-\tau}. \quad (3)$$

В качестве величин $S_{t-\tau}$ и S_t могут выступать концентрации детрита, значения которых известны в процессе численного интегрирования соответствующих систем уравнений.

После вычислений значений тенденций $L_{t+\tau}$ и $R_{t+\tau}$, можно оценить абсолютную разность этих величин. Именно эта разность и будет задавать изменение $\Delta\omega_{t+\tau}$ коэффициента предпочтения детрита зоопланктоном на данном шаге по времени. Если $L_{t+\tau} > R_{t+\tau}$, то значение коэффициента ω на следующем шаге по времени будет уменьшаться на величину $\Delta\omega_{t+\tau} = |L_{t+\tau} - R_{t+\tau}|$; $\omega_{t+\tau} = \omega_t - \Delta\omega_{t+\tau}$. Если же $L_{t+\tau} < R_{t+\tau}$, то зна-

чение коэффициента ω на следующем шаге по времени будет увеличиваться на величину $\Delta\omega_{t+\tau}$: $\omega_{t+\tau} = \omega_t + \Delta\omega_{t+\tau}$. При вычислениях необходимо учесть, что значения параметра ω ограничены. Таким образом, если $\omega_t - \Delta\omega_t < 0$, то полагаем, что $\omega_{t+\tau} = 0$. Если же $\omega_t + \Delta\omega_t > 2$, то полагаем, что $\omega_{t+\tau} = 2$, поскольку для большинства модельных исследований используют значения $\omega \in [0; 2]$. В природных экосистемах значение параметра ω , по всей видимости, близко к 0,5.

В результате проведения вычислительных экспериментов для разных значений коэффициента пищевых предпочтений ω в питании зоопланктона было показано, что при изменении значений параметров модели существует определенная последовательная смена типов динамических режимов. При $\omega = 0$ в модельной системе (1) могут наблюдаться устойчивый узел, устойчивый фокус, предельный цикл [2]. При определенных сочетаниях значений параметров в системе возникают серии последовательных бифуркаций удвоения периода и хаотические колебания. Показано также, что в случае выбора постоянных значений параметра $\omega \in (0; 2]$ существуют такие области изменения параметров, в пределах которых в системе наблюдаются многократно сменяющие друг друга периодические и хаотические колебания [2]. При использовании подмодели (2) для расчета параметра ω поведение модельной системы становится полностью хаотическим [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Подгорный К.А.** Основные структурные особенности биологического блока модели экосистемы зоны апвеллинга района Центрально-Восточной Атлантики (пространственно-однородная подмодель *N-P-Z-D-Fishes*) // Материалы XIV Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2015), г. Москва, 19–21 мая, 2015 г. Т. II. – М.: АПР, 2015, с. 350–358.

2. **Подгорный К.А.** Исследование свойств пространственно однородной математической модели четырехкомпонентной планктонной системы // Математическая биология и биоинформатика, 2012, т. 7, №1, стр. 299–321.

3. **Podgornyj K.A., Dmitrieva O.A.** The structure and some features of the mathematical model for study of the influence food preferences of zooplankton on the dynamic behavior of *N-P-Z-D* plankton food web // Extended abstracts of ICES Annual Science Conference 19–23 September 2016, Riga, Latvia. ICES CM 2016/M:151.

**ПОДХОДЫ К ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ВЛИЯНИЯ
МЕЛКОМАСШТАБНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА НА
ПРОЦЕСС ПОТРЕБЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ФИТОПЛАНКТНОМ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ВЫЕДАНИЯ
ФИТОПЛАНКТОНА И ДЕТРИТА ЗООПЛАНКТНОМ**

Подгорный К.А.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Атлантический научно-исследовательский институт рыбного
хозяйства и океанографии».*

236022 Россия, г. Калининград, ул. Дм. Донского 5.

Факс: 8-(4012)-219997. E-mail: kapborok@mail.ru

This article presents some approaches to the model investigation and evaluation of influence of fine-scale turbulent exchange in the water environment on the values of velocities of biohydrochemical processes.

В процессах функционирования водных экосистем важную роль играют процессы турбулентного обмена (ТО). Мелкомасштабная турбулентность существенным образом влияет на скорости биогидрохимических процессов и в частности – на процесс потребления биогенных элементов клетками фитопланктона, интенсивность выедания фитопланктона и детрита зоопланктоном. Степень турбулентного воздействия на планктонные организмы зависит от их размеров, формы, гидродинамических характеристик, способности совершать активные перемещения в водной среде, способности к хеморецепции, реализации поведенческих и адаптационных взаимодействий между хищниками и жертвами разных размерных классов. Биологически важные эффекты воздействия турбулентности могут быть обнаружены только на очень малых пространственных масштабах. В этом диапазоне турбулентность является однородной и изотропной, а скорости движения воды сравнимы со скоростью движения планктонных организмов. Значения средней скорости турбулентного движения уменьшаются по мере уменьшения пространственного масштаба. На организменном уровне турбулентность оказывает влияние на трофические взаимодействия. Это влияние может быть как непосредственным, например, приводить к увеличению частоты

встреч между хищниками и их жертвами, так и непрямым – например, в результате изменения качества пищи.

Рассматривается планктонная пищевая цепь, в которой описывается временная динамика концентраций биогенных элементов (N), n размерных классов (групп) (РК или РГ) фитопланктона ($P_i, i = \overline{1, n}$), m РГ зоопланктона ($Z_j, j = \overline{1, m}$) и планктонного детрита (D). Биогенные элементы расходуются на рост каждого из n рассматриваемых РК фитопланктона, что при модельном описании может быть задано суммой

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{N}{e_i(V_i^p) + N} \cdot \phi(P_i, V_i^p, T_w, I_w) \right). \quad (1)$$

В каждом слагаемом (1) множитель $N/(e_i(V_i^p) + N)$ задает биогенное лимитирование роста, а множитель $\phi(P_i, V_i^p, T_w, I_w)$ учитывает текущие концентрации P_i фитопланктона в каждом РК, объемы V_i^p клеток i -ой РГ фитопланктона ($i = \overline{1, n}$), а также задает лимитирование роста фитопланктона, которое обусловлено изменением температурных и световых условий в воде. В (1) $e_i(V_i^p)$ – константа полунасыщения для i -го РК фитопланктона.

Если $N \gg e_i(V_i^p)$ ($i = \overline{1, n}$), то при прочих равных условиях скорость V_i потребления биогенных веществ (БВ) будет стремиться к V_i^{\max} – максимальной скорости роста для i -го РК фитопланктона. Величины V_i^{\max} не зависят от интенсивности ТО в водной среде, поскольку их значения определяются физиологическими свойствами клеток фитопланктона [1–3]. При достаточно высоких концентрациях N в водной среде скорость их потребления клетками фитопланктона будет ограничиваться скоростью трансмембранного переноса соответствующими ферментными системами, а не интенсивностью потока биогенных элементов по направлению к клетке. Поэтому в такой ситуации ТО не оказывает влияния на величину V_i .

Если $N \ll e_i(V_i^p)$ ($i = \overline{1, n}$), то при прочих равных условиях $V_i \approx V_i^{\max} N / e_i(V_i^p) = \alpha_i N$, где $\alpha_i = V_i^{\max} / e_i(V_i^p)$ – средство по ресурсу

(resource affinity) для каждого из n РК фитопланктона. Таким образом, при относительно низком содержании БВ в водной среде скорость их потребления клетками фитопланктона растет пропорционально возрастанию концентрации N с коэффициентом пропорциональности, равным α_i – сродству по ресурсу ($i = \overline{1, n}$). В этом случае для всех (кроме самых мелких) клеток фитопланктона скорость потребления ими БВ будет зависеть от интенсивности диффузионного потока питательных веществ из водной среды по направлению к клетке. Интенсивность мелкомасштабной турбулентности увеличивает этот диффузионный поток и, соответственно, происходит увеличение сродства по ресурсу α_i ($i = \overline{1, n}$). Поскольку величины V_i^{\max} не зависят от интенсивности ТО в водной среде, то возрастание α_i может иметь место только при уменьшении соответствующих значений констант полунасыщения $e_i(V_i^p)$ для i -го РК фитопланктона.

Для параметризации влияния мелкомасштабной турбулентности на интенсивность потребления БВ фитопланктоном вместо констант полунасыщения $e_i(V_i^p)$ для i -го РК фитопланктона будем рассматривать скорректированные – «турбулентные» константы полунасыщения $e_i^T(V_i^p)$ [4]:

$$e_i^T(V_i^p) = e_i(V_i^p) / Sh_i, \quad (i = \overline{1, n}), \quad (2)$$

где Sh_i – безразмерное число Шервуда для i -го РК фитопланктона, которое представляет собой отношение полного потока БВ, достигающих поверхности клетки i -го РК в подвижной водной среде, к потоку вещества, обусловленного только процессом молекулярного диффузионного переноса. В соответствии с (2), при увеличении интенсивности турбулентного обмена в водной среде будет возрастать число Sh_i и, соответственно, уменьшаться константа полунасыщения, что, в свою очередь, при прочих равных условиях будет приводить к возрастанию сродства по ресурсу α_i для каждого из n РК фитопланктона. Расчет числа Шервуда Sh_i удобно производить не через прямой расчет отношения соответствующих потоков вещества, а по эмпирическим формулам в зависимости от безразмерного числа Пекле [4]:

$$Pe_i = U_i r_i / D_{Td} = r_i^2 / D_{Td} \sqrt{\varepsilon_{H_{ML}} / \nu}, \quad (i = \overline{1, n}),$$

где r_i – радиус клетки сферической формы или половина эквивалентного сферического диаметра (ESD) клетки для i -го РК фитопланктона (м);

U_i – характерная скорость перемещения клеток для i -го РК фитопланктона в водной среде; D_{Td} – коэффициент молекулярной турбулентной диффузии (m^2/c); ν – кинематическая вязкость воды (m^2/c); $\bar{\epsilon}_{H_{ML}}$ – средняя скорость диссипации турбулентной кинетической энергии (m^2/c^3) в определенном перемешанном слое воды толщиной H_{ML} .

Скорость изменения концентрации зоопланктона определяется процессами его роста за счет питания фитопланктонными организмами разных РК и планктонным детритом. Она рассчитывается в зависимости от максимальной скорости роста j -го РК зоопланктона $\lambda_j(V_j^z)$ ($j = \overline{1, m}$) и константы полунасыщения $\mu_j(V_j^z)$. Для параметризации влияния ТО на интенсивность потребления фитопланктона и планктонного детрита зоопланктонными организмами вместо констант полунасыщения $\mu_j(V_j^z)$ для каждого из РК зоопланктона следует рассматривать скорректированные – «турбулентные» константы полунасыщения $\mu_j^T(V_j^z)$:

$$\mu_j^T(V_j^z) = \mu_j(V_j^z) / \xi_j, \quad (j = \overline{1, m}), \quad (3)$$

где ξ_j – безразмерный параметр, который представляет собой отношение объема осветленной в единицу времени воды при питании зоопланктона j -го РК в условиях турбулентного перемешивания к объему осветленной за тот же период времени воды при питании зоопланктона в условиях отсутствия турбулентного перемешивания.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Armstrong R.A.** Nutrient uptake rate as a function of cell size and surface transporter density: A Michaelis-like approximation to the model of Pasciak and Gavis // *Deep-Sea Res. I.*, 2008, v. 55, p. 1311–1317.
2. **Fiksen Ø., Follows M.J., Aksnes D.L.** Trait-based models of nutrient uptake in microbes extend the Michaelis-Menten framework // *Limnol. Oceanogr.*, 2013, v. 58, p. 193–202.
3. **Lindemann C., Fiksen Ø., Andersen K.H., Aksnes D.L.** Scaling laws in phytoplankton nutrient uptake affinity // *Frontiers in Marine Science*, 2016, v. 3, p. 1–6.
4. **Barton A.D., Ward B.A., Williams R.G., Follows M.J.** The impact of fine-scale turbulence on phytoplankton community structure // *Limnol. Oceanogr.: Fluids and Environments* 2014, v. 4, p. 34–49.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ КАРСКОГО МОРЯ

Демидов А.Б.

*Институт океанологии им П.П.Шуринова РАН
117997, Москва, Нахимовский проспект д.36
тел: (499) 1245996 факс: (499) 1245983 e-mail: demspa@rambler.ru*

The increase in the performance of the Kara Sea models depends on the input of the photophysiological phytoplankton characteristics and photosynthetically available radiation. The depth-resolved model performed slightly better than depth-integrated model. There was no sufficient decrease in predictive skill of both algorithms when MODIS-Aqua data were used as input variables. Thereby, the depth-integrated model can be recommended for annual Kara Sea primary production assessment and study of its long-term variability using satellite data.

Оценка годовых величин и изучение долговременных изменений интегральной первичной продукции (ИПП) океанов и морей подразумевает разработку моделей и использование спутниковых данных в качестве входящих в эти модели параметров. Разработка и верификация алгоритмов ИПП, а также исследование продуктивности арктических морей (АМ) могут быть основаны на так называемых нерегиональном и региональном подходах. При первом из них используются модели, их большинство, созданные без учета специфики формирования первичной продукции (ПП) АМ. Региональный подход подразумевает использование баз экспериментальных данных для АМ и выявление характерных для этого региона зависимостей первичной продукции от абиотических и биотических факторов. Такой подход считается одним из основных путей улучшения моделей ИПП [1].

Карское море относится к водоемам, так называемого второго оптического типа (Case II), в которых применение регионально неадаптированных алгоритмов приводит к низкому соответствию модельных и натурных данных [2]. Поэтому, для таких акваторий разработка и верификация региональных моделей особенно актуальна.

Региональные алгоритмы первичной продукции Карского моря были разработаны по базе данных, созданной в 3-х осенних экспедициях (сентябрь–октябрь 1993, 2007 и 2011 гг.).

Интегрированная по глубине модель первичной продукции Карского моря (ИМ). Адаптированный для Карского моря алгоритм включает средние величины эффективности утилизации солнечной энергии в столбе воды ($\psi = \text{ДАЧ}_c / I_0$) и индекс вертикального распределения хлорофилла «а» (Хл) ($k = \text{Хл}_{\text{фс}} / \text{Хл}_0$) в качестве коэффициентов модели. Здесь, ДАЧ_c – среднее ассимиляционное число в слое фотосинтеза, I_0 – подповерхностная облученность в диапазоне фотосинтетически активной радиации (ФАР), $\text{Хл}_{\text{фс}}$ – интегральное содержание Хл в слое фотосинтеза, Хл_0 – концентрация Хл на поверхности. Входящими параметрами являются величины Хл_0 и дневной проходящей ФАР. Эти показатели сравнительно легко определяются в полевых условиях. При таком подходе ИПП может быть рассчитана, как

$$\text{ИПП}_m = k \psi \text{Хл}_0 I_0. \quad (1)$$

Так как распределение произведения $k \psi$ носит ярко выраженный логнормальный характер, целесообразно использование средней геометрической величины, которая при осреднении для всего моря равняется 8.27, следовательно, уравнение (1) принимает следующий вид

$$\text{ИПП}_m = 8.27 \text{Хл}_0 I_0. \quad (2)$$

Модель первичной продукции Карского моря с разрешением по глубине (РГМ). Разработка РГМ основана на использовании максимального в слое фотосинтеза ассимиляционного числа (АЧ_{max}), и вертикальных кривых АЧ и Хл. Дневная ИПП_n рассчитывается путем интегрирования по глубине

$$\text{ИПП}_n = \int_z^0 \text{АЧ}_z \text{Хл}_z DL (dz), \quad (3)$$

где АЧ_z и Хл_z – ассимиляционное число и концентрация Хл на глубине Z , соответственно, а DL – длительность светового дня.

Величины АЧ_z были рассчитаны по степенной зависимости АЧ_z от ФАР (I_z), выраженных в процентах от максимальных величин: АЧ_{max} и I_0 , соответственно:

$$\text{АЧ}_{\text{отн}} = 11.65 I_z^{0.49}, \quad (4)$$

следовательно,

$$\text{АЧ}_z = \text{АЧ}_{\text{max}} ((11.65 I_z^{0.49}) / 100). \quad (5)$$

Значения АЧ_{max} были получены с использованием эмпирической зависимости этого показателя от I_0 [3], где

$$\text{АЧ}_{\text{max}} = 10^{-0.71 + 0.90 \log_{10} I_0}. \quad (6)$$

Путем подстановки АЧ_{max} из формулы (6) в выражение (5) получаем следующее уравнение:

$$\text{АЧ}_z = (10^{-0.71 + 0.90 \log_{10} I_0}) ((11.65 I_z^{0.49}) / 100). \quad (7)$$

Параметризация вертикальных профилей X_L была проведена для вод разных трофических уровней, выделенных по X_{L0} .

I-я трофическая градация ($X_{L0} = 0.1 - 0.5 \text{ мг/м}^3$):

в пределах эвфотического слоя (1% ФАР)

$$X_{Lz} = X_{L0} ((K_d z) + 68.96)/105.2, \quad (8)$$

ниже эвфотического слоя

$$X_{Lz} = X_{L0} ((K_d z) - 17.47)/-19.95, \quad (9)$$

II-я трофическая градация ($X_{L0} = 0.5 - 1.0 \text{ мг/м}^3$)

$$X_{Lz} = X_{L0} \exp(-(K_d z) + 0.08)/8.90, \quad (10)$$

III-я трофическая градация ($X_{L0} = 1.0 - 2.0 \text{ мг/м}^3$)

$$X_{Lz} = X_{L0} \exp(-(K_d z) - 0.05)/6.52, \quad (11)$$

IV-я трофическая градация ($X_{L0} > 2.0 \text{ мг/м}^3$)

$$X_{Lz} = X_{L0} ((K_d z) - 18.02)/-20.20. \quad (12)$$

K_d – коэффициент диффузного ослабления нисходящего излучения в диапазоне ФАР (м^{-1}).

Таким образом, становится возможным рассчитать ИПП в пределах каждой трофической градации вод, используя уравнение (3), подставив вместо $AЧ_z$ и X_{Lz} уравнения (7) и (8) – (12), соответственно. При таком подходе входящими в модель параметрами являются X_{L0} , I_0 и K_d .

Для верификации моделей были использованы данные, которые не применялись при их разработке, так называемая «независимая база данных» (лето и осень 2013–2015 гг.). Представляет интерес также исследование возможности применения разработанных в осенний период для Карского моря моделей в морях Арктики, сходных с ним по гидрофизическим, химическим и биооптическим свойствам, например, в море Лаптевых, а также в летний сезон. Следующим этапом является верификация моделей с использованием спутниковых данных. Результаты верификации региональных моделей ИПП Карского моря представлены в таблице.

При использовании натуральных данных в качестве входящих параметров РГМ завышает или занижает измеренные значения ИПП осенью приблизительно в 2 раза (средняя квадратическая ошибка регрессии (RMSD) – 0.29), а ИМ – в 2.5 раза (RMSD = 0.39). Летом эффективность ИМ снижалась в 1.5 раза (RMSD = 0.57), в то время как РГМ предсказывала значения ИПП практически с той же точностью (RMSD = 0.31). В море Лаптевых в осенний период РГМ работала в 1.7 раза эффективнее ИМ (RMSD 0.24 и 0.41, соответственно). Введение в модели спутниковых данных показало, что ИМ и РГМ работают приблизительно с одинаковой точностью (таблица).

Таким образом, можно рекомендовать интегрированную по глубине модель, как более простую в использовании и достаточно точную, для оценки годовых величин и исследования долговременной изменчивости ИПП как в Карском море, так и в морях Арктики, сходных с ним по гидролого-гидрохимическим условиям.

Таблица. Результаты регрессионного анализа связи $\log_{10} y = b + a \log_{10} x$ измеренных (ИПП_и – $\log x$) и рассчитанных с помощью моделей (ИПП_м – $\log y$) величин интегральной первичной продукции и показателя эффективности различных моделей

Модель	Сезон, регион и источник данных	<i>b</i>	<i>a</i>	R^2	RMS D	<i>B</i>	<i>N</i>
ИМ	Карское море, сентябрь–октябрь, <i>in situ</i>	0.19	0.77	0.51	0.39	–0.19	84
	Карское море, август, <i>in situ</i>	– 0.53	1.11	0.29	0.57	–0.29	41
	Море Лаптевых, <i>in situ</i>	– 1.35	1.63	0.30	0.41	–0.21	14
	MODIS-Aqua	1.02	0.42	0.22	0.30	–0.08	26
РГМ	Карское море, сентябрь–октябрь, <i>in situ</i>	0.35	0.78	0.61	0.29	– 0.001	84
	Карское море, август, <i>in situ</i>	0.30	0.87	0.38	0.31	0.03	41
	Море Лаптевых, <i>in situ</i>	– 0.36	1.16	0.34	0.24	–0.01	14
	MODIS-Aqua	1.19	0.44	0.27	0.31	0.14	26

Примечание. *a* и *b* – коэффициенты в уравнении линейной регрессии; R^2 – коэффициент детерминации; RMSD – средняя квадратическая ошибка регрессии; *B* – средняя абсолютная погрешность; *N* – количество парных измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Проект № 16-05-00050).

ЛИТЕРАТУРА

1. Lee Z., Marra J., Perry M.J., Kahru M. Estimating oceanic primary productivity from ocean color remote sensing: A strategic assessment // J. Mar. Sys. 2015. V. 149. P. 50–59.
2. Lee Y.J., Matrai P.A., Friedrichs M.A.M. et al. An assessment of phytoplankton primary productivity in the Arctic Ocean from satellite ocean color/in

situ chlorophyll-a based models // J. Geophys. Res. 2015. V. 120. doi:10.1002/2015/JC11018.

3. **Demidov A.B., Mosharov S.A., Makkaveev P.N.** Patterns of the Kara Sea primary production in autumn: Biotic and abiotic forcing of subsurface layer // J. Mar. Sys. 2014. V. 132. P. 130–149.

УДК 579.68(268.45)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛИ АКТИВНОЙ ФРАКЦИИ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ

Мошарова И.В.

*Биологический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
119234, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12,
8(495)939-10-00, ivmpost@mail.ru*

Results for application of a method for accounting of bacterial cells with active metabolism for marine ecosystems environmental monitoring have been presented. This method has been applied when researching the microbial population in estuarial, marine and freshwater ecosystems.

Бактериопланктон является одним из основных звеньев морских экосистем, отвечающим за фундаментальные процессы деструкции органического вещества, поэтому изучение его функционирования является важным направлением как фундаментальной науки, так и прикладной, в частности, экологического мониторинга морских экосистем.

К числу стандартных методов микробиологического мониторинга относятся: учет общей численности бактериопланктона (ОЧБ), определение численности отдельных физиологических групп бактерий, способных к росту на питательных средах [1, 2]

В конце XX века стало известно, что в морских и пресноводных водоемах значительное количество клеток в составе бактериопланктона является неактивным и лишь небольшая доля (в основном от 0.1 до 20% клеток от общей численности бактериопланктона) обладает активным метаболизмом [7–10]. И лишь в некоторых случаях доля активных кле-

ток бактериопланктона достигает 70%. Процессы реминерализации в водных экосистемах обеспечивает активно функционирующие бактерии (АФБ) в составе бактериоценоза. Предполагается, что количество АФБ является более вариабельным фактором, чем ОЧБ, и этот параметр в большей степени реагирует на изменения продуктивности водных экосистем [7–10].

Автором было проведено изучение влияния содержания хлорофилла *a* в воде на количество АФБ в эстуарных [3], шельфовых морских экосистемах, а также в глубоководных морских впадинах Карского моря [4]. Численность активно функционирующих бактерий учитывалась с помощью соли тетразолия – 5-циано 2.3-дитолил тетразолиум хлорид (ЦТХ). Рабочий раствор ЦТХ готовили согласно [9]. В качестве меры продукционного потенциала водных экосистем была использована концентрация в воде основного фотосинтетического пигмента хлорофилла *a*.

Для оценки влияния продукционного потенциала водных экосистем на численность АФБ нами был проведен корреляционный анализ. В результате, по данным для 2011 г., были установлены значимые прямые корреляционные связи между количеством активных клеток в водах разреза вдоль эстуария р. Енисей, в этом случае численность активных клеток бактериопланктона также значимо коррелировала с содержанием в воде хлорофилла *a* ($R = 0.66$, $p < 0.001$) [3]. Наличие корреляционных зависимостей между этими параметрами в эстуарных и шельфовых морских экосистемах отмечалось ранее и другими авторами [7]. В то же время, для глубоководного района Карского моря – желоб Святой Анны – достоверная корреляционная связь между численностью активных бактерий и содержанием в воде хлорофилла *a* отсутствовала [4]. В связи с этим мы предполагаем, что в более продуктивных экосистемах (шельфовых, эстуарных) обилие активного бактериопланктона в значительной мере зависит от продукционного потенциала водоема, характеризующегося содержанием в водах хлорофилла *a*. В то же время в олиготрофных морских районах, в частности – водах желоба Св. Анны в Карском море, в которых обилие фитопланктона сравнительно невелико, бактериопланктон вынужденно переключается на другие источники органического вещества, не связанные напрямую с фитопланктоном.

Наши исследования в арктических морях [3, 4], а также в пресноводных экосистемах [5, 6] позволяют утверждать, что такой стандартный показатель, как ОЧБ, не может в полной мере характеризовать состояние бактериопланктона, как редуционного звена водных экосистем. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности и перспективности применения в научных исследованиях и в рамках экологического мониторинга морских экосистем метода учета численности

бактериальных клеток с активным метаболизмом основанного на использовании маркеров дыхательной активности – солей тетразолия – 5-циано 2.3-дитолил тетразолиум хлорида.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Ильинский В.В.** Гетеротрофный бактериопланктон / Практическая гидробиология: Учеб. для студ. биол. спец. университетов под ред. Федорова В.Д. и Капкова В.И. М.: ПИМ, 2006. С. 331–365.

2. Методические основы комплексного экологического мониторинга океана. / Под ред. А.В. Цыбань. М., Гидрометеиздат, – 1988 – 286 с.

3. **Мошарова И.В., Ильинский В.В., Мошаров С.А.** Состояние гетеротрофного бактериопланктона эстуария реки Енисей и зоны Обь-Енисейского речного выноса в осенний период в связи с факторами среды // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 2. С. 202–215.

4. **Мошарова И.В., Мошаров С.А., Ильинский В.В.** Особенности распространения бактериопланктона с активным метаболизмом в водной толще желоба Святой Анны в Карском море в осенний период 2011 г. // Океанология. 2017. Т. 57. № 1. С. 1–9.

5. **Ильинский В.В., Мошарова И.В., Акулова А.Ю., Мошаров С.А.** Современное состояние гетеротрофного бактериопланктона Косинского Трехозерья // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 5. С. 477–487.

6. **Мошарова И.В., Ильинский В.В., Маторин Д.Н., Мошаров С.А., Акулова А.Ю., Протопопов Ф.А.** Мониторинг вод реки Москвы с помощью микробиологических параметров и флуоресценции хлорофилла а. // Микробиология. 2015. Т. 84. № 6. С. 712–724.

7. **del Giorgio P.A., Scarborough G.** Increase in the proportion of metabolically active bacteria along gradients of enrichment in freshwater and marine plankton: implication for estimates of bacterial growth and production rates // J. of Plankton Research. 1995. V. 17. № 10. P. 1905–1924.

8. **Fuhrman J. A., Sleeter T.D., Carlson C.A. and Proctor L.M.** Dominance of bacterial biomass in the Sargasso Sea and its ecological implications // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1989. V. 57. P. 207–217.

9. *Methods in Stream Ecology* / Ed. Hauer F.R., Lamberti G.A. Elsevier. 2006. 876 p.

10. **Sommaruga R., Conde D.** Seasonal variability of metabolically active bacterioplankton in the euphotic zone of a hypertrophic lake // Aquat Microb Ecol. 1997. V.13. P. 241–248.

**ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ – КАК ИНДИКАТОР
УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГИДРОБИОНТОВ
ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПОЛУЧНОЙ СРЕДЫ**

Галактионова М.Л.¹, Гераскин П.П.², Куркембаева Б.М.²

*1Каспийский филиал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Савушкина, 6, корп. 27, 414056 г. Астрахань, 8(8512)54-45-59
Caspuy@bk.ru*

*2Астраханский государственный технический университет,
Татищева 16, 414056 г. Астрахань, 8(8512)61-41-63
aqua-group@yandex.ru.*

The materials of long-time researches of the lipid peroxidation (LPO) of *Neogobius gobies* are given. We also demonstrate the levels of changes in ascorbate and spontaneous lipid peroxidation reactions in the liver and muscles in the long-term and off-season aspects, on the basis of which the conclusion about the possibility of using them to assess the aggressiveness of the environment to aquatic organisms is made.

Проблема загрязнения среды обитания водных животных приобрела к настоящему времени глобальный характер. Поступление в водную среду стойких загрязняющих веществ выступает одной из главных причин деградации экосистем морей и океанов из-за их способности к биоаккумуляции и биомагнификации на более высоких трофических уровнях, вызывая изменения в организме практически у всех гидробионтов [1, 2].

Оценка экологической опасности загрязнений, как правило, осуществляется путем определения в окружающей среде содержания вредных веществ и сравнения их с нормативными показателями, чаще всего с предельно допустимыми концентрациями — ПДК. Однако такой метод имеет существенные недостатки, т.к. не оценивает степень воздействия всего комплекса загрязнений на биологические объекты. Поэтому так важно использовать методы биологического контроля – биоиндикацию, которая позволяет судить о степени влияния изменённой среды на состояние гидробионтов, о перспективах продуктивности популяций рыб, вероятности трансформации структуры сообществ и, в целом, об устой-

чивости экосистемы к загрязнению водоёма. Понятие «ecosystem health» (здоровья экосистем) часто используется для интегральной оценки последствий загрязнения окружающей среды [3, 4, 5]. При этом становится очевидным, что воздействие поллютантов на водных животных следует изучать через ответные реакции их организма. Наиболее чувствительными, в этом отношении, являются физиолого-биохимические показатели, которые реагируют на воздействие поллютантов значительно раньше, чем они проявляются на других уровнях организации животного. В этом отношении перекисное окисление липидов (ПОЛ) является одним из наиболее чувствительных физиолого-биохимических показателей.

Изучение интенсивности ПОЛ вели в печени и мышцах бычков по [6]. Бычки рода *Neogobius* (бычок кругляк и песочник) отлавливались в западной части Северного Каспия в районе банки Ракушечная.

Многолетние (1998-2016 гг.) исследования ПОЛ в печени и мышцах бычков выявили разную степень и длительность воздействий среды обитания на этих рыб (рис. 1).

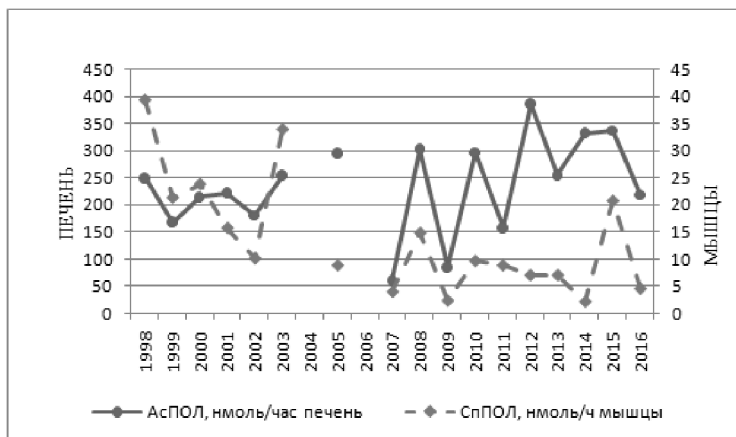


Рис.1. Динамика межгодовых изменений спонтанного перекисления липидов (СпПОЛ) в мышцах и аскорбатзависимого (АсПОЛ) – в печени

Ранее проведённые исследования [7] показали, что реакция аскорбатзависимого и спонтанного ПОЛ в мышцах и печени зависит от силы и длительности действия веществ токсичных для водных животных. При высоких уровнях воздействия на рыб поллютантов первой реагирует печень существенным повышением интенсивности АсПОЛ. Резуль-

татом более длительного влияния загрязнений на гидробионтов является повышение интенсивность ПОЛ не только в печени, но и более консервативного СпПОЛ в мышцах. Анализируя с этих позиций мониторинговые исследования ПОЛ в печени и мышцах бычков, можно отметить существенные колебания влияния экологически неблагоприятной среды на рыб в районе банки Ракушечная. Наиболее сильным оно было в 2008, 2010, 2012, 2014 и 2015 гг. При этом наблюдается постепенное ухудшение благополучия среды обитания для бычков в этом районе от 90-х годов к последнему времени (2013-2016 гг.). В то же время в начальный период наблюдений (1998-2003 гг.), судя по уровню СпПОЛ в мышцах, длительность воздействия на бычков была более долговременной, хотя и имела меньшую интенсивность. Лишь в 2015 году при достаточно высоком уровне влияния загрязнений на бычков отмечалась и значительная продолжительность этого воздействия. Анализ межсезонных изменений параметров ПОЛ (табл.1) выявил более высокий уровень АсПОЛ в печени бычков в осенний период.

Таблица 1. Параметры ПОЛ ($M \pm m$) у бычков, ♀♂ II стадии зрелости гонад

Год	месяц	СпПОЛ, нмоль/ч		АсПОЛ, нмоль/ч		М Д А, нмоль	
		мышцы	печень	мышцы	печень	мышцы	печень
2000	июнь	15,6±2	164±4	68±6	177±1	5,6±0,5	28,7±1
	сентябрь	22±3	150±37	51±4	222±19	5±0,7	32±5
2001	апрель-май	24±6	172±60	42±6	233±57	3±0,2	31±8
	сентябрь	13±1	134±7	63±6	206±6	3±0,4	25±1
2002	апрель-май	11±2	145±38	39±8	183±46	3±0,5	27±7
	сентябрь-октябрь	9±0,7	104±20	59±6	211±28	2±0,2	18±4
2003	июнь	8,1±1	163	57±1	194	3±0,2	
	сентябрь	13±0,6	139±15	61±7	265±30	3±0,2	24±2

Исключением был лишь 2001 г. Несколько иные закономерности отмечаются при рассмотрении межсезонных изменений скоростей спонтанной реакции в печени. Скорость этой реакции выше в весенне-летний период. В мышцах также выявлены межсезонные особенности интенсивностей аскорбатзависимой и спонтанной реакций ПОЛ. Интенсивность АсПОЛ в большинстве своем выше в осенний период. Скорости спонтанной реакции в 2001 и 2002 гг. были выше в весенне-летний период, а в 2000 и 2003 гг. – в осенний. Последовательность отклика

аскорбатзависимой и спонтанной реакций в печени и мышцах на уровень и длительность воздействия экологически неблагоприятной среды на рыб, даёт нам возможность оценить агрессивность среды по отношению к рыбам. Первой реагирует печень, как орган выполняющий функцию детоксикации, позже, после проникновения ксенобиотиков в организм рыб – мышцы, при большей лабильности ответов аскорбатзависимой реакции, в сравнении со спонтанной. Исходя из этих закономерностей, можно заключить, что наименее агрессивной для рыб в период с 2000 по 2003 гг. была среда обитания в 2002 г., а более агрессивной – в 2000 г. В этот год воздействие загрязнений на бычков было не только длительное, о чем свидетельствует высокий уровень СпПОЛ в мышцах в летний период, но и повторное, перед взятием проб в сентябре. Основанием такого заключения является дальнейшее повышение уровня АсПОЛ в печени и СпПОЛ в мышцах в сентябре, относительно июня.

Таким образом, изучение параметров ПОЛ у водных животных позволяет оценивать агрессивность среды их обитания и уровень её воздействия на гидробионтов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Binelli, A.** DDT is still a problem in developed countries: the heavy pollution of Lake Maggiore / A. Binelli, A. Provini // *Chemosphere*. – 2003 – Vol. 52. – № 4. – P.717-723.

2. **Sarkar, A.** Molecular Biomarkers: Their significance and application in marine pollution monitoring / A. Sarkar, D. Ray, A.N. Shrivastava, S. Sarker // *Ecotoxicology*. – 2006. – Vol. 15, № 4. – P. 333-340.

3. **Adams, S.M.** Biological indicators of aquatic ecosystem stress / S. M. Adams // *American Fisheries Society*. – Bethesda, MD. – 2002. – 644 p.

4. **Rascovic, B.** Histology of carp (*Cyprinus Carpio* L.) gills and pond water quality in semi-intensive production / B. Rascovic, V. Poleksic, I. Zivic, M. Spasic // *Bulg. J. of Agric. Sci.* – 2010. – Vol. 16. – № 3. – P. 253-262.

5. **Diniz, M.S.** Evaluation of the sub-lethal toxicity of bleached kraft pulp mill effluent to *Carassius auratus* and *Dicentrarchus labrax* / M. S. Diniz, R. Pereira, A. C. Freitas, et al. // *Water, Air, Soil Pollut.* – 2011. – Vol. 217. – P. 35-45.

6. **Строев, Е.А.** Практикум по биологической химии / Строев Е.А., Макарова В.Г. – М., «Высшая школа» 1986. – с. 211-214.

7. **Гераскин, П.П.** Нефтяное загрязнение Каспийского моря как один из факторов инициирования оксидативного стресса у осетровых рыб / Гераскин П.П., Пономарёва Е.Н., Металлов Г.Ф., Галактионова М.Л. // *Изв. Самар. науч. центра РАН* – 2012 – Т.14, № 1 (10) – С. 2658-2665.

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ

Корсак М.Н.¹, Мошаров С.А.^{1,2}, Юсупова К.О.¹

*¹Московский государственный технический университет им. Н.Э.
Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская, 5*

*²Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, 117997, г. Москва,
Нахимовский пр-т, 36, 8(499) 124-63-88,, mosharov@ocean.ru*

Results of series of ecotoxicological experiments in situ on the cooper influence on primary production in the southern Baltic Sea are presented. Tolerance of summer phytoplankton was varied in different area of sea.

Неуклонное нарастание суммарного воздействия многих источников загрязнения приводит к нарушению сбалансированности процессов новообразования и разрушения органического вещества в прибрежных и некоторых открытых районах Мирового океана и возникает реальная опасность снижения устойчивости экосистемы до критического уровня, при котором даже небольшое дополнительное негативное воздействие может привести к необратимой деградации экосистем. Методы экспериментальной оценки уязвимости морских планктонных сообществ на экосистемном уровне практически не разработаны. Традиционные токсикологические методы, основанные на реакции отдельных видов гидробионтов на действие токсикантов, не могут быть использованы для сообществ водных организмов и экосистем в целом. Это связано с тем, что реакции отдельных таксономических групп гидробионтов на воздействие токсикантов различаются и поэтому не отражают интегральное воздействие на сообщество в целом. Помимо этого общая устойчивость планктонного сообщества к токсическому воздействию значительно варьирует в ходе сезонного развития в зависимости от видовой структуры и функциональной активности различных групп фитопланктона [1, 2].

Предлагаемый метод оценки устойчивости планктонных сообществ основан на экспериментальном изучении в условиях, близких к природным, краткосрочной ответной реакции фитопланктонного сообщества на стандартное токсическое воздействие в экотоксикологическом экспе-

рименте, проводимом по схеме «доза-эффект». Среди параметров, характеризующих состояние фитопланктонного сообщества, наиболее чувствительным к негативным воздействиям является интенсивность фотосинтеза, поэтому изучение изменений продукционных процессов под воздействием негативных факторов дает наиболее адекватное представление о реакции экосистемы в целом на загрязнение.

В качестве «мишени» в экотоксикологических экспериментах целесообразно выбирать какие-либо интегральные функциональные показатели определяющие скорость новообразования органического вещества в ходе фотосинтеза в экосистеме – в частности, величину первичной продукции или интенсивность флуоресценции хлорофилла фитопланктона. В качестве маркеров стрессовых факторов воздействия в экспериментах используются либо токсичные металлы, либо стойкие органические загрязняющие вещества.

Количественную оценку ответной реакции фитопланктонного сообщества на внесение различных концентраций токсиканта удобнее всего определять, рассчитывая по результатам эксперимента по схеме «доза-эффект» стандартный токсикологический показатель, например LD50, часто в первом приближении принимаемый за величину «критической концентрации».

В качестве примера использования экотоксикологического метода оценки устойчивости планктонных сообществ рассматриваются результаты исследований в центральной и южной частях Балтийского моря в летний период на станциях: А – центральная часть, В – Борнхольмский район, С – пролив Скагеррак, D – Арконский бассейн, Е – внешняя часть Гданьского залива. Воздействие различных концентраций добавок меди на природные фитопланктонные сообщества изучали *in situ*, при этом в исходных пробах фитопланктона на всех станциях контролировались структурные (биомасса и видовой состав) и функциональные характеристики фитоценозов (величина первичной продукции). В качестве экологической «мишени» использовали процесс первичного продуцирования фитопланктона, определяемый радиоуглеродным методом.

С возрастанием общей биомассы фитопланктона на станциях увеличивалось и количество первичной продукции: от 2,11 мкг С/л ч (ст. В) до 8,19 мкг С/л ч (ст. Е). Минимальные и максимальные значения биомассы для данных станций различались в 25 раз, тогда как величина первичной продукции увеличилась в 4 раза. Очевидно, что массовое развитие водорослей определяло более высокие значения фотосинтеза, но при этом удельная интенсивность первичной продукции (P/V-коэффициент) в данном случае снижалась.

Анализ результатов выполненных экотоксикологических экспериментов позволил установить определенную закономерность в изменении отклика фитопланктона на токсическое воздействие добавок меди в районах с различным уровнем развития фитопланктона.

Полученные экспериментальные зависимости можно разделить на три типа реагирования [3]:

1) остротоксическое действие меди на первичную продукцию, при котором происходит резкое снижение фотосинтетической активности уже при небольшой концентрации меди и дальнейшее ингибирование при более высоких концентрациях;

2) более медленное уменьшение скорости фотосинтеза при увеличении концентрации меди. В отдельных случаях при достижении некоторого предельного низкого уровня первичной продукции дальнейшее повышение концентрации токсиканта не изменяло существенно этот уровень;

3) стимулирование фотосинтетической активности при небольших концентрациях меди (5-10 мкг/л) и последующее снижение (ингибирование) фотосинтеза при увеличении концентрации меди.

Увеличение общей биомассы и продукционной способности фитопланктона в летний период усиливало токсический эффект меди, особенно при концентрации меди 50 мкг/л (рис. 1). Наиболее сильное токсическое снижение скорости фотосинтеза (до 50-70% от контроля) под действием меди было обнаружено в проливе Скагеррак и в центральной части моря, где уровень развития фитопланктона был на высоком уровне. На большинстве станций в период исследований высокие уровни биомассы фитопланктона определялись в основном за счет перидиниевых водорослей. Снижение относительного экотоксикологического эффекта в районе Гданьского залива происходило на фоне высокой общей биомассы фитопланктона и относительно невысокой доли перидиниевых. Таким образом, очевидно, что уязвимость фитопланктона по отношению к экспериментальным добавкам меди в большой степени зависит от доминирования отдельных групп водорослей.

В ходе экспедиционных исследований, когда необходимо определить сравнительную устойчивость фитопланктона в различных районах изученной акватории, проведение описанных выше экотоксикологических экспериментов позволяет получить интегральную количественную оценку ответной реакции фитопланктонного сообщества на внесение различных стандартных концентраций токсиканта. С этой целью для каждой станции удобнее всего рассчитывать по результатам эксперимента по схеме «доза-эффект» стандартный токсикологический показа-

тель, например LD 50, часто в первом приближении принимаемый за величину «критической концентрации». Данный показатель можно рассчитать или методом пробит-анализа с использованием метода наименьших квадратов или же определяя величины LD 50 по результатам эксперимента графическим методом.

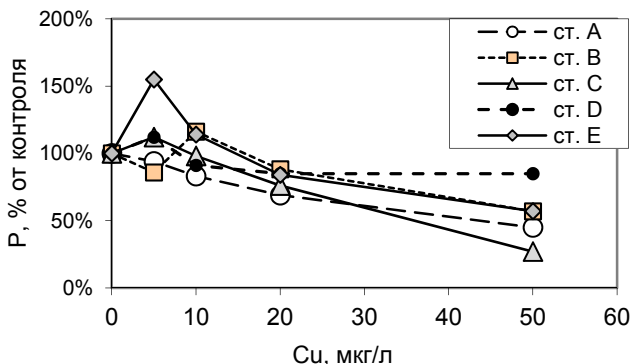


Рис. 1. Ответные реакции продукционных характеристик разных фитопланктонных сообществ на действие меди

ЛИТЕРАТУРА

1. **Домнин С.Г., Корсак М.Н., Мошаров С.А.** К проблеме оценки устойчивости планктонного сообщества к негативным воздействиям // Экология. – 2005. – № 4. – С. 294-299.
2. **Мошаров С.А., Серова Е.М., Корсак М.Н., Даллакян Г.А.** Эко-токсикологические исследования фитопланктонных сообществ в Балтийском море // Вестник Московского Университета. – Сер. 16, Биология. – 2005. – № 2. – С. 34-39.
3. **Патин С.А.** Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. – М.: «Пищевая промышленность», 1979. – 304 с.

ПРИМЕНЕНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В РАМКАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ

Слепчук К.А., Хмара Т.В.

*Морской гидрофизический институт РАН,
ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, (892)540180,
xmara@mhi-ras.ru*

The implementation of mathematical model as one of the main objectives of the ecological monitoring set up demands to in situ observations. The application of biogeochemical model of the Sevastopol Bay as part of the environmental monitoring is considered.

Важнейшая задача экологического мониторинга мелководных акваторий заключается в реализации математических моделей природных процессов, которые в дальнейшем используются для прогноза качества вод и поведения экосистемы при изменении внешних воздействий природного и антропогенного характера. Проблема заключается в отработке методов калибровки параметров математической модели качества морских вод, включая сбор необходимой для этого исходной информации, и приемов использования модели для получения практически значимых результатов.

Для оценки интенсивности связей между компонентами экосистемы требуются гидрологические, гидрохимические, биологические, метеорологические наблюдения, которые выполняются на основе различных методик с разной точностью и дискретностью.

Являясь неотъемлемой частью экологического мониторинга, математическое моделирование предъявляет особые требования к его организации [1]. Если для характеристики экологического состояния морской среды достаточно организовать систему наблюдений за отдельными ее экологическими показателями, то для построения, калибровки и верификации математических моделей необходимо определять не только изменчивость наиболее значимых компонент экосистемы и влияющих на нее факторов, но и скоростей всех важнейших процессов, которые связывают эти компоненты, осуществляя круговорот вещества и энергии в экосистеме.

Изучение современного состояния экосистемы Севастопольской бухты были начаты в 1998 г. как совместные междисциплинарные исследования Морского гидрофизического института и Института биологии южных морей в соответствии с общей концепцией мониторинга морской среды Севастопольского региона [2]. Вследствие длительного и постоянного антропогенного воздействия на полузамкнутую акваторию (зарегулирование речного стока, ограничение водообмена из-за постройки мола, эвтрофикация, как следствие сброса в бухту недостаточно очищенных или неочищенных сточных вод, и пр.) наблюдаются существенные негативные изменения в экосистеме бухты. Эти изменения оказывают заметное влияние на жизнедеятельность гидробионтов, их количественный состав и видовое разнообразие, а также на качество среды их обитания.

Исследования гидрохимических показателей проводятся по приведенной сетке станций (рис. 1) в поверхностном и придонном слоях. Для определения температуры, солености, условной плотности, растворенного кислорода и процента насыщения вод кислородом с дискретностью 0,5 м по вертикали используется зондирующий СТД-комплекс ШИК-01, оснащенный кассетой пластмассовых батометров. В пробах воды, отобранных в поверхностном (1 м) и придонном слоях, определяются: содержание кислорода, величина рН, концентрация фосфатов, кремнекислоты, неорганических соединений азота, общей взвеси. Однако съемки бывают не каждый месяц, не на всех станциях и не всех показателей.

Поскольку фитопланктон является ключевой и часто единственной биотической переменной, рассматриваемой в моделях качества вод, то идентификации параметров его балансового уравнения, таких как скорость фотосинтеза, оптимальной для фотосинтеза освещенности, констант полунасыщения для отдельного биогенного вещества, характеризующие лимитирующую роль биогенных элементов в процессе фотосинтеза, уделяется особое внимание.

Для Севастопольской бухты исследования фитопланктона проводятся на трех станциях (рис. 2), которые отличаются по степени загрязненности: станция в 2-х-мильной зоне от выхода из Севастопольской бухты (относительно чистые воды), станция Равелин (вблизи выхода из Севастопольской бухты), станция в районе Сухарной балки в кутовой части бухты, которая находится под влиянием стока р.Черная. Пробы отбираются 1 – 2 раза в месяц в поверхностном слое воды. В самом загрязненном районе – Южной бухте – пробы фитопланктона не отбираются.

Недостаточное количество натуральных наблюдений в разных точках пространства может восполнить математическое моделирование. При-

менение математического моделирования позволяет не только восполнить пробелы в точках отсутствия натуральных данных, но и осуществить модельную оценку состояния экосистемы в условиях изменчивости ее компонентов. Кроме того, использование модели позволяет получить прогноз эволюции экосистемы при взаимном влиянии природных и антропогенных факторов.



Рис. 1. Схема станций, выполняемых в Севастопольской бухте (• – станции в сезонных съемках (32 станции), ▲ – базовые станции (7 станций)) [3].



Рис. 2. Схема расположения станций отбора проб фитопланктона в Севастопольской бухте [4]

Комплексные многоцелевые пространственно-разрешающие модели качества морских вод состоят из следующих блоков: численная гидродинамическая модель, блок переноса примеси, блок самоочищения от загрязняющих веществ, блок эвтрофикации и кислородного режима.

Для прогноза динамики экологических параметров среды в данной работе использовалась модель качества вод МЕССА (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment). С помощью этой модели в работе [5] было проведено моделирование годовой динамики экологических параметров в акватории Севастопольской бухты.

Модель хорошо воспроизводит годовую динамику экологических параметров. Гидродинамический блок модели использовался для моделирования структуры циркуляции в Севастопольской бухте. Был выявлен ряд особенностей полей течений, присущих данной области.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей на основе современных методов контроля состояния морской среды и гридтехнологий»

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тучковенко Ю.С., Дятлов С.Е.** Предложения по организации комплексного экологического мониторинга морской среды в Одесском регионе СЗЧМ // *Екологічні проблеми Чорного моря: Зб. Матеріалів до 4-го Міжнар. Симпозіуму.* – Одеса: ОЦНТЕІ, 2002. – С.244-248.

2. **Жунько Л.М., Иванов В.А., Ильин Ю.П. и др.** Система экологического мониторинга морской среды Севастопольского региона: обоснование и организационная концепция // *Глобальная система наблюдения Черного моря. Фундаментальные и прикладные аспекты.* – Севастополь: Аквавита, 2000. – С.109-118.

3. **Атлас океанографических характеристик Севастопольской бухты** / Отв. ред. акад. НАНУ Иванов В.А. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. – 320 с.

4. **Лопухина О.А., Манжос Л.А.** Фитопланктон Севастопольской бухты (Черное море) в теплый и холодный периоды 2001 – 2002 гг. // *Экология моря.* – 2005. – вып.69. – С.25-31

5. **Слепчук К.А., Хмара Т.В.** Использование модели качества вод для описания экологического состояния полузакмнутых водоемов (на примере Севастопольской бухты) // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.* – Севастополь, 2016. – вып.4. – С.50-57.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ
ЛОКАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ИСКУССТВЕННЫХ
СУБСТРАТАХ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В
МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ БИОТЫ
КАСПИЙСКОГО МОРЯ**

Ушивцев В.Б.¹

*¹Каспийский филиал Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Сабушкина б к 27, 414056 г. Астрахань, 8(8512)54-45-59
Caspuy@bk.ru*

Hydrocarbon reserves development on the continental shelf of the seas doesn't have sufficient methodical monitoring of the oil companies' impact on the sea biota. In this paper new methodological approaches to expand control in the conservation of aquatic ecosystems under the conditions of offshore hydrocarbon fields development are presented.

Основной закон экологически грамотного природопользования – это, сохранение и восстановление окружающей среды, что должно быть приоритетным при выполнении любых видов работ, связанных с воздействием на природу.

Освоение ископаемых месторождений углеводородов, уже давно вышло с суши на просторы морей и океанов. Моря с каждым годом все больше подвергаются различным антропогенным нагрузкам, многие из которых оставляют тяжелые последствия. Время показало, что особенно уязвимыми являются биоты замкнутых южных морей Евразии, таких как Аральского, Каспийского, Азовского и Черного. Геологоразведка показала, что Азово-Черноморский, и, особенно, Каспийский бассейн открывают широкие перспективы в области нефтегазодобычи.

На лицензионных участках Каспийского моря периодически осуществляется контроль состояния среды и биоты. Многоуровневая экологическая информация, получаемая в экспедициях по стандартным методикам, изначально имеет ограниченную ценность, т.к. в большинстве случаев, на фоне постоянной динамики среды и биоты моря ее объективность в наибольшей степени действительна лишь на момент получения. И в дальнейшем, по мере относительно быстрого устаревания, информация обесценивается с оперативного, до архивного уровня.

Целью настоящих исследований стала идея разработки совершенно нового подхода к методам наблюдений за состоянием моря, к методологии, которая позволила бы получать информацию, отражающую ретроспективу динамики развития среды и биоты. И ценность такой информации была бы намного больше, особенно в прогностических выводах, позволяющих заблаговременно регулировать хозяйственную деятельность с наименьшим ущербом для биоты моря.

Для решения этого вопроса, логично было бы, стандартную сетку станций мониторинговых наблюдений обустроить технически и разместить в каждой точке дорогостоящий комплекс приборов для непрерывной оценки, сбора и хранения информации хотя бы о среде. Но, это крайне дорогое и одностороннее решение вопроса экологического мониторинга, где на фоне изучения ретроспективы среды выпадает информация о состоянии биоты.

Предлагаемый нами путь совершенствования экологических мониторинговых исследований имеет ту же логику создания в точке наблюдений комплекса, но не технического, а биологического, и в перспективе технико-биологического, который на фоне технического накопления информации о состоянии среды, параллельно накапливал бы и биологическую информацию о состоянии биоты. И первый шаг к этому, созданию устойчивой, привязанной к определенному месту локальной экосистемы с высоким биоразнообразием и биомассой сообществ, отражающих и накапливающих в себе информацию об их экологическом состоянии в условиях окружающей среды [1].

Как показали предварительные наблюдения, создать локальный биоценоз можно на искусственном субстрате, имеющем большую экологическую емкость, как универсальный биотоп для широкого биоразнообразия животных и растений [2].

Таким образом, сложились предпосылки для создания сети локальных экосистем на основе технически подобных донных станций, имеющих одинаковую приемную мощность для формирования растительно-животных комплексов в морской среде [3]. Локальная экосистема каждой донной станции формируется в тех условиях среды, которые ее окружают и своим качественным и количественным составом сообщества свидетельствует об ее экологических параметрах [4]. Обустройство сетью станций морских лицензионных участков позволит осуществлять интегральный контроль за состоянием среды и биоты, а также отслеживать появление загрязнений, как внутри лицензионного участка, так и потоков транзита загрязнений с прилегающих районов моря.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ушивцев В.Б.** Экологические и экономические предпосылки к созданию на акватории северного Каспия искусственных рифовых зон / В.Б. Ушивцев, Н.Б. Водовский, М.Л. Галактионова, А.А. Курапов, С.К. Монахов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 5. – С. 78-83.

2. **Ушивцев В.Б.** Искусственные рифы и проблема сохранения биологического разнообразия северного Каспия / В.Б. Ушивцев, Н.Б. Водовский, Д.И. Ермаков, М.Л. Галактионова, В.В. Ушивцев, С.В. Востоков, А.А. Курапов, С.А. Котеньков // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2009. – № 9. – С. 72-76.

3. **Ушивцев В.Б.** Особенности донных биоценозов, возникающих в местах расположения ликвидированных скважин / В.Б. Ушивцев, М.Л. Галактионова, В.В. Ушивцев // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2011. – № 10. – С. 63-67.

4. **Ушивцев В.Б.** Опыт исследования устьев ликвидированных поисково-оценочных скважин в Каспийском море / В.Б. Ушивцев, Водовский Н.Б., М.Л. Галактионова, Д.И. Ермаков, Ушивцев В.В., С.А. Котеньков // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. – № 5. – С. 37-44.

УДК 57.087.3

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИКОПТЕРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕТНИХ ПРИБРЕЖНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ БЕЛУХ

Беликов Р.А.^{1,2}, Литовка Д.И.², Прасолова Е.А.¹, Краснова В.В.¹

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-59-65,
mirounga76@mail.ru*

² *ЧукотТИНРО-центр, ул. Отке 56, г. Анадырь, 689000, 8(427)2226761,
d-litovka@yandex.ru*

Experimental using of semi-professional multicopters for studying the White Sea and Anadyr Estuary beluga whales is considered. Multicopters are the most promising UAVs for local fine-scale researches. Modern semi-professional multicopter systems are simple in use, enough reliable, effective and versatile.

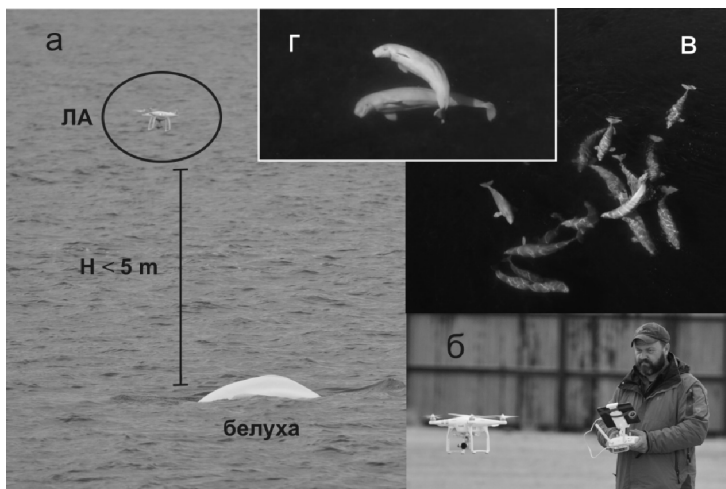
В последние два-три года наблюдается взрывообразный рост применения летательных аппаратов (ЛА) мультикоптерного типа в научных целях [1–3]. Благодаря успехам отдельных компаний, появились доступные и весьма функциональные мультикоптерные системы полупрофессионального уровня. Лидирующее положение среди них, безусловно, занимают аппараты модельного ряда Phantom от компании DJI Innovations (Китай). К сожалению, готовые бюджетные системы ведущих производителей, включая модели Phantom DJI, по-прежнему не являются влагозащищенными, что резко повышает риски при использовании этих аппаратов над водной поверхностью. Так, ранние попытки использования мультикоптеров для изучения беломорских белух в 2012–13 гг. оказались неудачными: два аппарата упали в воду и вышли из строя во время первых рабочих полетов. Квадрокоптер DJI F450 упал в воду при съемке мягостровских белух (оператор не справился с управлением ЛА в сильный ветер), гексакоптер DJI F550 внезапно упал в воду у м. Белужий о. Соловецкий (вероятно, из-за технических неполадок).

Однако, несмотря на краткосрочность применения, удалось установить, что соловецкие белухи негативно реагируют на мультикоптер, что было подтверждено в 2014 г. при использовании Phantom 2 Vision для съемок документального фильма. В результате для проведения воздушного видеонаблюдения за белухами стали использовать альтернативные технические средства: профессиональные воздушные змеи и гибридный аэростат (геликайт).

Тем не менее, появление на рынке новых, более функциональных и надежных мультикоптеров заставило нас вновь вернуться к использованию летательных аппаратов данного типа (рис. 1). В период с июня по сентябрь 2016 г. на Белом море и в Анадырском лимане применяли два квадрокоптера: DJI Phantom 3 Standard (мягостровское и соловецкое скопление) и DJI Phantom 3 Professional (соловецкое и анадырское скопление).

Phantom 3 Standard является модернизированной версией аппаратов второго поколения Phantom. Он имеет малый радиус действия (500 м). Однако его функциональные возможности вполне достаточны для выполнения простых задач. По сути, данная модель является оптимальным выбором при создании беспилотной авиационной системы в рамках проекта с ограниченным финансированием. DJI Phantom 3 Professional – наиболее совершенная модель третьего поколения. Он имеет более совершенную камеру и аппаратуру управления, оснащен системой видеосвязи LightBridge и может летать в радиусе 2–3 км.

Благодаря своим функциональным возможностям Phantom 3 Professional может составить достойную конкуренцию FPV-аппаратам самолетного типа при проведении локальных авиаучетов в ближней зоне. При этом мультикоптеры значительно компактнее, чем самолеты, удобнее в хранении и при перевозке, быстрее готовятся к полету, доступны в виде уже готовых к полету и съемке систем, а их использование практически не требует специальных знаний и навыков.



а, б – съемка белух Анадырского лимана в нагульном скоплении у мыса Заселения (10-й причал), в – активные социальные взаимодействия белух в соловецком репродуктивном скоплении, г – соловецкие белухи, осматривающие квадрокоптер перед тем, как покинуть акваторию скопления и скрыться от него на глубине

Рис. 1. Фрагменты фотографий и стопкадров, иллюстрирующие использование мультикоптера

Менее однозначна ситуация с возможностью применения мультикоптеров для воздушного видеонаблюдения. Изначально аппараты этого типа предполагалась применять, главным образом, для решения подобных задач. Причем считалось, что основным недостатком мультикоптеров является ограниченная продолжительность полетов, из-за чего трудно, а зачастую невозможно обеспечить проведение длительных, непрерывных наблюдений. Однако в ходе ранних попыток использования коптеров в соловецком репродуктивном скоплении выяснилось, что

основным лимитирующим фактором, вероятно, является их относительно высокая шумность, пугающая животных и делающая невозможными продолжительные этологические наблюдения. Коптеры издают своеобразный шум и при этом не перемещаются, зависая на одном месте и оказывая давящее, угрожающее воздействие на животных. Тем не менее, сравнение результатов первых полетов в мягостровском и соловецком скоплении позволило предположить, что степень влияния коптера, как фактора беспокойства, может сильно зависеть от конкретных условий полета и объектов наблюдения.

Действительно, многочисленные полеты мультикоптеров, выполненные нами в 2016 г. в трех прибрежных скоплениях белух, подтвердили это предположение. Выявлено, что реакция белух на присутствие мультикоптера сильно варьирует в зависимости от высоты полета и угла позиционирования ЛА, скорости ветра, поведения белух и, самое главное, их принадлежности к тому или иному летнему скоплению и популяции. Беломорские белухи мягостровского скопления и животные Анадырского лимана (Чукотка) практически не реагируют на приближение и присутствие мультикоптера. Благодаря этому была возможна их продолжительная съемка со сверхмалых высот – порядка 10 м. Для соловецких белух, напротив, была характерна весьма негативная реакция на мультикоптер. Наблюдение за ними желательнее проводить с высоты не ниже 30, а в ряде случаев 50 м, располагая ЛА сбоку от объекта съемки. Усиление ветра, повышение активности животных, их числа, а также, вероятно, глубин участка, на котором они находятся, являются факторами, ослабляющими беспокоящее влияние мультикоптера на белух.

Для минимизации негативного воздействия, при проведении полетов ЛА над скоплениями белух в научных целях должен использоваться предупредительный подход. Полеты в иных целях (кинематографических, развлекательных) должны жестко регламентироваться, вплоть до полного запрета – в наиболее критические периоды функционирования летних скоплений. Особое опасение, в этой связи, вызывает соловецкое репродуктивное скопление белух. Учитывая сильную негативную реакцию соловецких животных на мультикоптеры и все более широкое распространение аппаратов данного типа, срочно необходима регламентация полетов беспилотных средств над белухами, находящимися на акватории данного скопления.

В будущем могут появиться менее шумные и соответственно менее заметные мультикоптеры, а также системы, оснащенные высококачественной оптикой, позволяющей многократно увеличивать изображение и

за счет этого вести наблюдения с большей высоты, не беспокоя животных [2]. Другой альтернативный вариант – создание так называемых «безопасных», малозумных, привязных мультикоптерных комплексов с практически неограниченным временем полета, таких как инновационная профессиональная система Fotokite Pro ТМ (Швейцария).

В целом, мультикоптеры в настоящее время, по всей видимости, являются наиболее перспективными аппаратами для проведения локальных исследований морских млекопитающих. Современные полупрофессиональные мультикоптерные системы просты в эксплуатации, достаточно надежны, эффективны и универсальны (способны выполнять как локальные авиаучеты, так и вести воздушное видеонаблюдение). Однако малая продолжительность и дальность полета, низкая влагозащитенность и высокая шумность являются основными факторами, ограничивающими сферу их применения.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Международного фонда защиты животных (IFAW) и Департамента сельскохозяйственной политики и природопользования Чукотского автономного округа.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Goebel M.E., Perryman W.L., Hinke J.T., Krause D.J., Hann N.A., Gardner S., LeRoi D.J.** A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators // *Polar. Biol.* 2015. 38: 619-630.
2. **Pomeroy P., O'Connor L., Davies P.** Assessing use of and reaction to unmanned aerial systems in gray and harbor seals during breeding and molt in the UK // *J. Unmanned Veh. Syst.* 2015. 3: 102-113.
3. **Durban J.W., Fearnbach H., Barrett-Lennard L.G., Perryman W.L., Leroi D.J.** // *J. Unmanned Veh. Syst.* 2015. 3: 131-135.

**РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КАЧЕСТВА ВОД И ПРОДУКТИВНОСТИ МОРСКИХ
ЭКОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

**Чурилова Т.Я.¹, Суслин В.В.², Кривенко О.В.¹, Ефимова Т.В.¹,
Моисеева Н.А.¹**

¹ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О.
Ковалевского РАН»

Россия, 299011, Севастополь, пр. Нахимова, 2

²ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН», Россия, 299011,
Севастополь, ул. Капитанская, 2

Operative monitoring and forecasting of change in marine ecosystem state based on remote sensing can be realized on the base of regional bio-optical models of assessment of water productivity indicators and reference level of the indicators.

Оперативный мониторинг состояния водных экосистем с использованием данных ДЗЗ предполагает использование региональных моделей оценки показателей качества и продуктивности вод, и определение их значений «нормы».

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса открывает возможность создания системы оперативного мониторинга и прогнозирования изменений в состоянии морских экосистем. Однако, для реализации этой задачи, значимой для сохранения и рационального использования морских ресурсов, необходимо корректно трансформировать данные ДЗЗ в показатели качества и продуктивности вод. Стандартный продукт «концентрация хлорофилла а в поверхностном слое» рассчитывается по алгоритмам NASA, основанным на биооптических показателях океанических вод 1-го типа [1]. Несмотря на постоянное уточнение стандартного алгоритма NASA [2], даже последние версии (OC4 для SeaWiFS, и OC3M для MODIS-Aqua/Terra) не дают адекватной оценки динамики хлорофилла а в Черном море: значения концентрации хлорофилла а в глубоководной области Черного моря в летний период завышаются, тогда как величины этого показателя в период зимне-весеннего «цветения» фитопланктона существенно занижаются [3]. Для коррект-

ной трансформации оптических сигналов, фиксируемых на спутниках, в показатели качества и первичной продуктивности вод требуется создание региональных алгоритмов, основанных на типичных для конкретного региона закономерностях пространственно-временной изменчивости биооптических свойств его вод. На основе обобщения многолетнего массива биооптических данных проведена параметризация поглощения света всеми оптически активными компонентами моря, выявлены ее сезонные и региональные особенности. Полученные закономерности были использованы для развития моделей оценки концентрации хлорофилла а и поглощения света растворенным и взвешенным веществом в поверхностном слое Чёрного моря [4], спектральных моделей проникающей в море фотосинтетически активной радиации и первичной продукции [3]. Сравнение модельных оценок показателей продуктивности вод с результатами измерений соответствующих параметров, проведенных *in situ*, показали высокую точность предложенных региональных алгоритмов.

Точные региональные алгоритмы являются основой для реализации оперативного мониторинга состояния водных экосистем. Создание тематических продуктов по запросу отдельных пользователей (органы Росприроднадзора, Росрыболовства, профильные НИИ и академические институты) предполагает оценку значений «нормы» для соответствующих показателей, которую следует проводить с учетом их сезонной и пространственной изменчивости [5]. Обсуждается набор тематических продуктов, которые могут быть предложены на основе расчетов по региональным алгоритмам с использованием данных ДЗЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Morel A., Prieur L.** (1977) Analysis of variations in ocean color. *Limnology and Oceanography*, 22 (4): 709-722.

2. **O'Reilly J.E.** & 24 co-authors (2000) SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3. NASA Technical Memorandum. 2000-206892, Vol. 11. Hooker S.B., Firestone E.R. (eds.) NASA Goddard Space Flight Center, 49 p.

3. **Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Кривенко О.В., Ефимова Т.В., Моисеева Н.А.** (2016) Спектральный подход к оценке скорости фотосинтеза фитопланктона в Черном море по спутниковой информации: методологические аспекты развития региональной модели // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Биология». Т. 9, № 4. – С. 367-384. doi: 10.17516/1997-1389-2016-9-4-367-384 http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/26345/01_Churilova.pdf?sequence=1&isAllowed=y

4. **Suslin V., Churilova T.** (2016) The Black Sea regional algorithm of separation of light absorption by phytoplankton and colored detrital matter using ocean color scanner's bands from 480-560 nm // International Journal of Remote Sensing. Vol. 37, iss. 18, P. 4380-4400.

5. **Kryvenko O., Churilova T., Suslin V.** (2016) The Black Sea ecosystem state monitoring: Development of the approach based on remote sensed data // Rapport Commission Internationale Mer Mediterranee. Vol. 41. – P 182. – (Rapport du 41-e Congress de la Ciesm).

УДК 551.463

СРАВНЕНИЕ ИЗМЕРЕННЫХ И РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БИОМАСС ДИАТОМОВОГО ФИТОПЛАНКТОНА В РАЗНЫХ РАЙОНАХ БЕЛОГО МОРЯ

Колтовская Е.В.¹, Леонов А.В.²

¹*МГУ, Географический ф-т. Москва, 119991, ГСП-1. Ленинские горы.
katyaaya15@gmail.com*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-58-29,
leonov@ocean.ru*

The hydroecological CNPSi-model was used as an instrument to reproduce the annual dynamics of biogenic substances and biomasses of bacteria, phyto- and zooplankton in the waters of nine White Sea regions on the base of long term water environment parameters. It was shown a correspondence between the measured and model-simulated values of biomasses and production of diatomic phytoplankton as a dominated plankton group in the waters of the White Sea.

Фитопланктон (Ф) – один из наиболее изученных биологических компонентов морских экосистем, и роль Ф в их функционировании весьма существенна, так как Ф – основной продуцент органического вещества (ОВ). В планктоне Белого моря диатомовые водоросли отличаются наибольшей биомассой, значительным количеством видов и своим разнообразием [1]. Биомассу Ф оценивают разными методами. Традиционные аналитические методы – наиболее трудоемкие. При этом

биомасса Φ выражается массой особой популяции или сообщества на единицу площади (м^2 , км^2 , га) или объема (мл, л, см^3 , м^3) воды. Ее обычно выражают в единицах массы вещества (сырого, сухого, сухого обеззоленного) или органического С, реже – в других единицах (калории, хлорофилл «а», содержание N, глюкозы, аденозинтрифосфата). Биомасса Φ вычисляется на основе среднего объема клеток каждого вида (разнообразие оценивается при подсчете общей численности клеток при количественной обработке специально отобранных проб). Формы клеток Φ сопоставляют с подобными по форме геометрическими фигурами (измеряют параметры клеток, вычисляют их объемы по формулам геометрических фигур, которые подобны по виду формам клеток Φ). После сложения полученных данных вычисляют средний объем клетки данного вида. Удельный вес водорослей принимается за 1, а масса их клеток – эквивалентной их объему. Биомасса популяции Φ оценивается умножением их численности на массу, а суммирование биомассы для каждого вида дает значение для всего сообщества Φ в пробе [2]. В последние годы получают все большее развитие дистанционные методы исследований, в частности, наблюдения со спутников. Полученные с помощью таких наблюдений данные по цветности поверхностных вод сравниваются с аналитическими наблюдениями и измеренными биомассами Φ для получения уравнений для вычисления биомасс Φ по спектральным характеристикам цветности исследуемых вод [3]. Показателем активности Φ служит его продукция, которая может оцениваться кислородным методом или по C14 [4]. Есть также возможность оценки показателей биомасс Φ с помощью численных методов, а именно, на основе использования математических моделей, например, имитационной гидроэкологической CNPSi-модели [5], которая уже применялась для изучения состояния морской экосистемы Белого моря [6], а также условий загрязнения и трансформации нефтяных углеводородов в его разных районах [7]. CNPSi-модель описывает внутригодовую динамику химико-биологических показателей состояния водной среды, мгновенные скорости процессов, ответственных за изменение концентраций веществ, внутренние и внешние потоки веществ в разных районах исследуемого водоема (предусмотренное их максимальное количество для исследования – 10), а также время оборота всех рассматриваемых в модели химических и биологических компонентов [5]. Встроенная в модель система отображения результатов расчетов позволяет сразу после расчетов получать наглядные иллюстрации для демонстрации результатов расчетов в виде графиков и диаграмм для всех химико-биологических переменных, а также агрегированных фракций N, P и Si,

значений времен оборота всех расчетных показателей (концентраций химических веществ и биомасс организмов), значений продукции организмов и др. показателей [8].

Сравнения результатов оценки разными методами показателей биомасс доминирующего диатомового Ф даст возможность оценить соответствие и взаимозаменяемость этих методов в экологических исследованиях состояния морских экосистем (в частности, в водах Белого моря – аналога морских экосистем северного региона).

Выбранные данные для сравнения показателей биомасс Ф по результатам исследований включают: информацию из монографии [1] (данные по биомассам и продукции Ф, пигменту хлорофилл «а»), спутниковые наблюдения, а также вычисленные на CNPSi-модели значения биомасс и продукции Ф, которые получены по среднесноголетним данным за изменением основных параметров морской среды (температура, освещенность, прозрачность воды, водообмен, биогенная нагрузка) в разных районах Белого моря.

Сравнение оцененных показателей биомасс Ф, полученных аналитическими и численными методами, позволит при необходимости скорректировать данные вычислений, уточнить значения отдельных параметров, используемых при реализации математических моделей. Также использование численных методов моделирования существенно расширяет возможности экологических исследований, так как они основаны на системном подходе и учитывают влияние на биоту многих факторов среды (природных и антропогенных).

В данном исследовании сравнивались две группы показателей биомасс Ф:

1. значения хлорофилла «а» – измеренных аналитически и со спутников;
2. значения биомасс и продукции Ф – измеренных аналитически и вычисленных с помощью CNPSi-модели.

В этом сообщении представлены и обсуждаются результаты сравнения по серии 2. Размерность биомассы и продукции Ф в измеренных значениях – соответственно мг С/м^3 и $\text{мг С/(\text{м}^2 \text{сут})}$, а в расчетах – мг N/л и $\text{г N/(\text{л мес.})}$. При пересчете расчетной биомассы ее значение в мг N/л умножалось на 106 и на 12, а затем делилось на 14 и на 16, в итоге получали размерность мг С/м^3 , значение расчетной продукции в $\text{г N/(\text{л мес.})}$ также умножается на 106 и на 12, делится на 14 и 16, и далее следуют еще два действия – деление на количество дней в месяце (для которого делается пересчет) и умножение на толщину продуктивного слоя

(принят равным 10 м) [4], в итоге получаем размерность измеряемой продукции – мг C/(м² сут).

Распределение показателей биомассы Φ в пределах каждой акватории моря характеризуется значительной неравномерностью в зависимости от расположения станций и отбора проб воды (устьевая зона впадающих в море рек, прибрежная зона, вершины заливов, районы открытого моря, области масштабных круговоротов воды), поэтому по акватории района в наблюдаемых значениях биомасс (также и продукции) Φ в конкретный срок отличия в значениях на разных станциях могут быть в несколько десятков раз. Подобные отличия по результатам расчетов на CNPSi-модели исключаются, так как для каждого района в конкретный срок предполагаются идентичные условия по всем показателям водной среды, существенные отличия в расчетных значениях в одном районе могут быть только между отдельными сроками наблюдений, или данного показателя в один срок по разным районам. На рис. 1 показана расчетная по среднемноголетним данным годовая динамика биомасс диатомового Φ по районам Белого моря: в каждом районе можно выделить свои особенности развития биомасс $F1N$, также заметны их отличия по районам моря в разные сроки в течение года.

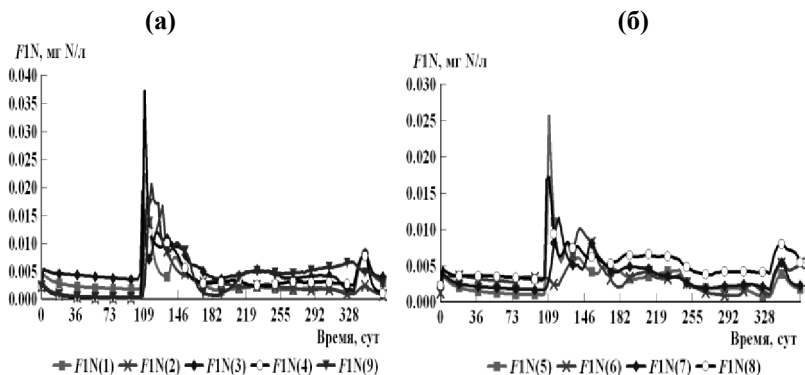


Рис. 1. Расчетная динамика биомасс диатомового Φ ($F1N$): (а) в водах заливов – (1) Кандалакшский зал., (2) Онежский зал., (3) Двинский зал., (4) Мезенский зал., (9) губа Чупа; (б) в открытых участках моря – (5) Соловецкие о-ва, (6) Бассейн, (7) Горло, (8) Воронка

Измеренные значения продукции Φ [1] представлялись на единицу площади (на м²) или на единицу объема вод (на м³). Для сопоставления

с расчетами была выбрана размерность продукции на m^2 , а толщина слоя продукции была принята для всех районов равной 10 м. Расчетное значение продукции на m^3 оказалось менее точным, так как в расчетах рассматривались показатели, осредненные в целом для всей толщи вод, а измеренные показатели характеризовали в основном поверхностный (или продуктивный) слой столба воды.

В таблице приведены измеренные аналитически и расчетные показатели. Отметим, что диапазон измеренных показателей гораздо выше, чем расчетных (о причинах сказано ранее), поэтому результат сравнения признавался положительным при попадании среднего расчетного значения в диапазон измеряемого. При наблюдении в конкретный период на стыке двух месяцев в расчетной продукции Φ указан диапазон значений для этих месяцев и ее средняя величина, в иных случаях для пересчета выбиралось одно значение, соответствующее месяцу наблюдений. Обращаем внимание на абсолютно разные принципы оценки значений сравниваемых показателей: измеренные получены с помощью трудоемких аналитических методов, а расчетные – при системном анализе по вычисленным внутренним потокам веществ, формирующим биомассу диатомового Φ (потребление веществ, выделение продуктов обмена, отмирание биомассы, ее выедание хищниками и привнос/вынос течениями через границы соседних районов)!!! Сравнение измеренных и расчетных величин показывает, что средние расчетные значения показателей (и биомасс, и продукции Φ) в большинстве случаев попадают в диапазон значений, оцененных аналитически.

Численные методы анализа накопленных океанологических данных с помощью математического моделирования существенно расширяют возможности исследований состояния морских экосистем и показателей качества морских вод, поскольку по результатам одного расчета можно получить для изучаемого периода количественную сводку разнообразной информации о процессах, развивающихся в водной среде в разных акваториях морского бассейна. Пример получаемых сведений по результатам расчетов на CNPSi-модели с далеко не полным перечнем иллюстраций, показывающих изменения значений показателей за изучаемый годовой период, приведен в [8]. На рис. 2 приведен пример оцениваемых с помощью CNPSi-модели потребляемых за год суммарных количеств N и P диатомовым Φ в разных районах Белого моря.

Вся полученная с помощью CNPSi-модели расчетная информация позволяет создать своеобразный биогеохимический портрет исследованной экосистемы, поскольку раскрывает количественно ее внутренний потенциал и значимость внутриводоемной трансформации естест-

венных биогенных (органических и минеральных компонентов) и антропогенных веществ (в частности, нефтяных углеводородов). Условия функционирования морских экосистем определяются комплексом действующих природных факторов, внешними источниками и процессами переноса/водообмена, обеспечивающими поступление в экосистемы веществ и их перераспределение по морским акваториям.

Таблица. Сравнение значений биомасс и продукции диатомового Ф в разные периоды по районам моря

Дата наблюдений / (период работ в сут)	Измеренные показатели		Расчетное значение
	параметр, размерность	Диапазон	
Онежский зал.			
15. VI (166 сут)	Биомасса, мг C/м ³	1.45 – 30.94	18.558
(17–26).VI.2012 (168–177 сут)	Биомасса, мг C/м ³	1.71 – 27.12	(17.070–17.217) 17.058
(06–11).VII.2009 (207–215 сут)	Биомасса, мг C/м ³	2.50 – 80.70	(11.948–12.896) 12.271
(26.VIII – 03.IX).2007 (238 сут)	Биомасса, мг C/м ³	19.00	14.162
(21.VI–8.VII).191 (172–189 сут)	Продукция, мг C/(м ² сут)	50.00 – 200.00	(96.540–124.020) 110.28
(20–30).VII.1972 (201–211 сут)	Продукция, мг C/(м ² сут)	74.00	96.54
(21–29).VII.1988 (202–210 сут)	Продукция, мг C/(м ² сут)	40.00 – 80.00	96.54
(10–15).VII.1989 (222–227 сут)	Продукция, мг C/(м ² сут)	48.00	64.39
губа Чупа			
(17–26).VI.2012 (168–177сут)	Биомасса, мг C/м ³	3.45 – 8.37	(4.611–10.100) 6.826
(26.VIII–03.IX).2007 (238 сут)	Биомасса, мг C/м ³	57.00	27.876
(21.VI–8.VII).1991 (172–189 сут)	Продукция, мг C/(м ² сут)	40.00 – 150.00	(56.470–126.420) 91.145
(20–30).VII.1972 (201–211 сут)	Продукция, мг C/(м ² сут)	22.00 – 60.00	56.470
(21–29).VII.1988 (202–210 сут)	Продукция, мг C/(м ² сут)	10.00 – 190.00	56.470
(13–14).VIII.1988 (225–226 сут)	Продукция, мг C/(м ² сут)	12.00	194.080
(10–15).VIII.1989 (222–227 сут)	Продукция, мг C/(м ² сут)	82.00	194.080

Дата наблюдений / (период работ в сут)	Измеренные показатели		Расчетное значение
	параметр, размерность	Диапазон	
Двинский зал.			
(06–11).VII.2009 (207–215 сут)	Биомасса, мг С/м ³	6.01 – 17.90	(23.344–24.571) 23.981
(10–17).VII.2012 (191–198 сут)	Биомасса, мг С/м ³	12.40 – 23.10	(20.107–22.288) 21.187
(26.VIII–03.IX).2007 (238–246сут)	Биомасса, мг С/м ³	10.00 – 90.00	(27.007–28.643) 28.052
(21.VI–8.VII).191 (172–189 сут)	Продукция, мг С/(м ² сут)	10.00 – 580.00	(148.91–206.210) 177.56
(20–30).VII.1972 (201–211 сут)	Продукция, мг С/(м ² сут)	40.00 – 126.00	148.910
(21–29).VII.1988 (202–210 сут)	Продукция, мг С/(м ² сут)	81.29	148.910
(10–15).VIII.1989 (222–227 сут)	Продукция, мг С/(м ² сут)	370.00	190.530
Бассейн			
(06–11).VII.2009 (207–215 сут)	Биомасса, мг С/м ³	6.60 – 30.20	(19.909–23.333) 22.152
(10–17).VII.2012 (191–198 сут)	Биомасса, мг С/м ³	14.90 – 67.30	(17.207–21.533) 19.705
(26.VIII–03.IX).2007 (238–246 сут)	Биомасса, мг С/м ³	7.00 – 171.00	(18.007–20.732) 19.557
(21.VI–8.VII).191 (172–189 сут)	Продукция, мг С/(м ² сут)	50.00 – 300.00	(104.06–164.09) 134.080
(20–30).VII.1972 (201–211 сут)	Продукция, мг С/(м ² сут)	8.00 – 149.00	104.060
Горло			
(10–17).VII.2012 (191–198 сут)	Биомасса, мг С/м ³	38.60 – 39.30	(26.735–27.280) 27.002
(20–30).VII.1972 (201–211 сут)	Продукция, мг С/(м ² сут)	80.00	112.290
Мезенский зал.			
(21–29).VII.1988 (202–210 сут)	Продукция, мг С/(м ² сут)	40.00 – 90.00	92.0890

Прогнозирование изменения свойств природных вод, включая оценку их состояния и качества (при непременном участии населяющих природные воды организмов низшего трофического звена – гетеротрофных бактерий, фито- и зоопланктона) возможно по мере накопления информации об основных химико-биологических показателях вод.

Отдельные фрагментарные измерения химических и биологических переменных состояния морских вод не дают возможности строить надежные прогнозы по изменению свойств природных вод. Опыт практического применения CNPSi-модели показывает, что математическое моделирование может использоваться как инструмент для исследования на системной уровне состояния морских экосистем и внутриводоемных процессов, влияющих на качество водных ресурсов. Сравнение имеющихся измеренных и расчетных показателей Φ служит убедительным доказательством этого факта.

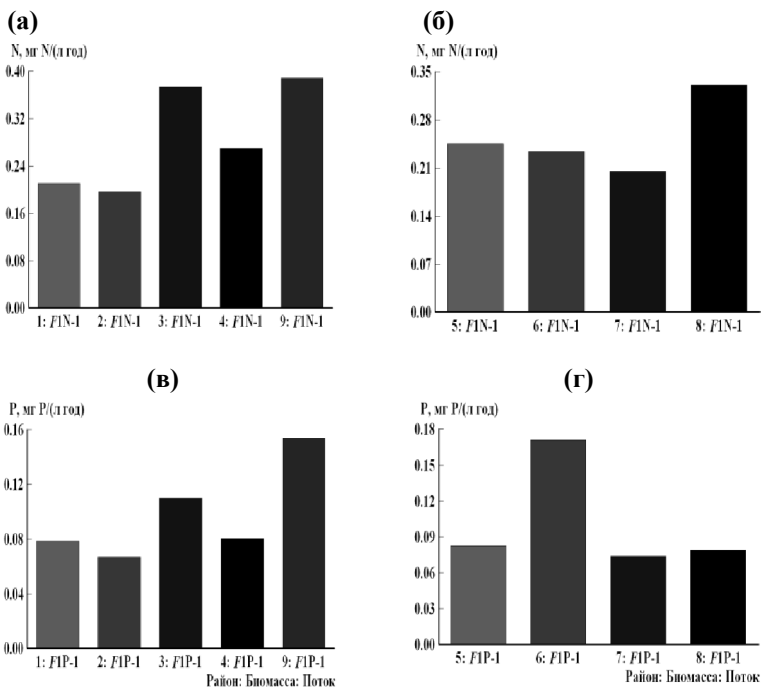


Рис. 2. Изменение расчетных количеств потребляемого за год N (а, б) и P (в, г) в заливах (а, в) и открытых акваториях (б, г) Белого моря (моделирование)

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д. Фитопланктон Белого моря. М.: «Янус-К», 2003. 168 с.

2. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1980.

3. **Зенкин О.В., Леонов А.В., Пищальник В.М., Покрашенко С.А.** Использование спутниковой информации для характеристики фитопланктона в водах Охотского моря // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 4. С. 466–477.

4. **Константинов А.С.** Общая гидробиология. М.: Высш. шк., 1986. 472 с.

5. **Леонов А.В.** Моделирование природных процессов на основе имитационной гидроэкологической модели трансформации соединений С, N, P, Si. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2012. 148 с.

6. **Леонов А.В., Филатов Н.Н., Здоровеннов Э.Е., Здоровеннова Р.Е.** Математическое моделирование условий функционирования экосистемы губы Чупа Белого моря: трансформация органогенных веществ и биопродуктивность морской среды // Вод. ресурсы. 2006. № 5. С. 586–614.

7. **Леонов А.В., Семеняк Л.В., Чичерина О.В.** Углеводороды в Белом море: их поступление и трансформация в морской среде в разных районах // Водные ресурсы. 2017. Т. 43. № 1. с. 38–62.

8. **Леонов А.В., Пищальник В.М., Зарипов О.М.** Моделирование природных процессов: система отображения результатов расчетов на CNPSi-модели. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2012. 160 с.

VI. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.3

МОНИТОРИНГ ПРОИЗВОДСТВА НАБЛЮДЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Вязилов Е.Д.¹, Мельников Д.А.¹

¹ ФГБУ «Всероссийский научно – исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных», ул. Королева, 6, 249035, г. Обнинск, 8(484)3974676. vjaz@meteo.ru, melnikov@meteo.ru

The prospects of Roshydromet IT development of monitoring systems in the field of observations and processing the information are presented. The existing tools for the integration of observation, collection, processing, and delivery of information products, automatic monitoring systems of measurement, forecasting and reporting are considered.

В Росгидромете произведена практически 100% оцифровка основных видов данных, собираемых как в режиме реального времени, так и в отложенном режиме, автоматизированы основные процессы сбора, первичной обработки, подготовки ежемесячников и ежегодников, анализа, прогноза, контроля, хранения, обмена, доступа и визуализации данных. В рамках проекта «Модернизация Росгидромет-1» (2008–2013 гг.) приобретено более 1500 современных автоматических комплексов, передающих информацию без участия человека. В рамках Федеральной целевой программы «Геофизика» разработано и установлено более 500 современных геофизических приборов. Появилась возможность интеграции данных, предоставляемых различными организациями Росгидромета и других ведомств [1]. Основные функции Росгидромета по обработке данных перемещаются в распределенную среду.

Все это открывает новые возможности по развитию гидрометеорологического обеспечения промышленных предприятий и населения. В тоже время имеется насущная необходимость мониторинга производственных процессов и автоматизации управления процессами обработки данных, охватывающих все этапы жизненного цикла данных – от наблюдений до их использования.

Мониторинг производства наблюдений. В настоящее время в России действует более 6500 гидрометеорологических станций, в т. ч. более 1900 метеорологических, 3500 гидрологических станций и постов. Для их мониторинга в 2015-2016 гг. произведено развитие автоматизированной системы учета наблюдательных подразделений (<http://asunp.meteo.ru/portal/asunp/>). Улучшен интерфейс поиска наблюдательных подразделений (НП), реализована система удаленного ввода сведений о НП.

Мониторинг сбора и первичной обработки данных. Наиболее автоматизированным вариантом является система учета и мониторинга поступления оперативных данных, поступающих по каналам глобальной сети телесвязи. Здесь имеется два уровня мониторинга. Первый реализован на уровне автоматизированной системы передачи данных. На гидрометеорологические фиксированные станции, не передавшие свои наблюдения в срок в соответствии с регламентом, посылается запрос. С помощью систем ОМЕГА и Cliware (<http://cliware.meteo.ru/meteo/>), можно получить карту НП, передавших данных за любой период времени. Слабым местом такой схемы учета поступлений оперативных данных является отсутствие возможности контроля поступлений от подвижных наблюдательных платформ. Этот недостаток частично реализуется на основе Глобального центра информационной системы Всемирной метеорологической организации, где на основе обмена с другими глобальными центрами можно получить недостающие сообщения (<http://portal.gisc-msk.wis.mecom.ru/portal>).

Учет поступивших комплектов данных в отложенном режиме с гидрометеорологических, гидрологических, прибрежных, агрометеорологических и других типов станций ежемесячно отмечается в текстовом редакторе.

Сведения о выполненных морских экспедициях отмечаются в Каталоге рейсов научно-исследовательских судов, который функционирует уже более 30 лет и насчитывает более 34400 экспедиций (<http://portal.esimo.ru/portal/portal/esimo-user/metadata>). Мониторинг поступления данных может быть реализован на основе анализа заявок на проведение научных исследований и формируемого на их основе Плана экспедиционных работ на конкретный год и каталога выполненных рейсов.

В системах мониторинга поступления данных не хватает автоматизации контроля поступления данных, средств учета передачи данных в Государственный фонд по гидрометеорологии на длительное хранение.

Мониторинг выпускаемой информационной продукции (ИП). Системы мониторинга должны включать и средства учета ИП, пользо-

вателей информации. К сожалению, кроме списков ИП (бюллетеней, анализов, прогнозов, обобщений, справочников, атласов), периодически подготавливаемых Росгидрометом, не существует системы учета ИП, подготавливаемой во всех организациях Росгидромета. На сайте Росгидромета имеется раздел «Основные информационные ресурсы и продукция Росгидромета» (<http://www.meteorf.ru/product/info/>), в котором представлена 41 ссылка на ИП, представленную на сайтах организаций Росгидромета. Для этих ссылок нет метаданных, которые позволили бы организовать их поиск. Они отражают только очень небольшую часть ИП, которая готовится в Росгидромете.

В настоящее время в рамках ИИТС подготовлен прототип Информационного портала Росгидромета (<http://portal.esimo.net/portal/portal/arm-gosgidromet/Продукция>), в котором представлена информационная продукция на основе интегрированных данных. Учет ИП позволит контролировать ее актуальность, а главное – уменьшить дублирование в подготовке похожей продукции.

Мониторинг доставки информационной продукции до лиц, принимающих решения. В настоящее время ИП доставляется нарочным (существует список организаций и лиц, которым доставляется ИП), по телефону, факсу (имеется бумажный журнал передачи с указанием даты и времени), электронной почте (имеются списки рассылки).

Руководитель предприятия должен получить не только значения показателей гидрометеорологической обстановки в электронном виде, но и значение уровня опасности, сведения о возможных воздействиях опасных явлениях на рассматриваемый объект, оценку возможного ущерба, рекомендации для принятия превентивных мер и их стоимость, а также средства выбора наиболее эффективных вариантов решений. Необходима персонализация подхода к гидрометеорологическому обеспечению руководителей предприятий – каждому объекту свой состав показателей и свои критические значения индикаторов обстановки; автоматическая передача данных не только в центры сбора, но и потенциальным пользователям при превышении критических значений параметров.

В качестве единого корпоративного хранилища Росгидромета данных должна использоваться Интегрированная информационная телекоммуникационная система (ИИТС), разрабатываемая и создаваемая на основе апробированных подходов, методов, ресурсов и сервисов Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [1]. Имеющиеся функциональные возможности у этих систем позволяют доставить руководителям предприятий нужную ин-

формацию на любой объект, по любому району, в любой момент, в режиме реального времени. Для оценки качества доставки должны использоваться следующие показатели: количество зарегистрированных пользователей; время доставки информации.

Мониторинг инфраструктуры. Инфраструктурными компонентами являются оборудование (серверы, сеть) и программное обеспечение. Задачей мониторинга является оценка и контроль работоспособности оборудования и программного обеспечения. Метриками для мониторинга ИТ-инфраструктуры и ИТ-сервисов являются: объем потребляемых вычислительных ресурсов, занимаемой оперативной и дисковой памяти, нагрузка на сетевое оборудование и каналы связи.

Несмотря на внедрение систем мониторинга аппаратно-программных комплексов, обеспечить круглосуточную доступность данных и приложений с коэффициентом готовности 0.95 и выше не очень просто. Как правило, на устойчивость функционирования влияет один или несколько программных компонентов. Например, наиболее проблемными комплексами в ЕСИМО при наличии объемных ИР (до 4.5 Гбайт) является ГИС (время создания глобальных слоев превышает 3 ч., время отклика больше 15 с).

Для мониторинга качества предоставления сервисов важны показатели их доступности и качества их функционирования. Для этого вводится показатель — время подготовки ИП.

Выводы. Создание отраслевого мониторинга Росгидромета от его инфраструктуры до доведения выпускаемой ИП руководителям предприятий и населению позволит значительно повысить уровень автоматизации многих направлений развития Росгидромета.

Л И Т Е Р А Т У Р А

Михайлов Н.Н., Вязилов Е.Д., Воронцов А.А., Белов С.В. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане и ее применение для информационной поддержки морской деятельности Российской Федерации // Труды ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2014. – Вып.177. с.95-118.

ВКЛАД РОССИИ В МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОБМЕН ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

Михеев А.С.¹, Воронцов А.А.¹, Вязилов Е.Д.¹

*ФГБУ «Всероссийский научно – исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
249035, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, 6. Тел.84843974676.
vjaz@meteo.ru, amiheev@meteo.ru*

Paper presents activities of the All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (RIHMI-WDC) in the field of international oceanographic data and information exchange.

Международный обмен океанографическими данными (МООД) координируется Комитетом Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО по МООД, в тесном сотрудничестве с Мировыми центрами данных Международного совета научных союзов (МСНС). Мировой центр данных – Б (МЦД-Б) «Океанография» обеспечивает хранение и обслуживание пользователей данными о физических, химических и динамических параметрах Мирового океана, а также публикациями и изданиями по океанографической тематике, которые получены в результате международного обмена из других стран, участия в международных проектах, либо представлены для международного обмена организациями Российской Федерации. Основной целью участия России в программе МООД является реализация международного обмена данными по уровню моря, температуре воды и солености на глубинах и другими данными. Эволюция МООД представлена на рис. 1.

Система МООД находится на переломной фазе ее развития. В ближайшие годы ожидаются существенные изменения, вызванные в основном возросшими требованиями к управлению данными, иницируемые Глобальной системой наблюдений за океаном (ГСНО) и Совместной МОК-ВМО Технической комиссией по океанографии и морской метеорологии (СКОММ) и стиранием границ между оперативными, задержанными и историческими данными о морской среде и переходом к широкому использованию современных информационных технологий. ВНИИГМИ-МЦД на основе средств Единой государственной системы

информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) создал портал океанографических данных (ODP), <http://www.oceandataportal.org>.

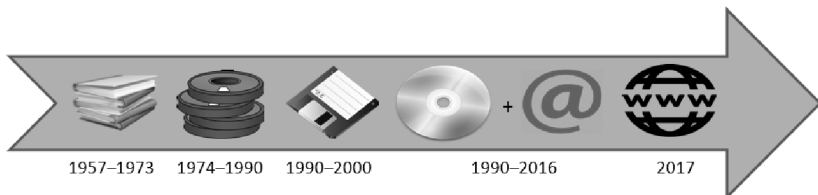


Рис. 1. Эволюция систем МООД

В последние годы МСНС прилагает большие усилия по трансформации системы Мировых центров данных в Систему мировых данных. В связи с переходом Мировых центров данных к взаимодействию Мировых систем данных (WDS), МЦД-Б «Океанография» представил возможности для скачивания выбранных наборов данных. Эти возможности могут использоваться МЦД по океанографии, национальными центрами океанографических данных различных стран, а также пользователями.

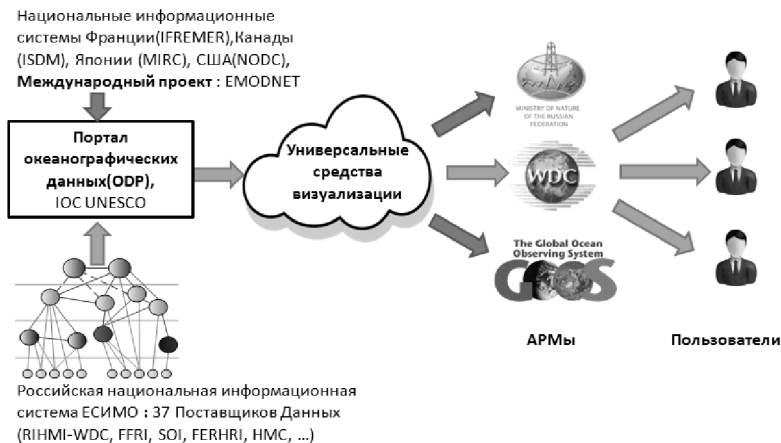


Рис. 2. Схема включения данных в систему МООД

В рамках создания ЕСИМО проведена огромная работа по интеграции информационных ресурсов российских организаций в области мор-

ской среды. Используя ресурсы и средства ЕСИМО, портал ODP, создан подпортал «Глобальная система наблюдений океана (ГСНО)» (<http://www.oceandataportal.net/portal/portal/goos>), как вклад России в ГСНО и СКОММ. На подпортале ГСНО представлены:

- метаданные – сведения о НИС, прибрежных станциях, сведениях об экспедициях;
- штормовые оповещения и предупреждения;
- доступ к оперативным данным наблюдений, передаваемым по каналам глобальной сети телесвязи;
- диагностические поля температуры воды в северо-западной части Тихого океана;
- прогноз параметров волнения на дальневосточных морях северной части Тихого океана;
- прогноз обледенения судов по дальневосточным морям;
- график хода уровня моря и негармонические постоянные для Баренцева моря;
- течения на поверхности моря;
- среднемесячные значения уровня моря по станциям глобальной системы наблюдений за уровнем моря (ГЛОСС) России.

Historical research vessels cruise database for 1900 - 2016 (RU_RNODC_100)

Country name	archive number	country	platf.name(eng)	projectname	date_begn	date_end
Algeria	35811	Russia	CENTAURUS-II	Gulf of Finland	2014-07-24 00:00:00	2014-08-03 00:00:00
Angola	35810	Russia	PROF EDSSER KROSKOVY	Bering Strait	2014-07-09 00:00:00	2014-07-21 00:00:00
Argentina	35809	Russia	PROFESSOR MUKTANOVSKIY	Pacific Ocean North-Western	2014-06-08 00:00:00	2014-06-30 00:00:00
Austria	35808	Russia	MRTK-1073	Baltic Sea	2013-07-09 00:00:00	2013-07-17 00:00:00
Brazil	35807	Russia	POLARIS	Barents Sea	2013-07-29 00:00:00	2013-08-29 00:00:00
Canada	35806	Russia	ECOLOG	White Sea	2013-08-17 00:00:00	2013-08-22 00:00:00
China	35805	Russia	RIFT	Black Sea	2013-06-28 00:00:00	2013-07-21 00:00:00
	35804	Russia	PROFESSOR SHTOKMAN	Cara Sea	2013-09-03 00:00:00	2013-09-21 00:00:00
	35803	Russia	NIKFOR SHIREKOV	Caspian Sea	2013-06-25 00:00:00	2013-09-05 00:00:00
	35802	Russia	EVAN PETROV	White Sea	2013-10-20 00:00:00	2013-10-22 00:00:00
	35801	Russia	MICHAEL SEMEV	Kara Sea	2014-05-24 00:00:00	2014-05-28 00:00:00
	35800	Russia	AKADEMIK PTODKOV	East Siberian Sea,Kara Sea,Laptev (or Nordenskiöld) Sea	2013-08-20 00:00:00	2013-08-22 00:00:00

Рис. 3. Визуализация сведений о рейсах НИС

ГЛОСС создается с 1985 года для обеспечения информацией об изменениях уровня моря. ГЛОСС включает международную сеть станций наблюдений за уровнем моря (примерно 280 станций), данные наблюдений с которых передаются в международные центры данных. Сеть

ГЛОСС включает пункты с длинными историческими рядами наблюдений. Через эту организацию среднемесячные и среднегодовые данные по уровню моря станций, входящих в систему ГЛОСС, направляются раз в год в Постоянную службу среднего уровня моря (ПСМСЛ), находящуюся в Британском центре океанографических данных и ежемесячно в Специализированный океанографический центр по уровню моря Гавайском университет (Гонолулу, США).

ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» готовит данные по уровню моря для шести станций: Баренцбург, Мурманск, Бухта Нагаево, Петропавловск-Камчатский, Туапсе, Южно-Курильск (не работает самописец в течение последних лет). Эти данные передаются в международные центры сбора данных наблюдений за уровнем моря. Для более оперативного обмена эти данные включены в подпортал МЦД-Б «Океанография», http://meteo.ru/mcd/en_Gloss.html.

Выводы:

- разработана новая версия портала для системы мировых данных (WDS) Мирового центра данных – Б «Океанография» с использование ресурсов и сервисов ЕСИМО (<http://meteo.ru/mcd/wdcoccean.html>);
- создано автоматизированное рабочее место для проекта ГСНО, как вклад России в этот проект;
- переданы данные по уровню моря (обобщения за месяц) для международного обмена.

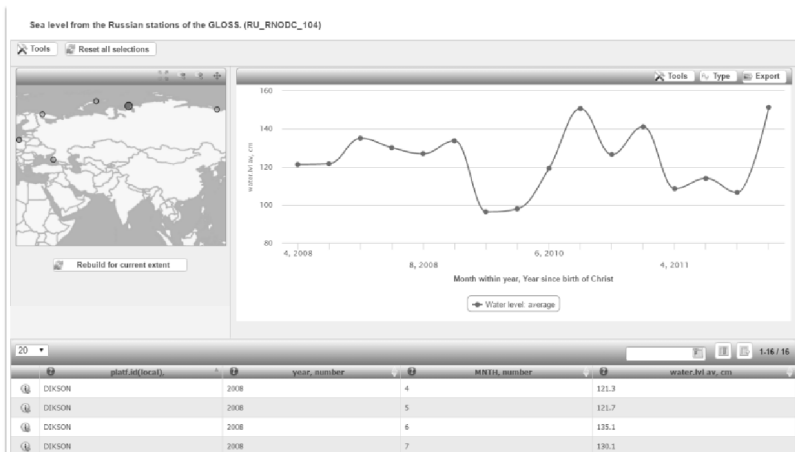


Рис. 4. Представление данных по уровню моря

ЛИТЕРАТУРА

1. Комитет МОК по международному обмену океанографическими данными и информацией: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iode.org/>
2. ГСНО: [Электронный ресурс] URL: www.ioc-goos.org
3. СКОММ: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.jcomm.info/>

УДК 551.465.15

СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Руссак Ю.С.¹, Нафиков В.М.¹, Тихонова Н.Ф.¹

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
russak@ocean.ru*

A new generation of hardware and software mobile compact systems for collecting information from side-scan sonar (SSS) and acoustic profilers (AP) as well as entering the data into a computer based on modern 64-bit operating systems, is developed.

Разработано новое поколения аппаратно-программных мобильных компактных систем сбора и обработки гидроакустической информации от гидролокаторов бокового обзора (ГБО) и акустических профилографов (АП) и ввода её в компьютеры на базе 64-х разрядных процессоров и ОС последнего поколения.

Основные особенности:

- внутренняя буферизация входов полностью решает проблему межканального прохождения при высоких частотах переключения каналов;
- высокая частота квантования АЦП – до 10 МГц;
- быстродействующий ЦАП для формирования зондирующих сигналов ГБО и АП произвольной формы;
- управление работой системы осуществляется программируемым 8-разрядным микроконтроллером AT32UC3A0, который осуществляет его в жестком реальном времени без использования ресурсов компьютера;
- цифровой сигнальный процессор (DSP) Analog Devices ADSP позволяет вести первичную обработку сигнала при вводе и выводе. Именно

DSP осуществляет низкоуровневое управление модулем: управляет работой АЦП, ЦАП, логических линий, входных коммутаторов, осуществляет калибровку данных, их буферизацию и т.д. DSP функционирует под управлением драйвера DSP, входящего в комплект ПО;

- интерфейс USB 2.0 позволяет вести непрерывный дуплексный ввод/вывод данных при максимальной частоте дискретизации.

Входные аналоговые каналы модуля – дифференциальные. Дифференциальное подключение источника сигнала снижает уровень синфазных помех. Помимо этого, дифференциальные входы позволяют подключать источники сигнала таким образом, чтобы токи сигнальных цепей не протекали через один общий провод, что повышает точность измерений.

Буферизация выходов ЦАП позволяет подключать к системе приемники сигналов с низким входным сопротивлением.

Система может использоваться как универсальное измерительное устройство: осциллограф, регистратор и анализатор спектра. Высокое быстродействие позволяет исследовать быстропротекающие процессы и широкополосные сигналы.

Энергонезависимое пользовательское ПЗУ (ППЗУ) емкостью 256 байт позволяет пользователю хранить в ППЗУ любую необходимую информацию, например, калибровочные коэффициенты АЦП и ЦАП и т.д.

Шина USB предоставляет пользователям реальную возможность работать с периферийными устройствами в режиме Plug & Play. Это означает, что стандартом USB предусмотрено подключение устройства к работающему компьютеру, автоматическое его распознавание немедленно после подключения и последующая загрузка операционной системой соответствующих данному устройству драйверов.

Штатное программное обеспечение системы включает в себя следующие компоненты:

- драйвер USB фирмы FTDI для работы с 64-разрядной версией системы Windows.

- драйвер DSP модуля Analog Devices ADSP;

- программа «Echograph», которая используется для считывания гидроакустических и навигационных данных в режиме реального времени для работы в современной версии среды программирования Visual Studio 2015, что дало возможность при необходимости вносить изменения в программу, а также адаптировать ее к современным версиям операционной системы Windows;

- система помощи к программе «Echograph», с заменой файлов «xxx.hlp» неподдерживаемых фирмой Microsoft, начиная с версии Windows Vista;

- программа пост-обработки гидроакустических данных «WinRastr», работающая под управлением системы Windows 10/64.
- штатная библиотека подпрограмм для работы с системой.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Руссак Ю.С., Римский – Корсаков Н.А.** Цифровой модуль ввода-вывода гидролокационной информации RAD98. // В сб. Труды IV Международной конф. «Современные методы и средства океанологических исследований», М. ИО РАН, 1998, с.114.
2. **Римский-Корсаков Н.А., Руссак Ю.С. Сычев В.А.** Перспективные направления разработки и применения гидроакустических средств для поиска, идентификации, обследования и мониторинга ППОО. // Сборник «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». Москва. 2010. с 188-202.
3. **Руссак Ю.С., Тихонова Н.Ф.** Универсальный модуль «RA8-USB». // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015». Том II. – М., 2015. с 315-318.

УДК 551.46

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ДРИФТЕРОВ В СИСТЕМЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЛЕДОВЫХ ПОЛЕЙ И ВЕРХНЕГО СЛОЯ ОКЕАНА В АРКТИКЕ

Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П.

*Морской гидрофизический институт РАН,
ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, +7(8692)54-04-50,
marlin@marlin-yug.com*

Paper presents the results of statistical analysis of long-term drifter experiments in the polar area. The results allow getting the conclusion about capability and reasonability to build reliable, practically and financially feasible drifter network for the Arctic area of the World Ocean.

Для современного этапа освоения Арктики характерно, с одной стороны, повышенное внимание к процессам и явлениям, происходящим в

Северном Ледовитом океане и приполярных морях, с другой, – обусловленный особенностями региона дефицит океанографической и метеорологической информации. Анализу проблемы оперативного контроля состояния ледового покрова, верхнего, в том числе подледного, слоя океана, приповерхностной атмосферы в арктическом регионе с необходимым пространственно-временным разрешением посвящено большое количество публикаций, смысл которых с точки зрения оценивания современного состояния наблюдательной сети коротко изложен в статье [1]. Систематизируя имеющиеся данные по средствам наблюдений Арктики, автор статьи делает вывод о том, что, хотя полярные исследования с различными целями чрезвычайно актуальны, их практическая реализация остается делом технически и организационно непростым и дорогостоящим. С сожалением следует констатировать, что приборный парк, рассмотренный в статье [1], представлен исключительно зарубежными измерительными средствами, а наименее обеспечена наблюдениями Арктическая зона Российской Федерации. По данным, приведенным на интернет-сайте [2], из-за обвального сокращения в 90-е годы прошлого столетия полярных наблюдений к настоящему времени по критериям климатического мониторинга и долгосрочного прогноза погоды не достигается даже уровень минимально достаточной плотности наблюдений. Дефицит первичной информации негативно отражается на качестве гидрометеорологических прогнозов, зачастую делая прогнозическую деятельность малоэффективной.

В силу названных причин становится очевидной актуальность задачи установления оперативного комплексного мониторинга арктической системы «атмосфера – лед – океан». В определенной степени решение этой задачи связано с работами Морского гидрофизического института РАН (МГИ) по созданию методов и средств дрейфтерной технологии наблюдений и внедрению их в практику исследований арктического региона Мирового океана. В докладе рассматриваются разработанные в МГИ специализированные дрейфтеры, ориентированные на использование в полярных условиях, и приводятся некоторые результаты долговременных натурных дрейфтерных экспериментов в Северном Ледовитом океане и приполярных морях. Материалы, представленные в докладе, направлены на обоснование возможности и целесообразности построения надежной, технологичной и экономной дрейфтерной наблюдательной сети как составной части устойчивой системы оперативных наблюдений Арктического региона.

Начиная с 2008 г. в МГИ в рамках дрейфтерной технологии развивается направление, ориентированное на создание методов и средств на-

блюдений полярных регионов. Технические и методические решения, реализованные в первых полярных дрейфтерных экспериментах и прошедшие долговременные испытания в арктических условиях, стали основой для создания специализированных автономных средств исследования водной толщи и ледяного покрова Арктики и методов их применения. Широкая номенклатура выполненных к настоящему времени разработок представлена тремя основными модификациями: спутниковые радиомаяки, SVP-B дрейфтеры автоматического развертывания и термопрофилирующие дрейфтеры типа BTC60/GPS/ice [3]. Спутниковые радиомаяки предназначены для оперативного контроля траекторий ледовых образований (айсбергов, ледников); SVP-B дрейфтеры для изучения параметров дрейфа льда, будучи поставленными на лед в собранном виде, а также подповерхностных течений после попадания в воду при таянии льда и выпуска в глубину подводного паруса; термопрофилирующие дрейфтеры – для оперативного мониторинга термических процессов в верхнем, в том числе подледном, слое океана и долговременных наблюдений движений ледовых полей Северного Ледовитого океана и полярных морей. Все модификации предполагают возможность измерения атмосферного давления.

Независимо от типов приборов все стадии их разработки, производства и испытаний были подчинены выполнению следующих общих принципов: простота доставки и не требующая специальной подготовки технология установки; долговременная надежность метрологических и эксплуатационных характеристик при автономной эксплуатации в условиях влияния воздействующих факторов, характерных для арктического региона; относительно малая стоимость. Именно такой подход позволил создать конкурентоспособный на мировом рынке парк приборов для полярных исследований.

С сентября 2012 в море Бофорта – Канадской котловине и Центральной Арктике было развернуто более 30 термодрейфтеров типа BTC60/GPS/ice. Термодрейфтеры применялись главным образом в рамках проекта UpTempo (Вашингтонский университет, США) [4] программы IABP (International Arctic Buoy Program). Цель проекта – оперативные систематические контактные наблюдения термической изменчивости верхнего, в том числе подледного, слоя океана и приповерхностного слоя атмосферы в полярном регионе. В докладе рассматриваются некоторые, наиболее интересные по мнению авторов, результаты дрейфтерных наблюдений динамики ледовых полей, термической изменчивости верхнего подледного слоя океана, изменчивости поля давления приповерхностного слоя атмосферы. Анализ полученных данных позволяет

сделать вывод о возможности и целесообразности создания надежной и экономной системы наблюдений полярных регионов океана с помощью термопрофилирующих дрейфтеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Писарев С.В.** Опыт применения автоматических дрейфующих устройств для исследования водной толщи и ледового покрова Арктики в начале XXI в. // Арктика: экология и экономика. 2012. № 4. С. 66–75.

<http://geographyofrussia.com/polyarnye-stancii-rossijskogo-sektora-arktiki/> (дата обращения 25.05.2016 г.)

2. **Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П. и др.** Опыт применения термопрофилирующих дрейфтеров для исследований арктического региона Мирового океана // Арктика: экология и экономика. – 2016. – №1 (21). – С. 38 – 45

3. UpTempO. Upper level Temperature of the Arctic Ocean Project [Электронный ресурс] // University of Washington, Applied Physics Laboratory, Polar Science Center. – Режим доступа: <http://psc.apl.washington.edu/UpTempO/UpTempO>, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 551.46.06

СОЗДАНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ИНСТИТУТА ОКЕАНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Свиридов С.А., Новиков Ю.В., Попов А.П., Поляков М.С.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(495)719 00 35 esimo@ocean.ru

Paper discusses the development concept of a fault-tolerant information system of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology. It was caused by the need to provide the scalability information system. In this case enhanced disaster recovery was required, due to the non-stop information resource and the inadmissibility of the accident. The following results were achieved:

– Improved performance, scalability and reliability of the current system to allow for the development of oceanographic infor-

mation resources;

- Fault tolerance, resistance to software and hardware failures;
- Flexibility and effectiveness in the planning of information resources capacity, as the system allows you to grow to the required scale, providing the growing needs of the Institute;
- The stable availability of the system and its routine maintenance;
- Margin of resources to overcome the peak and non-standard loads.

Со времени создания в 1996 году полнофункциональной сетевой инфраструктуры Института океанологии (ИО), за последующие годы были сформированы информационные ресурсы, необходимые, как для поддержания собственных сетевых сервисов, возникших с момента построения сети, так и прикладных, созданных позднее, в «нулевых» годах, как например, «Хранилище океанологических данных *OceanDB*» [1, 2] и Центр ЕСИМО – НКОЦ РАН [3]. Постепенное наращивание ресурсов и их классическое развертывание на вновь приобретаемых физических платформах под управлением OS *Solaris*, *Linux*, *FreeBSD*, *MS Windows Server* привело к нарастанию технологических проблем управления и системного администрирования возрастающего количества разноплатформенных ресурсов. Нарастало энергопотребление ЦОДа и потребность в развертывании отдельных систем резервирования для разных приложений, что сделало их содержание экономически не выгодным. На рис. 1 представлены стойки ЦОД с наполненным активным серверным и коммутационным оборудованием, (мониторы и часть пассивного оборудования не показано).

Известно, что ресурсы большинства серверов используются менее чем на 15%, что приводит к росту их числа, а сама инфраструктура становится все более сложной. Виртуализация серверов могла бы решить эти проблемы благодаря возможности запуска на одном сервере нескольких контейнеров ОС в виде виртуальных машин, каждая из которых имеет свой доступ к вычислительным ресурсам сервера [4]. Кроме того, она позволяет сделать работу системного администратора простой и логичной, снизить расходы на оборудование и вдохнуть новую жизнь в простаивающие сервера [5]. В середине «нулевых» была выполнена частичная виртуализация одного физического сервера под управлением ОС Linux и OpenVZ, которая успешно разделила мощности на одной физической платформе между 20 прикладными ресурсами, содержащих WEB ресурсы, почту и связанные с ними сервисы на основе так назы-

ваемой виртуализации уровня ОС, позволяющей создать множество контекстов исполнения, каждый со своим деревом файлов, собственными процессами, сетевым стеком и правами на доступ к оборудованию. Таким образом, состояние ресурсов информационной инфраструктуры по состоянию на начало 2016 года характеризуется следующими показателями:

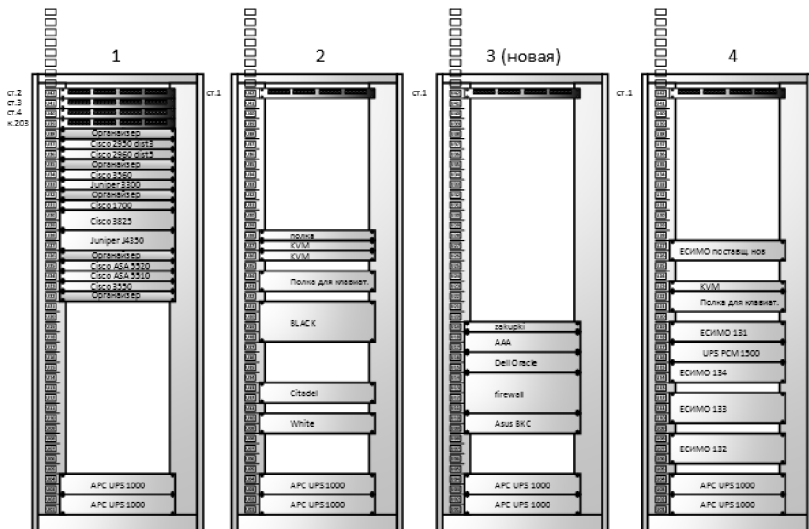


Рис. 1. Заполнение серверами и коммутаторами ЦОД ИО РАН

ЛВС: сеть структурирована в соответствии с сетевой моделью CISCO, обеспечивает надежную работу более 800 зарегистрированных пользователей, общая протяженность внутренних кабельных линий составила около 28 км, 30 единиц активного коммутационного оборудования;

Wi-Fi: развернуты беспроводные сети по технологии Wi-Fi в местах коллективного пользования – конференц-залы, холлы, компьютерные классы. В тоже время пока отсутствует единое поле покрытия с передачей (roaming) абонента от одной станции к другой, обеспечивая свободное перемещение по зданию без потери Wi-Fi-соединения;

Центр обработки данных (ЦОД), серверы: в структуре 14 единиц физических платформ различных производителей, масштабирование которых все более проблематично, требуется соблюдение технологической совместимости разных типов оборудования и форматов данных.

Одна платформа виртуализирована средствами OpenVZ на уровне ОС Linux, обеспечивая функционирование 20 виртуальных машин с прикладными ресурсами, содержащих WEB ресурсы, почту.

Системы резервирования и хранения данных. Резервируются только ключевые ресурсы: WEB сайты, почтовая система, архив писем пользователей за 3 месяца. Резервирование выполняется в автоматическом режиме средствами ОС Linux: резервные копии выгружаются по датам на BackUp-сервер, на котором в случае сбоя или выхода из строя основного сервера в ручном режиме разворачиваются ключевые ресурсы: почта и web-сервисы. Отказоустойчивость серверов достигается путем использования программно-аппаратных RAID-массивов на «боевом» и BackUp-сервере – специальная утилита контролирует состояние RAID-массива и по e-mail оповещает администратора сервера о состоянии RAID-массива. Из минусов подобной организации резервирования стоит отметить следующее: 1) резервируются только Linux-машины; 2) восстановление работоспособности возможно только вручную; 3) поскольку машины физически разнородные, требуется перенастройка сетевых интерфейсов, изменение сетевой маршрутизации, т.е. «заворачивание» трафика с одной машины (вышедшей из строя) на другую;

Облачные ресурсы отсутствуют.

Учитывая процессы, описанные выше, а также уже имеющийся опыт работы с контейнерами под OpenVZ, в 2016 году была запланирована и проведена максимально возможная виртуализация ЦОД ИО РАН исходя из технической возможности по совместимости серверов на предмет процессорной поддержки программного продукта VMware ESXi [4] в тандеме со средством резервного копирования виртуальной инфраструктуры VMware/vSphere, – Veeam Backup and Replication [6]. Последний представляет собой два продукта в одном, основанном на технологии создания резервных копий, функционирующих виртуальных машин, – средство бэкапа виртуальных машин на VMware ESX и механизм для создания реплик VM на других хостах и хранилищах. Поскольку нам важно не потерять информацию и гарантировать ее восстановление здесь помогают возможности бэкапа Veeam Backup and Replication, а когда нам нужно быстро восстановить работоспособность службы в виртуальной машине, расположенной на вышедшем из строя хранилище, либо при повреждении ОС или приложения, то нам помогают возможности репликации в Veeam Backup and Replication [7]. Сформированная новая виртуальная инфраструктура ЦОДа представлена на рис.2.

Все эти ключевые факторы принесли следующие преимущества: повысилась гибкость ИТ-инфраструктуры ЦОДа, увеличилась надежность, обеспечена высокая доступность серверов, достигнута экономия на аппаратном обеспечении. При выполнении данного проекта была проведена работа по упорядочиванию ресурсов и выполнено рабочее проектирование с целью создания отказоустойчивого кластера на основе закупаемого нового сервера, совместимого с имеющимся аналогом и ПО [4] и проведена модернизация 3-х серверов ЦОДа. Из освободившихся серверных платформ скомпонованы сетевые хранилища на новых носителях общей емкостью 60 Тб. Все сервера кластера VMware ESXi и хранилища включены в стек двух коммутаторов Juniper EX2200. Каждый из серверов для повышения отказоустойчивости включен двумя патчкордами, идущими в отдельный коммутатор стека. На начало 2017 года развернуто 20 VM в составе кластера ESXi и 20 на OpenVZ.

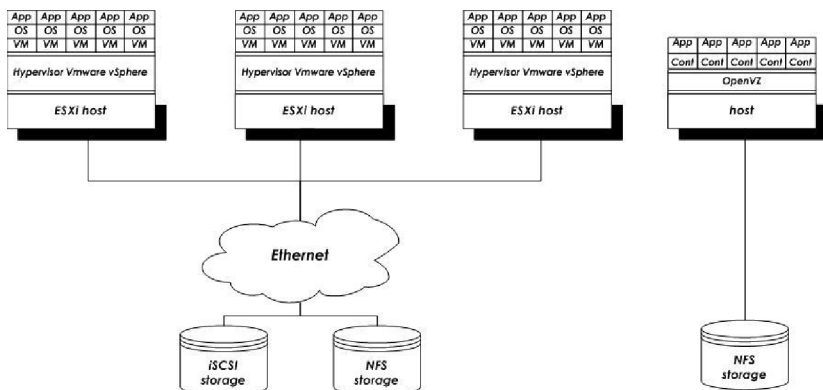


Рис. 2. Виртуальная архитектура ЦОДа после модернизации

Таким образом, разработка и модернизация инфраструктуры ЦОД, вызванная необходимостью создания отказоустойчивого кластера для обеспечения круглосуточной работы информационных ресурсов Института океанологии достигла следующих основных результатов:

- повышение производительности, масштабируемости и надежности существующей системы для обеспечения возможности развития информационных океанологических ресурсов;
- отказоустойчивость системы, невосприимчивость к программным и аппаратным сбоям;

- гибкость и эффективность при планировании емкости информационных ресурсов, поскольку система позволяет расширяться до необходимого масштаба, обеспечивая растущие потребности ИО РАН;
- постоянная доступность системы и ее регламентное обслуживание;
- запас по ресурсам для преодоления пиковых и нестандартных нагрузок.

Учитывая имеющиеся ресурсы сформированного кластера в ближайших планах развернуть следующие службы и сервисы, необходимые для обеспечения деятельности ИО:

- модернизировать Wi-Fi сеть с распространением ее во всем здании Института с помощью технологии виртуального контроллера беспроводных сетей Cisco Virtual Wireless, позволяющей использовать одно имя беспроводной сети и единое поле покрытия с передачей (roaming) абонента от одной станции к другой, обеспечивая свободное перемещение по зданию без потери соединения;
- создать корпоративные облачные ресурсы с привязкой к AD DC, позволяющие интегрировать работу и обеспечить защищенный доступ к ресурсам с персональных smart устройств территориально-распределенных корпоративных пользователей;
- развернуть EMS Alfresco Community для создания собственной системы электронного документооборота с интеграцией WEB ресурсов.

Общее сетевое взаимодействие в ИО представлено на мнемосхеме рис. 3.

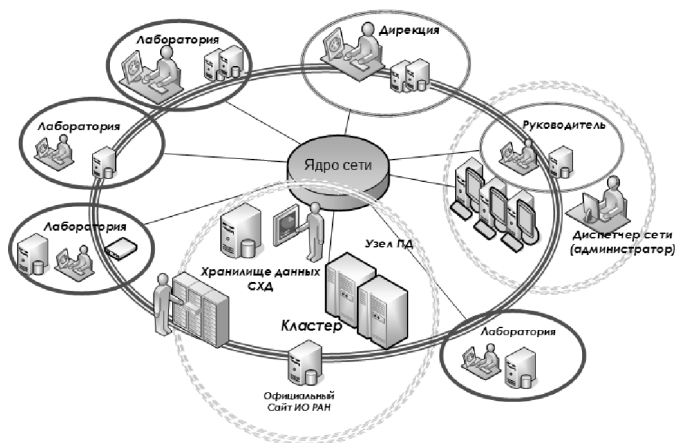


Рис. 3. Мнемосхема сетевого взаимодействия

В заключение авторы выражают благодарность за помощь и выполненную работу по виртуализации ЦОД Альфреду Шарибзянову, компания «Городские сети» и Олегу Зайцеву, компания «АВК».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Метальников, А.А., Осипенко, М.В., Свиридов, С.А., Соловьев, В.А., Утяков, Л.Л., Филипчук, Ю.Б.** Структура хранилища и формат исследовательских данных по океанологии. // Сборник трудов международной конференции МСОИ-2003, М.: Институт океанологии РАН, 2003.

2. **Метальников, А.А., Осипенко, М.В., Свиридов, С.А., Соловьев, В.А., Филипчук, Ю.Б.** Хранилище комплексных океанологических данных. // Океанология, Наука. М.: 2005, №. 4, с.

3. **Соловьев В.А., Свиридов С.А., Зарецкий А.В., Метальников А.А.** Центр данных ЕСИМО НКОЦ РАН. // Сборник трудов международной конференции МСОИ-2013, М.: Институт океанологии РАН, 2013. – №2. – С. 40-47.

4. <http://www.vmware.com/ru/solutions/virtualization.html>

5. <https://habrahabr.ru/post/211915/>

6. <https://www.veeam.com/ru/vmware-esx-backup.html>

7. **Самойленко А.** Создание реплик виртуальных машин в Veeam Backup and Replication. // <http://www.vmg.ru/articles/veeam-backup-replication-1>.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Алекперов И.Х., 298
Алексеев Ю.К., 141
Альчаков В.В., 170
Анисимов И.М., 242, 270
Арашкевич Е.Г., 15
Артамонова А.В., 279
Артемьев В.А., 55
Арыканцев В.В., 178

Б

Бабаев Р.А., 254
Багаев А.В., 78
Бадулин С.В., 137
Баранов В.И., 15, 287
Белевитнев Я.И., 242, 270
Беликов Р.А., 292, 331

В

Васильев Н.В., 155
Васильчиков А.А., 283
Вельтищев В.В., 130, 247
Вершинин В.В., 137
Волков С.В., 166
Волков Я.Ю., 230, 234, 238
Воронцов А.А., 351
Воронцов А.В., 254
Вязилов Е.Д., 347, 351

Г

Галактионова М.Л., 317
Гамазов И.Н., 194
Гамазов Н.И., 194
Гапанюк М.В., 134
Гераскин П.П., 317
Гизатуллин Р.С., 162
Гладкова О.И., 247
Глуховец Д.И., 55
Гогоберидзе Г.Г., 96

Гой В.А., 234
Горлов А.А., 26
Григорьев А.В., 55, 103, 182
Григорьев К.А., 224

Д

Данилов А.В., 216, 220
Демидов А.Б., 289, 310
Джалилов А.Г., 298
Дианский Н.А., 82
Дивинский Б.В., 38
Душенин Ю.В., 276
Душко В.Р., 170, 206

Е

Егоров С.А., 247
Елкин А.В., 279, 283
Ефимова Т.В., 336

З

Забавников В.Б., 158
Заболотников Г.В., 96
Зарецкий А.В., 257, 260, 267
Зацепин А.Г., 15, 34, 38, 103,
137, 287
Зенин В.М., 63
Зинченко А.Б., 287

И

Ивонин Д.В., 137

К

Казеев И.В., 96
Кантаков Г.А., 100
Карсаков А.Л., 115
Кириленко А.С., 296
Коваленко В.В., 63
Колтовская Е.В., 338
Комаров В.С., 212
Коротаев Г.К., 30

Корчемкина Е.Н., 61
Костенко В.В., 250
Кочетов О.Ю., 15
Крамарь В.А., 170
Краснова В.В., 292, 331
Краснодубец Л.А., 226
Кривенко О.В., 336
Кропотов А.Н., 216, 220
Кубряков А.А., 78, 92
Кубряков А.И., 103
Кузнецов А.С., 71
Куклев С.Б., 15, 38, 287
Куркембаева Б.М., 317

Л

Латушкин А.А., 61
Лебедев К.В., 88, 111
Левченко Д.Г., 137
Леденев В.В., 272
Леонов А.В., 338
Литовка Д.И., 331
Лунев Е.Г., 357

М

Маньковская Е.В., 71
Маринич Н.В., 202
Мартынов О.В., 61
Мельников В.А., 34
Мельников Д.А., 347
Метальников А.А., 289
Мизюк А.И., 78, 92
Мильто А.Н., 243
Михайлов Д.Н., 230, 234, 238,
250, 254
Михеев А.С., 351
Моисеева Н.А., 336
Морозов А.Н., 71
Мотыжев С.В., 357
Мошаров С.А., 289
Мошарова И.В., 314
Мысливец И.В., 283

Н

Нафиков В.М., 355
Нестеров Е.С., 59
Нечаев В.Д., 230, 234, 238
Новиков В.И., 194
Новиков Ю.В., 360
Носов А.В., 49

О

Овчинников А.В., 134, 162
Одинцов В.С., 198
Ольшанский В.М., 166
Осокина В.А., 84
Островский А.Г., 15, 137, 272
Очередник В.В., 287

П

Пелевин В.В., 84
Пиотух В.Б., 34
Подгорный К.А., 302, 306
Подымов О.И., 15
Поляков М.С., 360
Попов А.П., 360
Прасолова Е.А., 292, 331
Пузина О.С., 78

Р

Рахман А.О., 107
Римский-Корсаков А.А., 26
Розман Б.Я., 279, 283
Рубцов М.Г., 243
Руссак Ю.С., 49, 355

С

Сагалевич А.М., 119
Свиридов С.А., 360
Сендеров М.В., 78, 92
Слепчук К.А., 325
Смирнов В.Д., 243
Станичный С.В., 78
Стороженко В.А., 230, 234, 238
Стрельцов А.Я., 153, 154

Стрюк В.Л., 215
Сурма В.А., 134, 162
Суслин В.В., 336
Сюэ Вэй, 166

Т

Тараканов Р.Ю., 111
Татаренко Е.И., 243
Титов О.В., 115
Тихонова Н.Ф., 49, 355
Токмачев Д.А., 208
Толстоногов А.Ю., 250
Толстошеев А.П., 357

У

Ушивцев В.Б., 329

Ф

Фомин В.В., 82

Х

Хмара Т.В., 325
Храпко А.Н., 182

Ч

Часовников В.К., 15

Ченский А.Г., 208, 224
Ченский Д.А., 224
Чепыженко А.А., 45
Чепыженко А.И., 45
Чернышев В.В., 174, 178
Чурилова Т.Я., 336

Ш

Шаповал К.О., 103
Швоев Д.А., 272
Шеберстов С.В., 289
Шевцов С.П., 202
Шоларь С.А., 206
Штремель М.Н., 107

Э

Эльяшев Д.Э., 166

Ю

Юрицын В.В., 49

Я

Яковлев А.Ю., 202
Яхонтов Б.О., 149, 186, 190