

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

## **XVI ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**



### **«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ» (МСОИ-2019)**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**Том II**

**МОСКВА 2019**

УДК 551.46.07  
ББК 26.221  
С232

*Редакторы:*

Н.А. Римский-Корсаков, Н.Ф. Тихонова

**С232** **Современные методы и средства океанологических исследований** (МСОИ-2019). Материалы XVI всероссийской научно-технической конференции. Том II. – М.: ИД Академии Жуковского, 2019. — 296 с.

**ISBN 978-5-907081-82-6**

Книга содержит материалы конференции МСОИ-2019. В сборнике представлены доклады ученых-океанологов, инженеров, аспирантов и студентов, посвященные современным технологиям исследований природы Мирового океана в связи с наиболее актуальными фундаментальными проблемами океанологии.

В томе II рассмотрены методы и средства исследований оперативной океанологии, актуальные проблемы экологии океана, связанные в частности с изучением Российской Арктики, а также современные технологии и тенденции развития техники подводных исследований, подводных аппаратов и роботов.

Доклады опубликованы в авторской редакции.

Книга издана при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-20084).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН на 2019 год (тема № 0149-2019-0011) при поддержке РФФИ (проект № 19-05-20084).

УДК 551.46.07  
ББК 26.221

**Modern methods and means of oceanological research.** Materials of the XVI national conference MSOI-2019. Vol. II. – М.: PH of the Academy named after N.E. Zhukovsky, 2019. – 296 p.

This publication contains materials of the MSOI-2019 conference. The book contains ocean scientists, engineers, graduate students and students' reports on modern technologies for studying the nature of the World Ocean in connection with the most actual fundamental oceanology problems.

In volume II, operational oceanology research methods and tools are discussed as well as ocean ecology problems, underwater technologies, vehicles and robots design related in particular to the study of the Russian Arctic.

ISBN 978-5-907081-82-6

© ИО РАН, 2019.

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ МСОИ-2019

- |    |                              |   |
|----|------------------------------|---|
| 1  | <b>Римский-Корсаков Н.А.</b> | д.т.н., заместитель директора по морской технике ИО РАН, председатель |
| 2  | <b>Нигматулин Р.И.</b>       | академик РАН, научный руководитель ИО РАН, сопредседатель             |
| 3  | <b>Акуличев В.А.</b>         | академик РАН  |
| 4  | <b>Лисицин А.П.</b>          | академик РАН,<br>руководитель лаборатории                             |
| 5  | <b>Смирнов Г.В.</b>          | академик РАН, зав. лабораторией ИО-РАН, сопредседатель                |
| 6  | <b>Лобковский Л.И.</b>       | чл.-корр. РАН, руководитель направления ИОРАН                         |
| 7  | <b>Верещака А.Л.</b>         | чл. корр. РАН, руководитель лаборатории ИОРАН                         |
| 8  | <b>Нейман В.Г.</b>           | чл. корр. РАН, главный научный сотрудник ИОРАН                        |
| 9  | <b>Флинт М.В.</b>            | чл.-корр. РАН, заместитель директора ИО РАН                           |
| 10 | <b>Гулев С.К.</b>            | чл.-корр., д.ф.-м.н. руководитель лаборатории ИОРАН                   |
| 11 | <b>Завьялов П.О.</b>         | чл.-корр. РАН, заместитель директора ИО РАН                           |
| 12 | <b>Шевченко В.В.</b>         | к.г.-м.н. ВрИО зам. дир. ИО РАН                                       |
| 13 | <b>Вельтищев В.В.</b>        | д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э.Баумана                            |
| 14 | <b>Вялышев А.И.</b>          | д.ф.-м.н., главный научный сотр. ВНИИ ГОЧС МЧС РФ                     |
| 15 | <b>Сагалевиц А.М.</b>        | д.т.н., зав. лаб. ИО РАН, Герой России                                |
| 16 | <b>Мотыжѳв С.В.</b>          | д.т.н., руководитель научного направления МГИ, Севастополь            |
| 17 | <b>Добролюбов С.А.</b>       | чл.-корр., декан факультета МГУ                                       |
| 18 | <b>Вязилов Е.Д.</b>          | д.т.н., зав. лаб. ЦОД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидрометцентра, Обнинск   |
| 19 | <b>Суконкин С.Я.</b>         | директор ОКБ ОТ РАН   |

## ОРГКОМИТЕТ МСОИ-2019

- |    |                              |  |
|----|------------------------------|--|
| 1  | <b>Соков А.В.</b>            | председатель, д.г.н.<br>врио директора ИО РАН            |
| 2  | <b>Римский-Корсаков Н.А.</b> | зам. председателя, д.т.н.,<br>зам. директора ИО РАН      |
| 3  | <b>Вельтищев В.В.</b>        | сопредседатель д.т.н.,<br>зав. каф. МГТУ им. Н.Э.Баумана |
| 4  | <b>Островский А.Г.</b>       | сопредседатель, к.г.н.,<br>вед.н.с. ИО РАН               |
| 5  | <b>Мокиевский В.О.</b>       | д.б.н., вед.н.с. ИО РАН                                  |
| 6  | <b>Гончаренко И.В.</b>       | к.г.н., вед.н.с. ИО РАН                                  |
| 7  | <b>Егоров А.В.</b>           | к.г.-м.н., зав.лабораторией<br>ИО РАН                    |
| 8  | <b>Свиридов С.А.</b>         | зав. отделом инф. технологий<br>ИО РАН                   |
| 9  | <b>Корчагин Н.Н.</b>         | д.ф.-м.н., гл.н.сотр. ИО РАН                             |
| 10 | <b>Метальников А.А.</b>      | ст.н.с., к.ф.-м.н. ИО РАН                                |
| 11 | <b>Карабашева Э.И.</b>       | научный сотрудник ИО РАН                                 |
| 12 | <b>Тихонова Н.Ф.</b>         | секретарь конференции                                    |
| 13 | <b>Каевицер В.И.</b>         | д.т.н., ФИРЭ им. Котельникова РАН                        |

### **Координационная рабочая группа:**

Научн. 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.

Конференция проводится при финансовой поддержке Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Российского фонда фундаментальных исследований, Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### III. ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ

Приложения систем оперативной океанографии в подводной акустике <i>Коваленко В.В.</i> .....	13
Оценка экзарационной опасности при развертывании на арктическом шельфе измерительного оборудования <i>Либина Н.В., Никифоров С.Л.</i> .....	17
Цифровые модели рельефа в системе оперативной океанографии <i>Либина Н.В., Никифоров С.Л., Кошель С.М.</i> .....	21
Оперативная промысловая океанография: опыт научно-информационного обеспечения российского промысла сайры, сардины и скумбрии в северо-западной части Тихого океана <i>Устинова Е.И., Филатов В.Н., Новиков Ю.В.</i> .....	25
Применение арго-модели исследования глобального океана для расчета характеристик крупномасштабного водообмена в Мировом океане <i>Лебедев К.В.</i> .....	29
Оперативный анализ приводного ветра, облачности и осадков в циклонах по данным спутниковых микроволновых радиометров <i>Митник Л.М., Кулешов В.П., Митник М.Л.</i> .....	33
Перспективы создания отечественных технических средств оперативной океанологии <i>Дроздов А.Е., Ковчин И.С., Севбо В.Ю.</i> .....	37
Новый метод оперативного получения данных о структуре вод в промежуточных и придонных слоях открытого и прибрежного моря <i>Пака В.Т., Кондрашов А.А., Корж А.О., Ландер М.Р., Подуфалов А.П.</i> ...	41
Калибровка проточного флуориметра ПФД-2 <i>Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А., Гуреев Б.А.</i> .....	45
Микроволновая диагностика синоптических вихрей в океане <i>Барсуков И.А., Стрельцов А.М., Черный И.В., Чернявский Г.М.</i> .....	49
Акустическое зондирование верхнего слоя моря с применением донных излучателей <i>Буланов В.А., Корсков И.В., Стороженко А.В.</i> .....	51
Особенности распространения звука в море при наличии пузырьковых облаков в приповерхностном верхнем слое <i>Буланов В.А., Бугаева Л.К.</i> .....	55

Высокоточный измеритель скорости звука автономного дрейфующего буя *Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В.* ..... 60

Проект автоматизированной оперативной системы наблюдений за деятельным слоем океана в Арктике  
*Островский А.Г., Зацепин А.Г.*..... 64

#### **IV. ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТЫ, ПРИБОРНАЯ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА**

О детальном изучении структуры затопленных судов методом параметрического профилографа с использованием спутниковой навигации *Бреховских А.Л., Вольтер Е.Р., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Захаров Е.В., Клюев М.С., Косьян Р.Д., Куклев С.Б., Сажнева А.Э., Мазуркевич А.Н., Ольховский С.В., Шрейдер А.А.*..... 68

Судовой телевизионный комплекс СТК – реализация автоматизированной системы натуральных измерений толщины морского льда *Сероветников С.С., Фролов С.В.* ..... 72

Особенности автоматизированного проектирования телеуправляемых подводных аппаратов  
*Свищев Н.Д., Рыбаков А.В., Ермаков И.Д.* ..... 76

Применение ЛЧМ сигналов в акустических системах локального позиционирования подводных аппаратов  
*Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В.* ..... 80

Гидролокационный комплекс с ЛЧМ сигналами для обследования дна малых водоёмов с помощью дистанционно-управляемого мини-катера *Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В.* ..... 84

Мониторинг судов специального назначения и рыболовецкого флота на базе спутниковых систем навигации и связи  
*Зимин И.Б., Кошманов В.Ф., Ревяков Г.А.*..... 88

Методы распознавания донных объектов на изображениях, полученных с помощью гидролокатора бокового обзора  
*Смирнова Т.Е.* ..... 92

Экспериментальное исследование алгоритмов управления ориентацией необитаемого подводного аппарата при больших углах наклона *Гаврилина (Лямина) Е.А., Кропотов А.Н., Сарвира Д.В., Чумаков Ю.В., Березин А.В.* ..... 95

Влияние вибрационного воздействия на усилие отрыва от грунта опорных элементов (стоп) глубоководных шагающих платформ <i>Арыканцев В.В., Чернышев В.В., Бандурко А.В., Матвейчук М.Г.</i> .....	99
Оценка производительности алгоритма оптимизации для управления с предсказанием автономным подводным аппаратом <i>Сиек Ю.Л., Борисов А.Н.</i> .....	103
Нейросетевое прогнозное управление с предсказанием автономным подводным аппаратом <i>Борисов А.Н., Борисова М.А.</i> .....	106
Студенческий конкурсный гибридный необитаемый подводный аппарат «КУСТО II» <i>Плотников В.А., Каменев Я.М., Литик И.Ю., Борзенков М.А., Тиняков К.А., Ахтямов Т.Р., Семенюк И.С., Солодихина А.А.</i> .....	110
Разработка пятиступенного манипуляционного комплекса с использованием композиционных материалов и гибридной системы приводов <i>Зубков С. Н.</i> .....	114
Подводные испытания шагающего аппарата МАК-1 на озере Байкал <i>Чернышев В.В.</i> .....	117
Комплексное обеспечение эффективного обнаружения и идентификации подводных объектов <i>Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А.</i> .....	121
Перспективы использования гибридных необитаемых подводных аппаратов для океанологических исследований <i>Аладышева Е.И., Вельтищев В.В.</i> .....	124
Модель длинномерного кабеля в тренажере телеуправляемого подводного аппарата <i>Гамазов Н.И., Новиков В.И.</i> .....	128
Практическое применение светодиодного освещения в морской воде без использования защитного корпуса <i>Белевитнев Я.И., Анисимов И.М., Лесин А.В.</i> .....	132
Оптоволоконные подводные разъемы для глубоководных подводных аппаратов <i>Белевитнев Я.И., Лежнин В.А.</i> .....	134
Оценка фотометрических и электрических характеристик источников искусственного заливающего света для	

глубоководных визуальных наблюдений <i>Анисимов И.М., Белевитнев Я.И.</i> .....	136
Синхронная гидролокационная и видеосъемка при подводных исследованиях <i>Анисимов И.М., Тронза С.Н.</i> .....	140
Обеспечение безопасности водолазных спусков при океанологических исследованиях <i>Яхонтов Б.О.</i> .....	142
Физические параметры газовой среды и микроклимата барокамер водолазных комплексов <i>Яхонтов Б.О.</i> .....	146
Новый виртуально-подвижный GNOM-IP <i>Комаров В.С., Розман Б.Я.</i> .....	150
Метод «конечного поворота и смещения» в решении обратных задач кинематики для подводных манипуляторов последовательной структуры <i>Данилов А.В., Кротов А.Н.</i> .....	152
Расположение функциональных блоков на раме буксируемого необитаемого подводного аппарата «Видеомодуль» <i>Лесин А.В., Белевитнев Я.И.</i> .....	156
Системы пингерного контроля глубоководных приборов относительно дна <i>Носов А.В., Демидова Т.А., Тихонова Н.Ф.</i> .....	158
Автоматизированный гидрографический тральный комплекс <i>Дунчевская С.В., Сторожев П.П., Дьяконов М.В., Шавырин И.А., Видихин С.В., Колесников А.В., Исмаилов М.И.</i> .....	162
Многофункциональный гидроакустический модуль для детального обследования вертикальных конструкций гидротехнических сооружений <i>Дунчевская С.В., Сторожев П.П., Дьяконов М.В.</i> .....	166
Система контроля водолазов <i>Дунчевская С.В., Сторожев П.П., Большаков Е.Н., Сагитов И.М.</i> .....	170
Автономный привязной профилограф «Винчи» для морского шельфа, озер и водохранилищ <i>Островский А.Г., Волков С.В., Зацепин А.Г., Кочетов О.Ю., Швоев Д.А., Ольшанский В.М.</i> .....	174
Исследования в районах подводной разгрузки газообразных углеводородов в море Лаптевых с помощью буксируемого подводного аппарата «Видеомодуль» <i>Пронин А.А., Римский-Корсаков Н.А., Анисимов И.М., Белевитнев Я.И., Тронза С.Н., Лесин А.В.</i> .....	178



Методика типизации подводных ландшафтов архипелага Новая Земля в районах захоронения радиоактивных отходов <i>Удалов А.А., Анисимов И.М., Белевитнев Я.И.</i> .....	182
--	-----

## V. ЭКОЛОГИЯ ОКЕАНА

Исследования кинетики бпк в пробах воды в длительных опытах <i>Леонов А.В., Чичерина О.В., Икко О.И.</i> .....	186
Океанологические аспекты деятельности по восстановлению полей ламинарии ( <i>Saccharina Japonica</i> ) у побережья Приморья (Японское море) <i>Крупнова Т.Н., Матвеев В.И., Зуенко Ю.И., Цыпышева И.Л.</i> ...	190
Мезопланктонные сообщества прибрежных вод азербайджанской акватории Среднего Каспия <i>Джалилов А.Г.</i> .....	192
Современные методы исследований экотоксикологического состояния прибрежных морских акваторий <i>Черкашин С.А., Пряжевская Т.С.</i> .....	199
Спутниковый мониторинг температурных условий в промысловых акваториях Мирового океана <i>Булатова Т.В., Царева В.А., Барканова Т.Б., Ванюшин Г.П., Кружалов М.Ю., Трошков А.А., Сапунова Е.В., Анисова И.М.</i> .....	203
Мониторинг микропластикового загрязнения пляжей Севастополя с различной рекреационной нагрузкой <i>Сибирцова Е.Н., Агаркова-Лях И.В.</i> .....	207
Температурно-акустические разрезы как новый метод оперативного исследования распределения пелагических рыб <i>Сентябов Е.В.</i> .....	211
Вертикальная эволюция цветений кокколитофорид и её влияние на растворенную органику в черном море по данным буев БИО-АРГО <i>Кубряков А.А., Микаелян А.С., Станичный С.В.</i> .....	214
Об опыте использования авиаисследований при мониторинге морских млекопитающих <i>Забавников В.Б.</i> .....	217
Океанологические условия в горизонтах обитания скумбрии и сардины на северо-западе Тихого океана в летний период <i>Устинова Е.И., Кузнецов М.Ю., Басюк Е.О., Сыроваткин Е.В.</i> .....	221
Опыт разработки экологических биоэлектронных комплексов на базе двустворчатых моллюсков <i>Гайский П.В.</i> .....	225

О возможностях параметрического профилографа со спутниковой навигацией по изучению формы и структуры ихтиологических сообществ <i>Беликов Р.А., Бреховских А.Л., Вольтер Е.Р., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Ключев М.С., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А.</i> .....	228
Совместное Влияние гидрологических условий, пула биогенов и уровня загрязнения ВЕСНОЙ на обилие фитопланктона в северной половине Черного моря <i>Минкина Н.И., Самышев Э.З., Минкин С.И.</i> .....	232
Стабилизирующий герметичный блок для повышения точности и надежности измерений фар на поверхности моря при неблагоприятных погодных условиях <i>Григорьев А.В., Храпко А.Н.</i> .....	235
Автономный зондирующий комплекс для измерения подводной ФАР <i>Григорьев А.В., Храпко А.Н.</i> .....	240
Состав и обилие голо- и меропланктона в районе порта Кавказ, Керченский пролив <i>Селифонова Ж.П.</i> .....	244
Экспериментальные исследования реакции доминирующих видов макрозообентоса Белого и Чёрного морей на гипоксию водной среды <i>Гулин М.Б., Иванова Е.А.</i> .....	248
О видеорегистрации мезопланктона <i>in situ</i> <i>Оленин А.Л.</i> .....	252
Гидрохимический режим вод и состояние фитопланктонного сообщества в порту Новороссийск и за его пределами в 2017 году <i>Ясакова О.Н., Часовников В.К.</i> .....	254
Флуориметрия как средство изучения мезомасштабной изменчивости фитопланктона в океане <i>Карабашев Г.С.</i> .....	258
Сравнительная оценка методов сбора криофауны под арктическим морским льдом <i>Мельников И.А.</i> .....	263
Донная фауна склона Берингова моря: результаты исследований с телеуправляемым аппаратом «КОМАНЧ» <i>Галкин С.В., Рыбакова Е.И., Виноградов Г.М.</i> .....	269
Сравнение возможностей подсчёта мезо- и макрозоопланктона в столбе воды при погружениях телеуправляемого и обитаемых	

подводных аппаратов <i>Виноградов Г.М.</i> .....	272
Исследования континентального склона моря Лаптевых с использованием БНПА «Видеомодуль» <i>Веденин А.А., Галкин С.В.</i> .....	276
Применение различных видов подводной видеосъемки для этолого-акустических исследований белух соловецкого скопления <i>Беликов Р.А., Анисимов И.М., Белевитнев Я.И., Кузьмин В.Ю., Марин В.М., Таганова М.М., Прасолова Е.А., Краснова В.В.</i> .....	279
О методах количественной обработки видеозаписей для учета макробентоса <i>Мокиевский В.О.</i> .....	283
Изменение площади и пространственного распределения мангровых лесов на юге Вьетнама по данным съемок ЛАНДСАТ за 30 лет <i>Тон Шон, Добрынин Д.В., Мокиевский В.О.</i> .....	286
Изучение процесса вселения чужеродного краба-стригуна Опилио ( <i>Chionoecetes opilio</i> ) в Карское море при помощи буксируемого подводного аппарата «Видеомодуль» <i>Залота А.К., Зимина О.Л., Галкин С.В., Спиридонов В.А., Пронин А.А.</i> .....	289
Алфавитный указатель .....	293

## **ДОКЛАДЫ**

### III. ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ

УДК 504, 556

#### ПРИЛОЖЕНИЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ В ПОДВОДНОЙ АКУСТИКЕ

**Коваленко В.В.**

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

Рассмотрены примеры использования текущей и прогноз-ной информации о гидрофизических характеристиках океанической среды, получаемой от систем оперативной океанографии, для улучшения поисковых возможностей гидроакустических систем и оптимизации расстановки акустических сетевых систем подводного наблюдения.

Using of hydrophysical nowcast and forecast parameters ocean waters data from operational oceanography systems in underwater acoustical systems examples such as searching procedures as well as sensors distribution is considered.

Ранее нами рассматривались принципы создания сетевых систем подводного наблюдения в океанической среде и те преимущества в качестве их работы, которые дает согласование указанных систем со свойствами окружающей среды [1]. Однако представления о сквозной технологии («оперативная океанография – акустика») построения таких систем и/или их отдельных элементов в известной нам литературе отсутствовали, что сформировало соответствующую постановку задачи. В настоящей статье излагаются представления об объединении принципов оперативной океанографии и акустического подводного наблюдения в виде единой, сквозной технологии.

Любые средства акустического подводного наблюдения характеризуются, так называемыми, уравнениями пассивной и активной гидроакустики, в соответствии с которыми совместно рассматриваются факторы, влияющие на формирование сигнала и шума, а также модель наблюдателя (гидроакустического сенсора). Характерным для указанных уравнений является упрощенное представление сигнала, если и учитывающее его изменение при распространении в океане, то на основе ус-

редненных характеристик – вертикальных профилей скорости звука. Подводный акустический шум обычно выражается фиксированным значением уровня. А наблюдатель лишен возможности оптимизировать качество своей работы путем изменения положения и перемещения в пространстве, а также оптимизации своей структуры, путем ее согласования со свойствами среды. Свойства среды, по – существу, определяющие структуру акустических полей и сигнала, и шума изменчивы по пространству и во времени. Особенно сильно эта изменчивость проявляется в мелководных акваториях под воздействием совокупности природных факторов, одним из которых (существенных для распространения акустических волн) является морское дно.

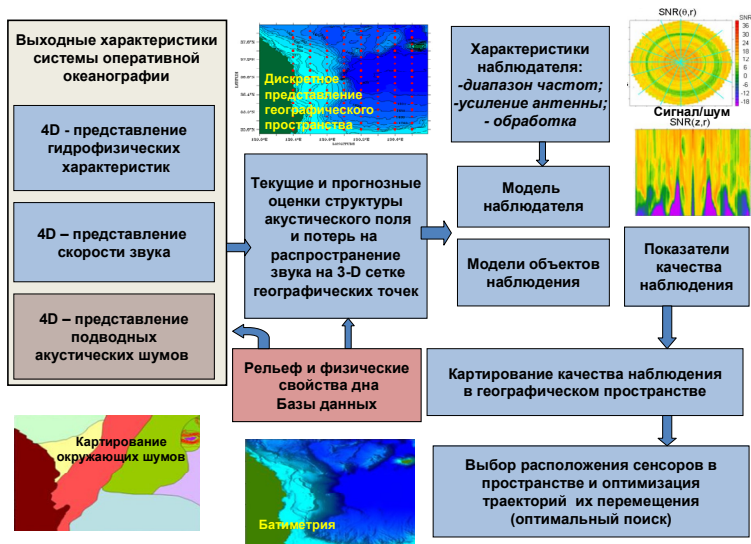


Рис. 1. Использование выходных характеристик систем оперативной океанографии в задачах и акустических системах подводного наблюдения

Известным назначением систем оперативной океанографии является текущая оценка (nowcast) и прогноз (forecast) гидрофизических характеристик водной среды в различных по пространственному охвату географических районах. Пространственная и временная изменчивость гидрофизических характеристик включают важную для подводной аку-

стики скорость звука. Особо отметим, что выходным продуктом систем оперативной океанографии является также характеристика возмущений поверхности моря, а ветровое волнение прямо связано с генерацией подводных акустических шумов.

Рис. 1 иллюстрирует указанную выше сквозную технологию. В качестве выходных характеристик систем оперативной океанографии представлены: пространственно-временные поля гидрофизических характеристик, скорости звука и оцениваемых (через возмущения поверхности) подводных акустических шумов. Оценки этих характеристик используются в качестве входных для расчета структуры акустических полей в водном слое и, в частности, для оценки потерь энергии этих полей на распространение. Такие оценки производятся в каждой точке дискретно представленного заданного трехмерного географического пространства, а с учетом временной изменчивости характеристик среды – в темпе, согласованном с такой изменчивостью. Для оперативного использования должны быть выполнены текущие оценки. Для планирования операций – прогнозные оценки. Рельеф (батиметрия) и физические свойства дна влияют на характеристики акустических полей и также привязываются к дискретному представлению географического пространства. Привязка расчетов к каждой из точек географического пространства эквивалентна расположению в этих точках пробных акустических сенсоров, характеризируемых рядом технических параметров (диапазон рабочих частот, усиление антенн и др.). Сенсоры могут быть локальными, распределенными, стационарными или подвижными. С учетом их технических характеристик и алгоритмов обработки данных формируются модели наблюдателей. Оценки показателей качества наблюдения предполагают наличие моделей объектов наблюдения, включающих пространственно-частотные уровни излучения для пассивного сенсора или рассеивающие свойства для активного сенсора. К важным, но промежуточным показателям качества подводного наблюдения следует отнести распределение отношения сигнал/шум (с/ш) или SNR в пространстве, привязанное к каждой точке дискретного пространства. На рисунке 1 приведены примеры азимутального распределения по расстоянию ( $r$ ) отношения  $SNR(\theta, r)$  для фиксированной глубины ( $z$ ) и распределения отношения  $SNR(z, r)$  по глубине для фиксированного направления ( $\theta$ ). Подчеркнем, что для получения отношения SNR нам необходимо совершить практически одинаковые действия в отношении сигнала (через модели парциального наблюдателя и объекта наблюдения) и по отношению к шуму, вызванному природными и антропогенными причинами. Далее надо совершить принципиально важное действие, а именно –

картирование всего, заданного и дискретно представленного в координатах  $x, y, z$ , географического пространства в значениях отношения сигнала к шуму. Разумеется, в темпе природной изменчивости свойств окружающей среды, включая акустический подводный шум, должно происходить обновление карты распределения по пространству отношения SNR. Полученный результат уже является основанием для выбора оптимального расположения в координатах  $x, y, z$  локального сенсора или сетевой системы сенсоров (системы подводного наблюдения). На этой же основе могут вырабатываться рекомендации по перераспределению расстановки пространственно-распределенных сенсоров или рекомендаций по оптимальному с точки зрения качества подводного наблюдения перемещению сенсоров в пространстве. Такая процедура в литературе названа оптимальным поиском.

Описанную технологию можно расширить путем преобразования отношений сигнала к шуму  $SNR(\theta, r)$  и  $SNR(z, r)$  через модель обнаружителя в значения вероятностей правильного обнаружения объекта  $Pd(\theta, r)$  и  $Pd(z, r)$ . Тогда картирование географического пространства будет производиться в значениях  $Pd(\theta, r)$  и  $Pd(z, r)$ . Пример – на рисунке 2. Это окончательные показатели качества подводного наблюдения, которые могут подаваться на некую машину принятия решений.

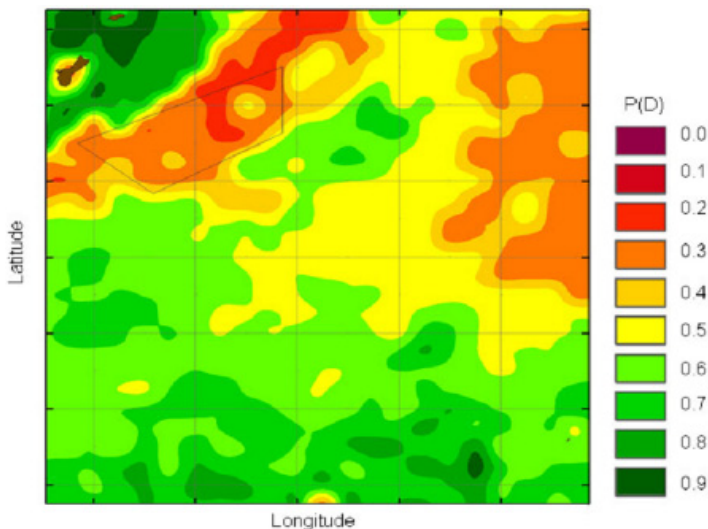


Рис. 2. Представленный в значениях  $Pd(x, y, z=z^*)$  срез карты района



Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2018-0010) при поддержке экспедиционных исследований РФФИ (проект № 17-05-41041).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Коваленко В.В., Лучинин А.Г., Малеханов А.И., Мареев Е.А., Хилько А.И. Принципы мониторинга океана на основе интегрированной сетевой системы распределенных согласованных со средой сенсоров //Акустика океана Труды школы-семинара ак. Л.М. Бреховских. М. ГЕОС, 2013. С. 177–184.

УДК 551.46:910.2 , УДК 550.83 (86)

### **ОЦЕНКА ЭКЗАРАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Либина Н.В., Никифоров С.Л.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр-т 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-85-47  
lnatvit@mail.ru*

Одним из георисков при размещении на дне арктических морей измерительных и коммуникационных систем является ледовая экзарация.

One of the main arctic seabed geohazard processes that fixed by marine measurements are ice gouging effects.

При размещении оборудования и коммуникаций на дне в замерзающих морях существенную опасность представляет воздействие на дно различных ледовых образований (ледовая экзарация).

На рисунках 1 и 2 приведены предварительные карты кумулятивного экзарационного воздействия на дно. Карты выполнены на основе цифровых моделей рельефа (ЦМР). Технология построения ЦМР показана в работах [1, 2 и др.].

Такие карты применимы как для предварительной оценки возможности современного ледового выпаживания дна, так и для выделения уча-

стков дна, предположительно деформированных в результате ледового выпахивания.

Ледовая экзарация на шельфе арктических морей России может быть вызвана торосами и стамухами, возникшими в результате разрушения сезонных или многолетних ледовых полей, а также айсбергами, образованными в результате разрушения ледников Новой Земли, Гренландии, архипелагов Шпицберген и Земля Франца Иосифа.

Результаты экспедиционных исследований последних лет зафиксировали следы экзарационного воздействия в широком диапазоне глубин – от прибрежного мелководья до бровки шельфа и глубже, как в западном, так и в восточном секторе Арктики [3, 4, 5] и др.]. На рис. 3 показаны фрагменты акустического изображения экзарационных борозд. Так в различных районах Баренцева моря наблюдались одиночные и многочисленные борозды ледового выпахивания в широком диапазоне глубин, в том числе на глубинах 300 м. Протяженность борозд может достигать несколько километров, ширина десятки метров, глубина вреза от 1 до 8 м [4, 5]. Большинство наиболее глубоководных борозд – предположительно реликтового происхождения.

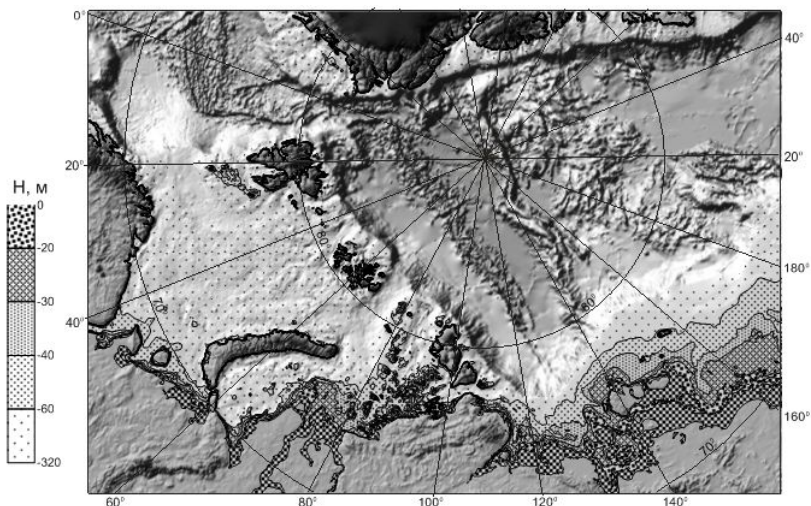


Рис. 1. Цифровая модель кумулятивного экзарационного воздействия на дно на арктическом шельфе

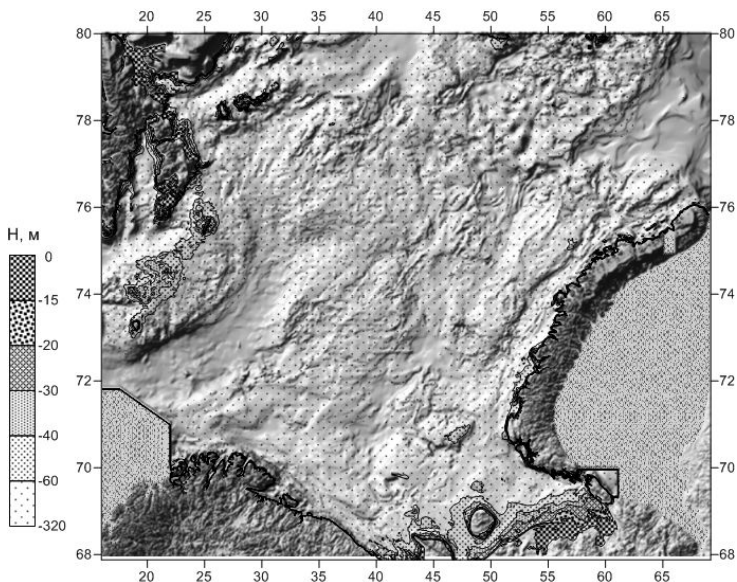


Рис. 2. Цифровая модель кумулятивного экзарационного воздействия на дно Баренцева моря

Таким образом, на шельфе арктических морей можно выделить: 1) области современной экзарационной опасности и 2) области кумулятивного экзарационного воздействия. В первом случае можно оценить вероятность опасности ледового воздействия на дно в соответствии с глубиной моря. Во втором случае рассматривается накопленное воздействие ледовых образований на дно: к районам потенциальной экзарационной опасности добавляются области, когда-либо подвергавшиеся ледовому воздействию независимо от частоты встречаемости воздействия.

По статистическим оценкам многолетних данных параметров торосистых образований и стамух [6], кили ледовых образований данного типа редко превышают 15 метров. Глубины моря до 15 – 20 м в различных районах Арктики могут подвергаться ледовому выпахиванию с высокой долей вероятности. Также борозды могут замываться, перекрываться более поздними. С увеличением глубины моря вероятность экзарационного воздействия уменьшается. Айсберги (в основном встречаются в Баренцевом море) могут выпахивать дно на существенно больших глубинах, чем торосы (десятки метров), их перемещение может быть отслежено по данным спутниковых съемок.

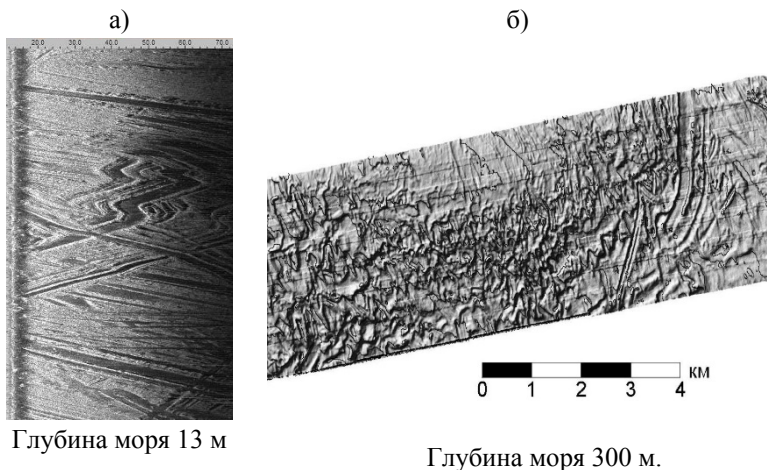


Рис. 3. Примеры акустического изображения экзарационных борозд.  
 а) мелководные (по данным гидролокатора бокового обзора [3].  
 б) глубоководные (по данным многолучевого эхолота) [4].

Работа выполнена по государственному заказу № 0149-2019-0006.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Никифоров С.Л., Кошель С.М., Фроль В.В. Цифровая модель рельефа дна Белого моря // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2012. № 3. С. 86–92.
2. Никифоров С.Л., Кошель С.М., Фроль В.В., Попов О.Е., Левченко О.В. О методах построения цифровых моделей рельефа дна (на примере Белого моря) // Океанология, том 55, №2, 2015, с.326-336.
3. Дмитриевский Н. Н., Ананьев Р. А., Либина Н.В., Росляков А. Г. Сейсмоакустические исследования верхней осадочной толщи и рельефа морского дна в морях восточной Арктики в 57-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик М.А. Лаврентьев» // Океанология. 2012. Т. 52, № 4. С. 617-620.
4. Зайончек А.В., Брекке Х., Соколов С.Ю., Мазарович А.О. и др. Строение зоны перехода континент-океан северо-западного обрамления Баренцева моря (по данным 24–26-го рейсов НИС «Академик Николай Страхов», 2006–2009 гг.). Строение и история развития литосферы. М.: Paulsen, 2010. С.111-157.

5. Миронюк С.Г., Иванова А.А., Колюбакин А.А. Экстремальные глубины современного ледового выпаживания на шельфе северо-восточной части Баренцева моря. Информационно-аналитический сборник «Российские полярные исследования». 2018. № 1.

6. Ледяные образования морей Западной Арктики. Под ред. Зубакина Г.К. ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский центр, Санкт-Петербург, 2006 г., 272 стр.

УДК 551.46:910.2

## ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ

**Либина Н.В.<sup>1</sup>, Никифоров С.Л.<sup>1</sup>, Кошель С.М.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр-т 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-85-47*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
119991, Российская федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1  
lnatvit@mail.ru*

Показаны основные направления возможного применения цифровых моделей рельефа в задачах оперативной океанографии.

In this study developed interacted approach of digital elevation models and operational oceanography.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) дна морских акваторий является важнейшим компонентом глобальной многослойной оболочки геоинформационной системы (ГИС). Под ЦМР дна и осадочной толщи понимается организованная структура файлов, содержащих векторные представления пространственных объектов разного типа, атрибутивную информацию о них и топологические соотношения между ними. ЦМР отображает рельеф дна в виде сеточного файла с шагом соответствующим заданному масштабу и должна соответствовать морфологии рельефа дна [1]. На рис. 1 представлена цифровая модель рельефа дна Белого и Баренцева морей [2].

В системе оперативной океанографии данные по свойствам рельефа дна, основанные на детальном (ЦМР) могут применяться при решении следующих задач:

- построение карт акустических свойств дна [3, 4];
- построение морфометрических характеристик рельефа: профилей дна, гистограмм распределения глубин, трехмерных изображений;
- построение картографических изображений производных рельефа: карт углов наклона, расчлененности рельефа, значений кривизны (кривизн) и т.д.;
- анализ рельефа и его геоморфометрических показателей позволяющих проводить пространственный анализ и оценку георисков;
- оценка геолого-геоморфологических процессов, структуры рельефа связанных с опасными природными явлениями: экзарация (ледовое выпахивание дна), оползни, деградация подводных многолетнемерзлых пород, эмиссия газов и пр., приводящих к быстрому изменению рельефа, физических и гранулометрических свойств осадков с целью минимизации рисков размещения оборудования и коммуникаций в районах развертывания и дальнейшей эксплуатации систем наблюдения;
- планирование и организация развертывания систем оперативного наблюдения устанавливаемых на поверхности дна, а также прогнозные построения изменений рельефа дна и физических свойств осадков включая вероятные геориски;
- прогноз дальности действия гидроакустических средств подводного наблюдения.

Морфометрические особенности распределения глубин шельфовых районов характеризуются расчлененностью поверхности дна и уклонами поверхности, отражающими степень выположенности рельефа. Хорошим показателем расчлененности рельефа является среднеквадратическое отклонение (СКО) характеризующее степень рассеяния глубин относительно их средних значений.

Основные геоморфометрические параметры, рассчитываемые на основе производных первого порядка – уклон (крутизна) и экспозиция склона. Уклон поверхности – угол наклона в точке пересечения между горизонтальной плоскостью и плоскостью касательной к земной поверхности; показывает интенсивность перепада высот (градиент) между двумя заданными точками. Уклон характеризует за скорость склоновых процессов, которые обусловлены перемещением вещества (грунтов, мутьевых потоков) по поверхности дна под действием силы тяжести. Экспозиция поверхности – угол по часовой стрелке между определенным направлением (как правило, на север) и проекцией уклона на горизонтальную плоскость; характеризует направление (азимут) максимального уклона (градиента) земной поверхности. Т.о. первая производная описывала градиент поверхности (его величину и направление). Вторая

производная фиксирует меру изменений этого градиента, т.е. является градиентом первой производной в заданном направлении. На производных второго порядка основывается система морфометрических кривизн, описывающих форму поверхности.

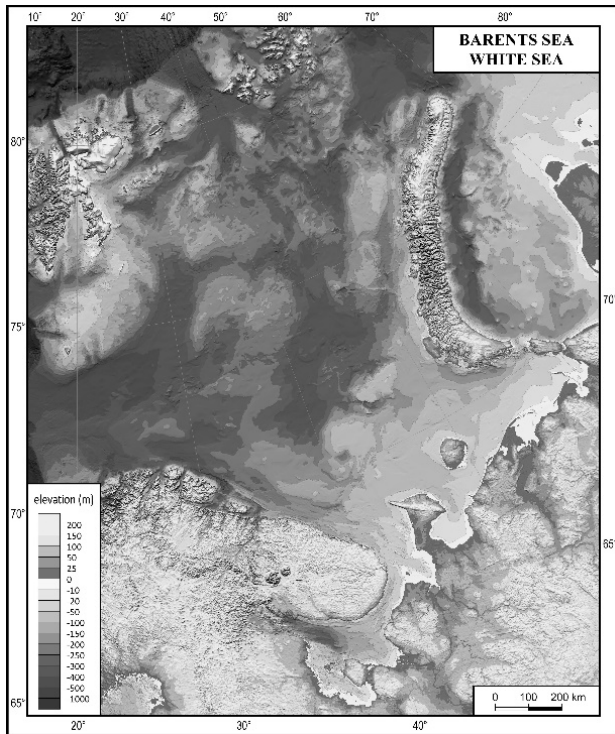


Рис. 1. Цифровая модель рельефа дна Белого и Баренцева морей [2].

Основные геоморфометрические параметры, рассчитываемые на основе производных второго порядка – кривизны поверхности.

В общем, кривизну в некоторой точке поверхности можно описать как кривизну линии, образованную пересечением земной поверхности и плоскости определенной ориентации, которая проходит через заданную точку. Наиболее часто в геоморфометрическом анализе используются горизонтальная (плановая), вертикальная (профильная) и (средняя, общая) кривизна. Чем больше значение кривизны (без учета знака), тем более выгнутой/выпуклой является поверхность.

Горизонтальная (плановая) кривизна описывает градиент экспозиции вдоль заданного контура; характеризует так называемый первый механизм аккумуляции, который зависит от способности потока сворачиваться по мере движения по земной поверхности.

Вертикальная кривизна описывает градиент уклона вдоль заданного контура и описывает меру изменения градиента; характеризует скорость стока и процессов транспорта седиментов, т.е. так называемого второго механизма аккумуляции. На вогнутых участках скорость поверхностного стока замедляется, а на выпуклых – ускоряется. Таким образом, при помощи вертикальной кривизны можно определять местоположение зон аккумуляции материала на вогнутых участках и зон его сноса – на выпуклых.

Для обобщения информации о кривизне поверхности в разных направлениях используется синтезирующий показатель, который в зависимости от метода расчета может быть выражен как средняя, суммарная или общая кривизна. Общая кривизна поверхности идентифицирует ее выпуклые участки положительными значениями, а вогнутые – отрицательными независимо от направления [5].

Работа выполнена по государственному заказу № 0149-2019-0006.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Никифоров С.Л., Кошель С.М., Фроль В.В.** Цифровая модель рельефа дна Белого моря // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2012. № 3. С. 86–92.
2. **Никифоров С.Л., Кошель С.М., Либина Н.В.** Цифровая модель рельефа дна Белого и Баренцева морей // Геоинформатика. 2018. № 2. С.32-36.
3. **Никифоров С.Л., Попов О.Е., Попов В.А., Селезнев И.А.** Концепция создания единой базы геоакустических данных морского дна и технологии геоакустического моделирования // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2010. №6. – С. 25-32.
4. **Никифоров С.Л., Селезнев И.А., Попов В.А., Кошель С.М.** Создание геомodelей рельефа морского дна для задач прикладной гидроакустики // Освоение морских глубин. 2018. изд. дом «Оружие и технологии». УДК 629.58 (091), ISBN 978-5-93799-070-9, С. 71-76.
5. Основные геоморфометрические параметры. URL: <http://gis-lab.info/qa/geomorphometric-parameters-theory.html>. Дата обращения: 17.05.2016.



**ОПЕРАТИВНАЯ ПРОМЫСЛОВАЯ ОКЕАНОГРАФИЯ: ОПЫТ  
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
РОССИЙСКОГО ПРОМЫСЛА САЙРЫ, САРДИНЫ И  
СКУМБРИИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА**

**Устинова Е.И., Филатов В.Н., Новиков Ю.В.**

*Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный Центр (ТИНРО-  
Центр),  
пер. Шевченко, 4, 690091 Владивосток, 8(423)2604530  
elena.ustinova@tinro-center.ru; sairal@mail.ru;  
yuriy.novikov@tinro-center.ru*

В работе представлено оперативное научно-информационное обеспечение российского промысла сайры, сардины и скумбрии в промысловый сезон с конца мая по начало декабря в северо-западной части Тихого океана. Был получен практический опыт создания и использования новых информационных технологий.

This paper presents the operational scientific and information support of Russian fishery of saury, sardine and mackerel for the fishing season from late May to early December in the Northwestern Pacific. Practical experience of creating and using new information technologies was obtained.

К настоящему времени получен большой практический опыт осуществляемого ТИНРО-Центром оперативного научного обеспечения российского промысла стайных пелагических рыб (сайра, сардина, скумбрия) в северо-западной части Тихого океана (СЗТО) с поздней весны до ранней зимы. Оперативная работа включает в себя сбор и усвоение данных, анализ и диагноз обстановки в масштабе времени, близкому к реальному, а также прогноз, визуализацию и распространение среди потребителей. Решаются следующие основные задачи [1]:

- мониторинг обнаруженных, прогноз и поиск новых скоплений рыбы и районов промысла в течение естественного синоптического периода (3-10 суток);
- оценка общего состояния и перспектив промысла на ближайший месяц;

- обеспечение капитанов ежедневной информацией, помогающей принять наиболее верные решения на предстоящий промысловый цикл и ближайшие 2-3 суток;

- индивидуальная помощь в поиске скоплений и облове промысловых скоплений капитанам, имеющим малый опыт работы на промысле.

В основе оперативного научно-информационного обеспечения промысла лежат результаты многолетних исследований ТИНРО-Центра. Ряд важнейших закономерностей пространственного распределения, миграций, формирования скоплений промыслового характера и воздействия на эти процессы окружающей среды, представленных на примере тихоокеанской сайры [1-4], используется в современной оперативной работе. Наиболее информативной и наглядной формой представления текущей гидрологической и промысловой обстановки, отражающей деятельность всех добывающих флотилий, включая иностранные, является промысловый планшет (см. пример планшета на рис. 1).

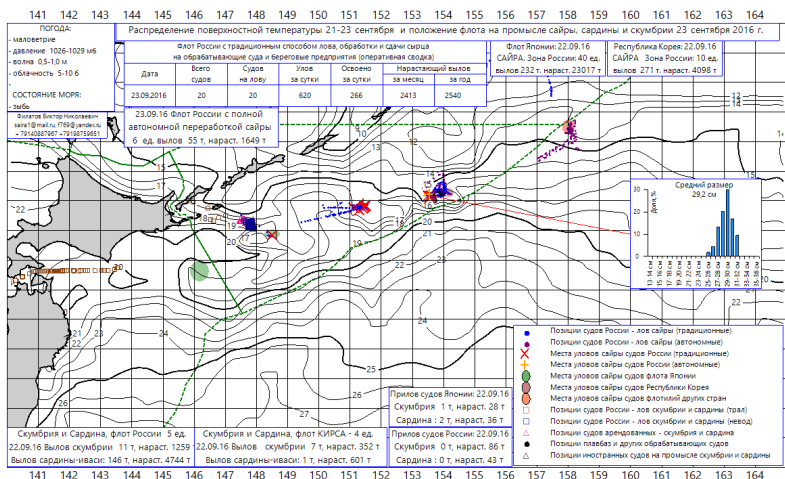


Рис. 1. Промысловый планшет за 23 сентября 2016 г.

Ключевые динамические структуры (течения Куро시오, Ойясио, Субарктическое, Соя, их ветви и меандры, а также синоптические вихри) и связанные с ними гидрологические фронты различного масштаба [5] оказывают влияние на миграции в богатые пищей субарктические воды в июне и южные миграции осенью. Важным фактором, определяющим

пространственное распределение сайры, скумбрии и сардины и их промысловых скоплений, является наличие и положение большого антициклонического вихря восточнее о. Хоккайдо летом и осенью. Этот вихрь может влиять на промысел в течение всей путины (несколько месяцев) и даже нескольких лет. Второй важный для рыбного промысла антициклонический вихрь часто расположен к востоку от пр. Буссоль, но он менее устойчив. Вихри меньшего масштаба также влияют на промысел. Так, средняя продолжительность устойчивого промысла сайры, связанного с небольшими циклоническими вихрями (~18 km) системы Ойясио, составляет ~1 неделю, а с мелкомасштабными циклоническими вихрями, образующимися на границе крупномасштабного антициклонического вихря – около 1-2 дней. Промысловые скопления сайры и скумбрии распадаются раньше при диссипации мезомасштабных неоднородностей по сравнению со скоплениями сардины. Это связано с предпочтениями в питании.

Поскольку основной промысел связан с океаническими фронтальными разделами, эффективность промысла существенно зависит от возможности оперативного анализа и прогноза гидрометеорологических условий. Оперативное обнаружение высокоградиентных зон осуществляется на основе полей температуры поверхности океана (ТПО) и альтиметрических данных. При анализе ТПО используются данные дистанционного зондирования и данные, полученные научными, научно-поисковыми (при их наличии на промысле, как, например, в осенний сезон 2018 г.) и промысловыми судами *in situ*. Использование данных ТПО, полученных *in situ*, позволяет непосредственно в районе промысла «уточнить» поля ТПО, построенные на основе спутниковых данных, выявить локальные неоднородности (участки фронтов, отдельных вихрей и т.д.), перспективные для промысла, и проследить их эволюцию.

Наиболее оптимальным примером в сегодняшней практике работы на промысле является использование программно-аппаратного комплекса "ТермоПромПланшет", который разработан на основе многолетнего опыта применения комплекса «ThermoTrack» на промысловых судах. Он позволяет с точностью не менее 0,05°C и временной дискретностью не реже одного раза в 30 сек фиксировать ТПО, автоматически создавать архивы на судовом компьютере и визуализировать измерения. Идеальным вариантом могла бы стать централизованная передача температурных данных, полученных с помощью этого комплекса, в единый центр через спутниковую систему судового позиционирования системы «Рыболовство». «Промысловый мониторинг» ТПО может быть интегрирован в большие системы мониторинга океана.

Помимо океанологических характеристик поверхностного слоя, используется информация о характеристиках подповерхностного слоя и о состоянии сезонного термоклина при наличии данных вертикального зондирования. Известно, что благоприятными для образования скопленных сайры являются участки с определенной вертикальной структурой [2, 3], которые характеризуются градиентом в сезонном термоклине не менее  $0,19^\circ/\text{м}$  и толщиной верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) не менее 6 м. Такие условия способствуют необходимой концентрации кормового зоопланктона. Толщина верхнего квазиоднородного слоя, вертикальные градиенты в термоклине, фронтальные зоны на горизонтах 50 и 100 м позволяют оценить текущую ситуацию и тенденции ее развития более корректно и комплексно. В частности, они помогают оценить интенсивность осенних процессов (сезонное охлаждение, увеличение толщины ВКС, уменьшение градиентов в термоклине, усиление течения Ойясио и его ветвей, размывание фронтов на севере) в районах промысла.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Филатов В.Н., Старцев А.В., Устинова Е.И., Еремин Ю.В.** Тихоокеанская сайра. Научно-информационное обеспечение промысловой экспедиции – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. – 120 с.
2. **Филатов В.Н.** Океанологические и гидробиологические особенности формирования скоплений нагульной сайры в водах Курильских островов // Результаты исследований по прогнозированию промысловой обстановки на Дальнем востоке. – Владивосток: Изд-во ТИНРО, 1989. – С. 5-16.
3. **Байталюк А.А., Филатов В.Н.** Условия формирования промысловых скоплений сайры в зонах с различной вертикальной структурой вод у южных Курильских островов // Известия ТИНРО. – 1999. – Т. 124. – С. 526-531.
4. **Филатов В.Н.** Миграции и формирование скоплений массовых пелагических гидробионтов (на примере тихоокеанской сайры) – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2015. – 168 с.
5. **Булатов Н.В., Самко Е.В.** Основные черты структуры фронтальных зон северо-западной части Тихого океана // Известия ТИНРО. – 2002. – Т. 130. – С. 12-13.

**ПРИМЕНЕНИЕ АРГО-МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ГЛОБАЛЬНОГО ОКЕАНА ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК  
КРУПНОМАСШТАБНОГО ВОДООБМЕНА В МИРОВОМ  
ОКЕАНЕ**

**Лебедев К.В.**

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

В статье представлены некоторые результаты расчетов по разработанной в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН Арго-Модели Исследования Глобального Океана (АМИГО).

Some results of numerical simulations performed using the Argo-Based Model for Investigation of the Global Ocean (AMI-GO) developed at Shirshov Institute of Oceanology .

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 буев-измерителей (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 [1-4]. Арго-модель состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку данных профилирования Argo [5,6] и блока модельной гидродинамической адаптации [7] вариационно проинтерполированных полей. Модель позволяет рассчитать по измерениям Арго полный набор характеристик океана: температуру, соленость, плотность и, что самое важное, скорость течений.

Для корректного описания водообмена при использовании модельной сетки была проведена корректировка рельефа дна для ряда ключе-

вых районов Мирового океана (Флоридский пролив, западная граница Гольфстрима, пролив Нэрса, Берингов пролив, район течения Куроисио, Индонезийские проливы и другие). На рис. 1-3 представлены рассчитанные по среднемесячным данным АМИГО графики изменчивости расходов в ряде ключевых проливов Мирового океана, где для корректного описания водообмена при проведении модельных расчетов была проведена корректировка рельефа дна.

Средний расход через Берингов пролив (рис. 1) получился равным  $0,63 \pm 0,57$  Св, что находится в хорошем соответствии с общепринятой оценкой  $0,83$  Св, полученной по данными многолетних прямых измерений [8].

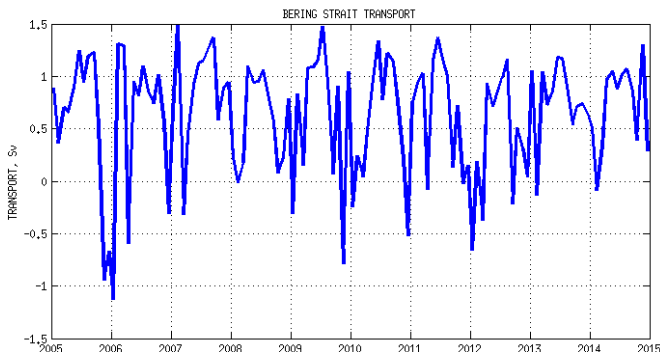


Рис. 1. . Изменчивость расхода в Беринговом проливе.

Изменчивость переноса из Северного Ледовитого в Атлантический океан через проливы Канадского архипелага, которые в модели представлены проливом Нэрса, добавленным в скорректированный рельеф дна, проиллюстрирована данными переноса в проливе Дейвиса, соединяющего море Баффина с морем Лабрадор. Средний расход через Дейвов пролив (рис. 2) получился в результате описанной выше коррекции рельефа дна равным  $1,46 \pm 0,29$  Св, что хорошо согласуется с известной из литературы оценкой  $1,6 \pm 0,5$  Св, полученной по данными прямых измерений 2004–2010 гг. [9].

Средний расход через Индонезийские проливы (рис. 3), характеризующий водообмен Тихого и Индийского океанов, получился равным  $15,4 \pm 3$  Св, практически не отличаясь от оценки  $15$  Св, основанной на результатах проводившихся в 2004–2006 гг. прямых измерений [10].

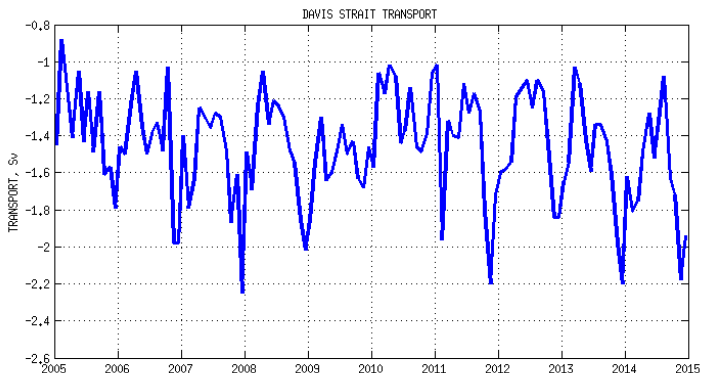


Рис. 2. Изменчивость расхода в проливе Дейвиса.

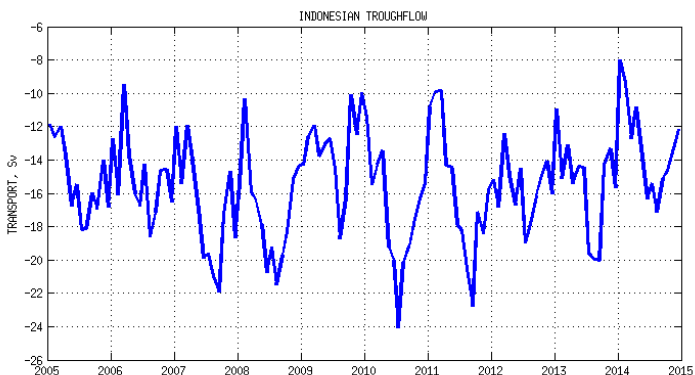


Рис. 3. Изменчивость расхода в Индонезийских проливах.

Использование Арго-модели АМИГО позволило, с одной стороны, систематизировать случайные наблюдения свободно дрейфующих поплавков Арго с помощью вариационной методики интерполяции наблюдений на регулярную одноградусную сетку, а, с другой стороны, на этой основе произвести сложные расчеты изменчивости расходов и переносов тепла и соли течениями при крупномасштабном водообмене.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-80089.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Лебедев К.В.** Арго-модель исследования глобального океана (АМИГО) // *Океанология*. 2016. Т.56. №2. С. 186-196.
2. **Лебедев К.В.** Арго-Модель Исследования Глобального Океана: синтез наблюдений и численного моделирования // *Океанологические исследования*. 2017. Т. 45. № 1. С. 53-69.
3. **Саркисян А.С., Никитин О.П., Лебедев К.В.** Физические характеристики Гольфстрима как индикатор качества моделирования циркуляции Мирового океана // *Докл. АН*. 2016. Т.471. №5. С. 595-598.
4. **Lebedev K.V., DeCarlo S., Hacker P.W., Maximenko N.A., Potemra J.T., Shen Y.** Argo Products at the Asia-Pacific Data-Research Center // *EOS Trans. AGU*. 2010. V. 91(26). Ocean Sci. Meet. Suppl. Abstract IT25A-01.
5. **Курносова М. О., Лебедев К.В.** Исследование изменчивости переносов в системе Куро시오 на 35° с.ш., 147° в.д. по данным поплавков Argo и спутниковой альтиметрии // *Докл. АН*. 2014. Т.458. №2. С. 225-228.
6. **Иванов Ю.А., Лебедев К.В., Саркисян А.С.** Обобщенный метод гидродинамической адаптации (ОМЕГА) // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 1997. Т.33. №6. С. 812-818.
7. **Roach A.T., Aagaard K., Pease C.H., et al.** Direct measurements of transport and water properties through the Bering Strait // *J. Geophys. Res.* 1995. V. 100, N C9. P. 18443–18457.
8. **Curry B., Lee C.M., Petrie B., Moritz R.E., et al.** Multiyear Volume, Liquid Freshwater, and Sea Ice Transports through Davis Strait, 2004–10 // *J. Phys. Oceanogr.* 2014. Vol. 44. No. 4. P. 1244–1266.
9. **Sprintall J., Wijffels S.E., Molcard R., Jaya I.** Direct estimates of the Indonesian Throughflow entering the Indian Ocean: 2004–2006 // *J. Geophys. Res.* 2009. V. 144, C07001. doi: 10.1029/2008JC005257.



## **ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ПРИВОДНОГО ВЕТРА, ОБЛАЧНОСТИ И ОСАДКОВ В ЦИКЛОНАХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ РАДИОМЕТРОВ**

**Митник Л.М., Кулешов В.П., Митник М.Л.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН,  
Балтийская ул., 43, 690041, г. Владивосток,  
7(493)231-2854, mitnik@poi.dvo.ru*

Рассмотрен метод оперативного анализа данных радиометра AMSR2 со спутника GCOM-W1, основанный на моделировании переноса микроволнового излучения в системе атмосфера-океан. Метод применен при оценке ветра и облачности в циклонах.

Technique for the operation analysis of the GCOM-W1 AMSR2 data based on the simulation of microwave radioactive transfer in the atmosphere-ocean system is considered. The technique is applied for estimate sea surface wind and cloudiness in cyclones.

Методика оперативного анализа пространственной структуры скорости приводного ветра  $W$  и содержания мелких и крупных капель воды в облаках  $Q$  и осадках  $R$  в циклонах основана на совместном анализе  $T_{я}(\nu)$  на частотах  $\nu = 10,6$  и  $89,0$  ГГц на горизонтальной ( $\gamma$ ) и вертикальной ( $\nu$ ) поляризации по измерениям радиометров AMSR2, GMI (спутник GPM) и МТВЗА-ГЯ (Метеор-М № 2).

Для AMSR2 яркостная температура на  $\nu = 10,6$  ГГц на  $\gamma$ -пол.  $T_{я}(10\Gamma)$  меняется от  $T_{я\text{мин}} \approx 80$  К ( $W \approx 0$  °С, ТПО < 12 °С,  $Q = 0$  кг/м<sup>2</sup>) до  $T_{я\text{макс}} \approx 250-270$  К (сплоченный морской лед, материковые покровы). Вариации  $T_{я}(10\Gamma)$  обусловлены изменением  $W$ , ТПО,  $Q$  и  $R$ . Крутизна радиационно-ветровой зависимости  $\partial T_{я}(10\Gamma)/\partial W \approx 1$  К/(м/с) при углах падения  $\theta = 55^\circ$  и  $65^\circ$  [1, 2]. При  $W = 30-35$  м/с (в тропических и глубоких внетропических циклонах), приращения  $T_{я}(10\Gamma) \approx (25-35)$  К. Значительно больше 35 К могут быть приращения  $T_{я}(10\Gamma)$ , вызванные облаками и осадками [3, 4]. Структура полей облачности и осадков хорошо проявляется в полях  $T_{я}(10\Gamma)$ .

Яркостная температура океана  $T_{яок}(10\Gamma)$  равна произведению температуры поверхности воды  $T_0 = t_0 + 273,15$  на коэффициент излучения

$\chi(10\Gamma, t_0)$ , который находится по формулам Френеля с использованием для диэлектрической проницаемости морской воды соотношений [5]. Для AMSR2 ( $\theta = 55^\circ$ ) зависимости  $\chi(10\Gamma, t_0)$  и  $T_{\text{Яок}}(10\Gamma, t_0)$  при  $W = 0$  м/с с высокой точностью могут быть рассчитаны по аппроксимационным формулам (1) и (2)

$$\chi(10\Gamma, t_0) = 0.2452 - 0.00093 t_0 + 1.687 \cdot 10^{-5} t_0^2 \quad (1)$$

$$T_{\text{Яок}}(10\Gamma, t_0) = 66.985 - 0.0198 t_0 + 0.00450 t_0^2 \quad (2)$$

При изменении  $t_0$  от  $-2$  до  $+32$  °С значения  $T_{\text{Яок}}(10\Gamma)$  сначала снижаются от 70,2 до 69,9 К при  $t_0 = 5$  °С, затем возрастают до 70,8 К. В умеренных и высоких широтах ( $-2 < t_0 \leq +12$  °С) вариации  $T_{\text{Яок}}(10\Gamma)$  не превышают 0,5 К, и формула для  $T_{\text{Яок}}$  имеет вид:  $T_{\text{Яок}}(10\Gamma) = 67.03 - 0.0570t_0 + 0.0072t_0^2$  [3].

В тропической зоне рост  $t_0$  от 25 до 32 °С сопровождается увеличением  $T_{\text{Яок}}(10\Gamma)$  примерно на 1,5 К. (Для сравнения отметим, что значения  $T_{\text{Яок}}(18\Gamma)$  уменьшаются от 76,1 К при  $t_0 = -1.8$  °С до 72,8 К при  $t_0 = +18$ °С, а затем возрастают до 73,9 К при  $t_0 = 32$ °С.

Влияние ТПО на  $T_{\text{Я}}$  гладкой поверхности океана меняется с частотой, углом падения и поляризацией излучения. Для МТВЗ-ГЯ ( $\theta = 55^\circ$ ) на в-пол. и  $\nu > 30$  ГГц это влияние мало. Минимальные значения отмечаются при  $t_0 = 13-20$  °С. Вне этого интервала значения  $T_{\text{Яок}}$  немного растут. Рост более заметен на  $\nu < 30$  ГГц и начинается при меньших температурах. Наиболее отчетливо зависимость  $T_{\text{Яок}} = f(t_0)$  выражена на  $\nu = 10,6$  ГГц, что используется при восстановлении ТПО.

На г-пол. рост ТПО сопровождается уменьшением  $T_{\text{Яок}}$  на  $\nu > 30$  ГГц. С уменьшением частоты зависимость от  $t_0$  ослабевает и на  $\nu = 23,8, 18,7$  и  $10,6$  ГГц вариации  $T_{\text{Яок}} < |0,3|$  К при изменении ТПО в пределах  $\pm 3$  °С относительно некоторого среднего значения.

Из совместного анализа спутниковых полей  $T_{\text{Я}}(10\Gamma)$ , видимых и ИК изображений циклонов и синоптических карт следует, что распределения осадков и облачности и приводного ветра могут заметно различаться. Если при построении поля  $T_{\text{Я}}(10\Gamma)$  максимальные значения ограничить значением 110-130 К, то мощная облачность и осадки лучше выделяются на окружающем фоне в виде полос и пятен различной формы и яркости, а вариации яркости фона отображают распределение приводного ветра (рисунок 1). На более высоких частотах поглощение в облаках и осадках и их яркостные температуры растут. Поэтому атмосферные образования с  $Q \leq 0,2$  кг/м<sup>2</sup> хорошо видны в полях  $T_{\text{Я}}$  на  $\nu \geq 36$  ГГц в отличие от приращений  $T_{\text{Я}}$ , обусловленных ветром, которые из-за роста поглощения в атмосфере и коэффициента излучения на г-поляризации с частотой снижаются.

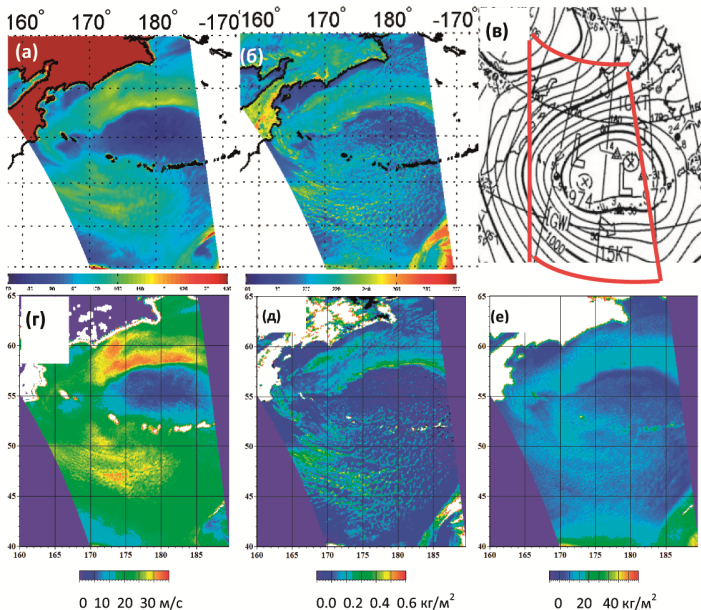


Рис. 1. Оперативный анализ приводного ветра и облачности в циклоне над северной частью Тихого океана 8 ноября 2016 г.:

яркостные температуры, измеренные в 01:15 Гр. радиометром AMSR2 на частотах 10,65 (а) и 89,0 ГГц (б) на г-поляризации, приземный анализ Японского метеорологического агентства за 00 Гр. (в), скорость приводного ветра (г), водозапас облаков (д) и паросодержание атмосферы (е), восстановленные по  $T_{я}$ . Красные пунктирные линии отмечают границы полосы обзора AMSR2

По приращениям  $T_{я}$  относительно безоблачных областей со слабым ветром  $\Delta T_{я}(10Г) = T_{я}(10Г, W) - T_{я}(10Г, W=0)$  (примем, что  $W=0$ ), можно оценить скорость ветра по известной геофизической модельной функции (ГМФ)  $F(10Г, \theta, W, \tau)$ . ГМФ описывает зависимость  $T_{яок}$  от скорости ветра и полного поглощения в атмосфере  $\tau$  для заданной частоты, поляризации и угла падения. ГМФ используются в алгоритмах восстановления скорости приводного ветра по данным спутниковых МВ радиометров. Для AMSR2 в качестве хорошего первого приближения можно принять, что вне зон мощной облачности и осадков  $W$  [м/с]  $\approx \Delta T_{я}(10Г)$  [К]. Во внетропических циклонах оценки  $W$  с использованием такой ГМФ и восстановленные по данным МВ радиометров и скаттерометров хорошо согласуются [4, 6].

Измерения сканирующих МВ радиометров (SSMI, AMSR2, GMI и др.) являются сегодня основным источником оперативной и научной информации о полях приводного ветра в широком диапазоне его изменчивости [7]. Достойное место в этом ряду могут занять и данные радиометра МТВЗА-ГЯ на спутниках серии Метеор-М № 2 [4, 8]. Запуск спутника Метеор-М № 2-2 планируется осуществить в июне 2019 г.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Meissner, T.** The emissivity of the ocean surface between 6–90 GHz over a large range of wind speeds and Earth incidence angle / T. Meissner, F. J. Wentz // *IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing*. 2012. V. 50. № 8. P. 3004–3026.
2. **Ebuchi, N.** Evaluation of marine surface wind speed observed by AMSR2 on GCOM-W // *IEEE J. Selected Topics Applied Earth Observation Remote Sensing*. 2017. Vol. 10. No. 9. P. 3955–3962.
3. **Митник Л.М.** Алгоритм восстановления скорости приводного ветра по измерениям микроволнового радиометра AMSR-E со спутника Aqua / Л. М. Митник, М. Л. Митник // *Исследование Земли из космоса*. 2011. № 6. С. 34-44.
4. **Mitnik, L.M.** Passive microwave observations of South America and surrounding oceans from Russian Meteor-M No. 2 and Japan GCOM-W1 satellites / L. M. Mitnik, V. P. Kuleshov, M. L. Mitnik, A. V Baranyuk // *Intern. J. Remote Sensing*. 2018. No. 13. P. 4513–4530.
5. **Meissner, T.** The complex dielectric constant of pure and sea water from microwave satellite observations / T. Meissner, F. J. Wentz // *IEEE Trans. Geoscience Remote Sens*. 2004. No. 9. P. 1836–1849.
6. **Zabolotskikh, E.V.** GCOM-W1 AMSR2 and MetOp-A ASCAT wind speeds for the extratropical cyclones over the North Atlantic / E. V. Zabolotskikh, L. M. Mitnik, B. Chapron B. // *Remote Sensing of Environment*. – 2014. V. 147. P. 89–98.
7. **Le Traon, P.-Y.** Use of satellite observations for operational oceanography: recent achievements and future prospects // P.-Y. Le Traon, et al. // *Journal of Operational Oceanography*. 2015. V. 8. No. S1. PP. 12–7.
8. **Чернявский Г. М.** Микроволновое зондирование океана, атмосферы и земных покровов по данным спутника Метеор-М № 2. / Г. М. Чернявский, Л. М. Митник, В. П. Кулешов, М. Л. Митник, И. В. Черный // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 4. С. 78–100.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ**

**Дроздов А.Е., Ковчин И.С., Севбо В.Ю.**

*Научно-производственное предприятие «Авиационная и морская электроника»  
(НПП АМЭ)*

*Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова 29, +78123037001 svbo-  
123@yandex.ru*

Дается перспектива создания на базе современных технологий комплекса технических средств получения информации *in situ* о гидрофизических полях океана в составе: одноразовые STD-зонды и гидрозонды-измерители придонных течений с УКВ связью, и буй-дрифтеры со спутниковой связью. Методика их применения и метрологические характеристики

Given the perspectives for creating on the basis of modern technology complex technical means of obtaining information *in situ* of the hydrophysical fields of the ocean composed of: disposable CTD -probes and hydro probes -meters of the bottom flows with VHF connection, and buoys-drifters with satellite connection. Methods of its application and metrological characteristics.

В соответствии с отечественной концепцией [1], оперативной океанологии и анализа зарубежного опыта, в докладе предложен подход к созданию на базе современных технологий комплекса отечественных технических средств для решения задач получения первичной информации о физическом состоянии океана *in situ*, образующие специализированную наблюдательную сеть. В состав в перспективе должны входить: одноразовые STD-зонд и гидрозонда, STD-измеритель придонных течений с УКВ-радиоканалами связи, а также буй-дрифтер со спутниковым каналом.

Одноразовые зонды будут измерять температуру, электрическую проводимость и скорость звука морской среды с привязкой к горизонту зондирования, а также параметры придонных течений. На основании материалов [2], можно утверждать, что скорость звука и электропроводность морской среды являются тождественными параметрами применительно к описанию гидрофизических полей, и на практике, возможно, ограничиться измерениями одного из них. Предпочтительный

выбор определяется, исходя из технологических возможностей производителя и экономических показателей.

В первую очередь это относится к разработке конструкции и схемы применения одноразового STD-зонда. Представляется правильным отказаться от обрывного кабеля, связывающего такой зонд с кораблем, а перейти к УКВ- радиоканалу передачи данных о зондировании. Схема работы одноразового зонда показана на рисунке и включает в себя: выброс зонда в воду на ходу корабля, до 20 узлов, размещение на поверхности воды поплавка с УКВ передатчиком и катушкой с тонким кабель-тросом, а далее быстрое, до 5 м/с, погружение зонда на глубину до 1000м с одновременным разматыванием этого троса и измерением STD – параметров. Значения параметров в режиме реального времени передаются от зонда по кабель-тросу на поплавок и далее по радиоканалу на корабль. Ликвидация такого одноразового зонда после окончания передачи измеренных данных легко достигается самопроизвольным разрушением или затоплением поплавка-носителя.

Примерно такой же алгоритм работы предполагает STD-измеритель придонных течений, показанный на рисунке. Однако спуск измерителя в воду производится уже с дрейфующего или на малом ходу корабля до 5 узлов, а затем его свободное погружение до дна с одновременным измерением STD параметров по профилю и с записью полученных результатов во внутреннюю память прибора. При достижении дна он там фиксируется и производит измерения скорости и направления течения. Далее происходит отсоединение якоря от прибора, который всплывает на поверхность воды и передает накопленные данные по УКВ радиоканалу на борт корабля.

Важнейшим элементом технических средств, задействованных в отечественной наблюдательной сети оперативной океанологии должны стать свободно дрейфующие буи-дрифтеры, функционирующих по типу буев ARGO.

В общем виде требования к метрологическим характеристикам вышеописанных измерительных средств, образующих оперативную наблюдательную сеть, определены в работе [1]. С учетом технологических возможностей российских производителей и действующей нормативной метрологической базы эти требования были уточнены и конкретизированы в работе[3] . Однако, с учетом фактического круга решаемых задач по получению исходных данных для определения граничных и начальных значений гидрофизических параметров для оперативного моделирования этих процессов, метрологические требования целесообразно установить согласно таблице.

Таблица. Требования к метрологическим характеристикам

Наименование измеряемой характеристики и единица измерений	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности при $P=0,95$	
		дрифтер	зонды
Температура морской воды, °C	$-2,5 \div 35$	$\pm 0,01$	$\pm 0,03$
Электрическая проводимость, отн. ед.	$0 \div 1,6$	$\pm 0,0015$	$\pm 0,01$
Скорость звука в воде, м/с	$1402 \div 1560$	$\pm 0,5$	$\pm 3$
Гидростатическое давление, МПа	$0 \div 20$	$\pm 0,05$	$\pm 0,01$
Скорость течения $V$ , м/с	$0,02 \div 1,5$	$0,1 V$	$\pm(0,02+0,5V)$
Направление течения, град	$0 \div 360$	$\pm 10$	$\pm 5$

Анализ известных конструкций отечественных и зарубежных средств измерений аналогичного назначения и настоящая таблица показывает, что для измерения температуры морской среды в одноразовых зондах вполне применимы полупроводниковые терморезисторы. В них изначальная нелинейность характеристики чувствительного элемента такого датчика легко устраняется современными средствами встроенной обработки на базе Мемс-технологии и микро-Чипов. Для исключения временного влияния на их показания следует предусмотреть средства контроля характеристик этих датчиков в полевых условиях перед началом использования. Платиновые или медные термометры сопротивлению правильно применять в буях-дрифтерах и автономных приборах.

Для измерений электрической проводимости в данном случае предпочтительней использовать индуктивные датчики. Во-первых, они выполняют измерение электрической проводимости морской воды с заданной в таблице погрешностью, обеспеченной действующими в РФ метрологическими эталонами, во-вторых, более технологичны в изготовлении на существующей отечественной производственной базе и в-третьих – более просты в эксплуатации.

Успешную конкуренцию каналам измерения электрической проводимости для получения информации о солености и плотности от одноразовых зондов или измерителей могут составить датчики скорости звука. На практике нашли применение циклические измерители дифференциального типа. Они просты в изготовлении и надежны при эксплуатации. На этой же основе с использованием современной Мемс-технологии вполне успешно можно строить акустические измерители придонных течений.

Для измерения гидростатического давления в океанологических приборах почти повсеместно нашли применения датчики тензометрического типа, изготавливаемых на основе полупроводниковых мостовых схем. При реализации аппаратуры оперативной океанологии вполне возможно воспользоваться этими устройствами с выбором соответствующего диапазона измерений и класса первичного преобразователя.

В настоящее время работа по созданию образцов такой техники ведется в НПП «АМЭ». При этом некоторые технические решения, использованные в известных отечественных, серийно выпускаемых приборах: ТЗО-1,2, АЦИТ, ОЛД-1 предполагается использовать в новых разработках, но уже на современной технологической основе. При этом планируются экспериментальные проверки принятых технических решений в области измерительной техники, систем связи, систем и механизмов обеспечения функционирования и управления устройствами.

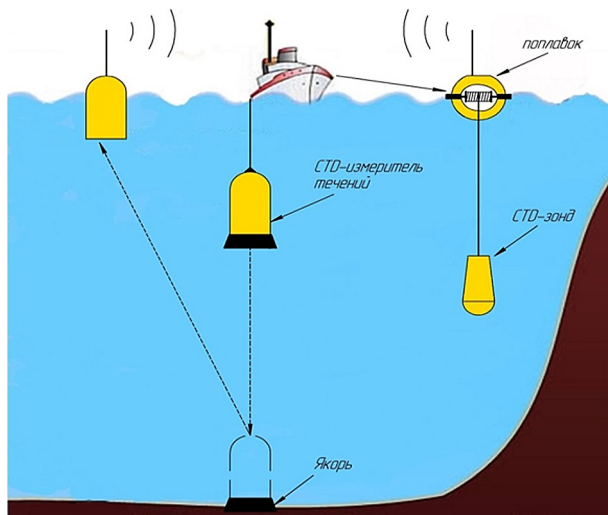


Рисунок. Схемы работы одноразовых STD-зонда и STD-измерителя придонных течений

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов Е.В. Состояние и развитие гидродинамических моделей океана // Сборник научных трудов «Фундаментальная и прикладная гидрофизика». – 2008 – С. 48-62.



2. **Калашников.** Первичная обработка гидрологической информации, – 1984 Гидрометиздат. – 232 с

3. **Дроздов А.Е., Жильцов Н.Н., Свиридов В.П.** Автономные комплексы контактных измерений океанографических параметров для решения задач оперативной океанологии// Навигация и океанография. – 2018. – №54 (в печати).

УДК 551.46.07

## **НОВЫЙ МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ О СТРУКТУРЕ ВОД В ПРОМЕЖУТОЧНЫХ И ПРИДОННЫХ СЛОЯХ ОТКРЫТОГО И ПРИБРЕЖНОГО МОРЯ**

**Пака В.Т.<sup>1</sup>, Кондрашов А.А.<sup>1</sup>, Корж А.О.<sup>1</sup>,  
Ландер М.Р.<sup>1</sup>, Подуфалов А.П.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup> Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Пр. Мира, 1, 236022, г. Калининград, 8(4012) 452813, [vpaка@mail.ru](mailto:vpaка@mail.ru)*

Представлена новая технология профилирования на ходу судна структуры моря от поверхности до дна, включая тонкий придонный слой, на протяженных разрезах, с использованием стандартных зондов.

New technology of en-route profiling of the structure of the seawater from surface to bottom including thin boundary layer, on extended transects with the use of standard probes is presented.

Важной особенностью Балтийского моря, которую необходимо учитывать при проведении его систематических исследований, является разделение его на два постоянно сосуществующих слоя: верхнего, распресненного стоком рек, и нижнего, осолоненного затоком соленых североморских вод. Разделяющий их галоклин является непреодолимой преградой для доставки кислорода в глубинные слои в объеме, необходимом для нормального развития биоты; кислород доставляется сюда только адвективным путем, только эпизодически с затоками. Поэтому море подвержено часто возникающей стагнации, пагубно влияющей на его продуктивность. Тем не менее, море активно и многопланово используется всеми странами региона, что заставляет изучать все его осо-

бенности, чтобы прогнозировать изменения состояния экосистемы, включая перемешивание и аэрацию глубинных вод. Для этого необходимо уделять особое внимание информативности измерений в придонном слое, которая не обеспечивается даже «продвинутыми» методами измерения с помощью буксируемых сканирующих зондов. Толщина слоя под галоклином в ключевых районах, а именно – вблизи и над порогами, разделяющими впадины на трассе затоковых течений, бывает настолько мала, что буксируемый зонды в него не попадают. В результате исчезает возможность обнаруживать и оценивать водообмен между смежными бассейнами, а также отслеживать наличие/отсутствие вод, способных изменять состояние гипоксии во впадах.

Как альтернатива буксируемым сканирующим зондам, не достигающим дна, а также альтернатива вынужденному возврату к выполнению измерений до дна на близко расположенных дрейфовых станциях, предлагается работа на ходу с той же скоростью, на которой проводится буксировка, но с использованием зондирования в отвес в режиме квази свободного падения зонда с достижением дна, при этом возвращение зонда на борт (или подтягивание к корме) достигается использованием тонкого фала или кабеля.

Как известно, зондирование в отвес на ходу судно обеспечивает система Woods Hole Underway CTD (UCTD), копирующая концепцию и композицию теряемых зондов SIPPICAN OCEAN SYSTEMS XBT, сохраняющих проводную связь с судном в течение всего времени измерений. UCTD не теряется, а возвращается на борт благодаря использованию тонкого (2-5 мм) шнура, одна часть которого намотана специальным образом на сам зонд, другая находится на лебедке, закрепленной на корме, с которой шнур с необходимой высокой скоростью сматывается при погружении зонда, и наматывается при выборке, но после этого часть шнура должна снова перематываться на зонд. Чтобы система работала достаточно быстро, скорость падения зонда выбирается как можно более высокой – до 4 м/с, но для этого зонд оснащается малоинерционными датчиками, и пока это только датчики температуры, электропроводности и глубины (CTD). Для наших целей принципиально необходимо использование зондов, содержащих, кроме CTD, как минимум, датчик кислорода. Поэтому мы ориентируемся на использование стандартных мульти-параметрических зондов, для которых скорость погружения должна быть около 1 м/с. Кроме того, решая актуальные задачи Балтики, глубины которой на основном участке трассы затоков меняются в пределах 45-110 м, мы принимаем во внимание, что время достижения дна не превысит 110 сек, при этом судно, идущее со

скоростью 6 узлов, или 3 м/с, за это время должно выпустить за борт менее 500 м фала или кабеля. Если выпущенный фал выбирать со скоростью 1 м/с, то зонд вернется под корму в данном предельном случае через 10 мин, обеспечивая частоту измерений 6 цикл/час и пространственное разрешение в 1 милю. Если глубокие участки трассы проходить на несколько пониженной скорости, например, 2 м/с, за борт будет выпущено менее 350 м фала или кабеля, общее время зондирования уложится в 7,5 мин, частота измерений составит 8 цикл/час, а разрешение – 0,5 мили. Поскольку глубокие участки трассы разрезов занимают не более 30-40% ее протяженности, реально достижимая скорость прохождения разреза составляет 5 узлов, что не уступает обычной скорости работы с буксируемым сканирующим зондом.

Чтобы окончательно решить, насколько целесообразно осваивать предлагаемую методику измерений в отвес на ходу судна, оценим технические трудности, связанные с механизацией работ на палубе. Отметим сразу, что обычные лебедки на НИС не имеют режима свободного вращения барабана и не проходят по скорости сматывания (до 3 м/с). Самое простое и эффективное – это выпускать за борт фал или тонкий гибкий кабель, заранее сложив его свободными петлями, причем укладка должна производиться в момент выборки. Это может делать механизм типа кабестана, используемый на судах, как правило, для швартовки (шпили, турачки) или для выборки на палубу рыболовных снастей («активные» блоки и др.). Для работы с зондом сконструирован специальный тянущий диск с глубокой V-образной канавкой, в которую закладывается выбираемый фал; при натяжении фал прижимается к стенкам канавки, и возникающая при вращении диска сила трения обеспечивает достаточное усилие для выборки всей длины фала. Схема действия тянущего механизма представлена на рис. 1. Кроме тянущего диска, механизм содержит направляющие блоки и еще один важный узел, обеспечивающий небольшое натяжение фала, сходящего с диска. Этот узел позволяет автоматизировать процесс компактной укладки выбираемого фала свободными петлями, как это видно на схеме.

Но схеме представлен вариант построения системы выборки фала с помощью диска, закрепленного консольно на лебедке с электроприводом мощностью около 1 кВт. Этой мощности достаточно для выборки фала с натяжением около 50 кг со скоростью около 1 м/с.

Лебедка размещается на корме судна, как это показано на фотографии. Легкий зонд с поплавком и грузом, снаряженные, как это показано на рис. 2, переводятся вместе с фалом за борт через леерное ограждение вручную.

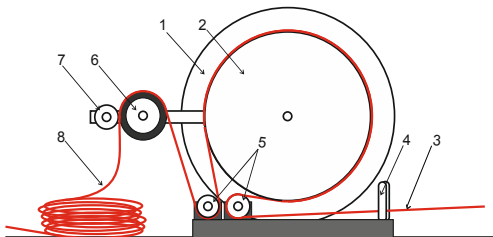


Рис. 1. Схема действия устройства с тянущим блоком (слева) и его размещение на корме судна (фото справа)

1 – барабан лебедки, 2 – тянущий блок, 3 – выбираемый фал, 4 – направляющие стойки, 5 – направляющие ролики, 6 – обрезиненный диск натяжительного устройства, 7 – прижимной ролик, 8 – выбранный фал, уложенный в готовности к выпуску за борт

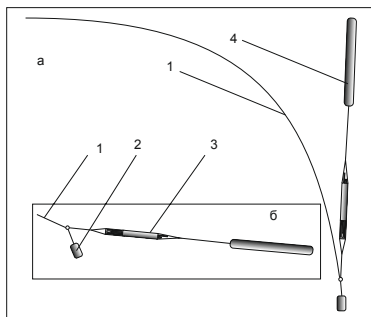


Рис. 2. Снаряжение зонда для использования в режиме вертикального зондирования на ходу судна. 1 – фал д.6 мм, 2 – груз 3 кг, 3 – зонд STD48Mc, укрепленный внутри петли из фала, 4 – поплавков с плавучестью 2кг. (а) – конфигурация при погружении, (б) конфигурация при выборке

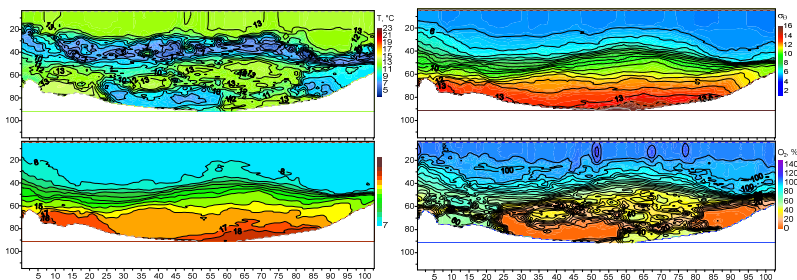


Рис. 3 Оперативная мезомасштабная съемка на разрезе в Борнхольмской впадине. Протяженность 110 км, количество зондирований – 70.

Тонкий слой воды недавнего залива, распространяющийся по дну впадины мог быть обнаружен только при зондировании до дна

На рис. 3 приведен пример съемки в южной части Балтийского моря 19-20.10.2018. В начале октября 2018 г. состоялся очередной большой заток. Он проявился на разрезе в виде теплых соленых плотных азрированных интрузий, мощных на промежуточных глубинах, но неувовимо тонких в придонном слое при иных способах оперативных измерений.

Экспедиционные исследования выполнялись в рамках госзадания ИО РАН (тема №0149-2019-0013), технические разработки, анализ и интерпретация данных выполнялись при поддержке гранта РФФИ 18-05-80031 и средств проекта DAIMON.

УДК 551.463.5

## КАЛИБРОВКА ПРОТОЧНОГО ФЛУОРИМЕТРА ПФД-2

Глуховец Д.И.<sup>1,2</sup>, Гольдин Ю.А.<sup>1</sup>, Гуреев Б.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01;*

<sup>2</sup> *Московский физико-технический институт (государственный университет),  
Институтский пер., 9, 141701, г. Долгопрудный, 8(495)408-45-54,  
glukhovets@ocean.ru*

Разработан метод калибровки проточного флуориметра. Калибровка осуществляется по данным спектральных измерений, выполняемых на пробах морской воды с помощью двухканального лазерного спектрометра.

A method for calibration a flow-through fluorimeter has been developed. Calibration is carried out according to spectral measurements performed on samples of sea water using a two-channel laser spectrometer.

Эффективность использования проточных флуориметров продемонстрирована в ряде работ [1-3]. Проточные флуориметры, работающие на ходу судна, позволяют получать большие массивы данных, дающих уникальную информацию об изменчивости биооптических параметров.

Ценность получаемых с использованием проточных флуориметров данных существенно повышается после проведения калибровки, обеспечивающей приведение результатов измерений к абсолютным (Рамановским) единицам (R.U.). Это позволяет сравнивать данные, полученные в разных экспедициях с использованием разных приборов.

В работе представлена разработанная авторами методика калибровки данных измерений двухканального проточного флуориметра ПФД-2, созданного в Лаборатории оптики океана ИО РАН [4]. В этом приборе флуоресценция возбуждается излучением работающих в непрерывном режиме сверхъярких светодиодов на длинах волн 373 нм и 521 нм в каналах измерения окрашенного растворенного органического вещества (ОРОВ) и хлорофилла «а» (Хл), соответственно. Диапазоны регистрации излучения формируются с помощью цветных стеклянных фильтров (максимумы пропускания – 480 нм и 685 нм для каналов ОРОВ и Хл). Прибор обеспечивает измерения интенсивностей флуоресценции ( $I_{\Pi}$ ) в относительных единицах.

Для проведения калибровки используются данные двухканального лазерного спектрометра ЛС-2 [4], обеспечивающего измерения спектров флуоресценции морской воды и комбинационного рассеяния (КР) при возбуждении лазерным излучением с длинами волн 401 нм и 532 нм.

Измерения проточным флуориметром должны проводиться при постоянном напряжении ФЭУ ( $U_{\text{ФЭУ}}$ ). Используемый в проточном флуориметре ПФД-2 16-разрядный АЦП позволяет не переключать  $U_{\text{ФЭУ}}$  в широком диапазоне изменений характеристик морской воды. При необходимости  $U_{\text{ФЭУ}}$  можно изменить, но при последующей обработке весь массив данных измерений должен быть приведен к единому значению  $U_{\text{ФЭУ}}$  с помощью коэффициентов пересчета.

Пробы для калибровки отбираются из водозаборной системы до проточного флуориметра на участках с квазиоднородным распределением интенсивностей флуоресценции не менее двух раз в сутки с равномерными временными интервалами между отборами, а также после пересечения фронтальных зон. Одновременно с отбором проб записываются показания проточного флуориметра.

С помощью ЛС-2 измеряются полные спектры флуоресценции и КР морской воды при возбуждении лазерным излучением фиолетового и зеленого диапазонов. Для уменьшения случайной погрешности в каждом канале записывается по 10 спектров. Затем производится интерполяция полосы флуоресценции ОРОВ под пиками КР в фиолетовом канале и под пиком флуоресценции Хл и КР в зеленом канале. Примеры обработанных спектров показаны на рисунке 1. В результате нормировки значений на величину КР ( $I_{\text{КР}}$ ) мы получаем  $I_{\Pi}$  ОРОВ в R.U. (401 нм) и  $I_{\Pi}$  Хл, а также подставки ( $I_{\Pi}$ ), образованной длинноволновым крылом полосы флуоресценции ОРОВ, в R.U. (532 нм). Перед последующей обработкой полученные значения за исключением очевидных выбросов усредняются.

На следующем этапе обработки строится регрессия между совпадающими по времени данными измерений двух приборов: величиной сигнала в канале ОРОВ проточного флуориметра ( $U_{\text{ОРОВ}}$ ) и  $I_{\text{П}}$  ОРОВ в R.U. (401 нм), измеренной с помощью лазерного спектрометра. После этого весь массив данных  $U_{\text{ОРОВ}}$  с учетом полученного регрессионного соотношения пересчитывается в R.U. (401 нм). Пример такого соотношения показан на рисунке 2а.

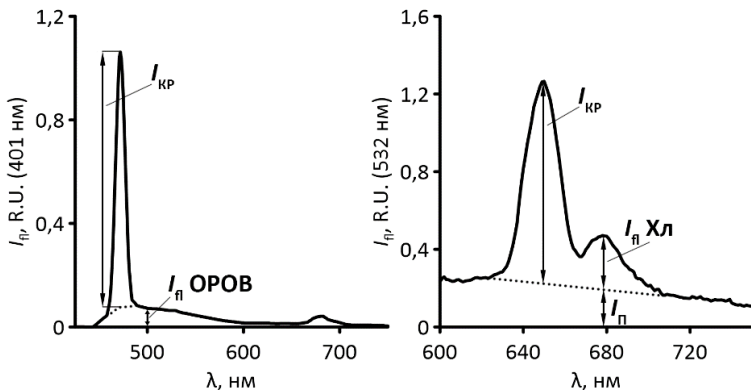


Рис. 1. Пример обработанных спектров флюоресценции морской воды при возбуждении 401 нм (слева) и 532 нм (справа).  
58° 15' с.ш., 49° 29' з.д. 15 июля 2018 г.

Аналогичная операция производится и в зеленом канале. Для построения регрессии используются величины сигнала в канале Хл ( $U_{\text{Хл}}$ ), которые состоят из  $I_{\text{П}}$  Хл и подставки  $I_{\text{П}}$ , и соответствующие величины в Рамановских единицах (532 нм), полученные с помощью лазерного спектрометра ( $I_{\text{П}}$  Хл +  $I_{\text{П}}$ ). Пример такой регрессии показан на рисунке 2б. Весь массив данных  $U_{\text{Хл}}$  пересчитывается в R.U. (532 нм).

Для получения истинных значений  $I_{\text{П}}$  Хл (без вклада флуоресценции ОРОВ) производятся следующие операции. Рассчитывается регрессия  $U_{\text{ОРОВ}}$  и амплитуды подставки  $I_{\text{П}}$  в R.U. (532 нм). Пример регрессионного соотношения показан на рисунке 2в. По всему массиву данных измерений в фиолетовом канале ПФД-2 рассчитывается величина подставки  $I_{\text{П}}$  для массива данных зеленого канала в R.U. (532 нм). На последнем этапе производится вычитание подставки из общего сигнала, измеренного в зеленом канале проточного флуориметра. В результате получается массив истинных значений  $I_{\text{П}}$  Хл в R.U. (532 нм).

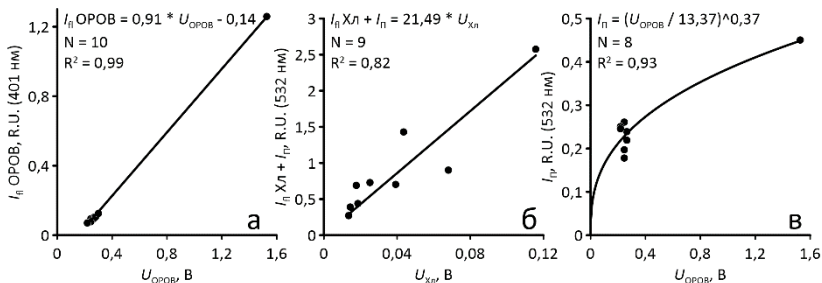


Рис. 2. Калибровочные соотношения (пояснения в тексте).  
Северная Атлантика, июль-август 2018 г.

Разработанная методика калибровки проточного флуориметра была успешно опробована в 71-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в морях северной Атлантики. Для акваторий с иным содержанием ОРОВ может потребоваться установление новых регрессионных уравнений.

Экспедиционные исследования выполнены в рамках государственного задания (темы № 0149-2018-0002 и 0149-2019-0003). Обработка и анализ данных выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00525. Грант предоставлен через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Lorenzen C.J.** A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration // *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*. – Elsevier, 1966. – Т. 13. – №. 2. – С. 223–227.
2. **Vepsäläinen J., Pyhälähti T., Rantajärvi E., Kallio K., Pertola S., Stipa T., Kiirikki M., Pulliainen J., Seppälä J.** The combined use of optical remote sensing data and unattended flow-through fluorometer measurements in the Baltic Sea // *International Journal of Remote Sensing*. – 2005. – Т. 26. – №. 2. – С. 261–282.
3. **Glukhovets D.I., Goldin Yu.A.** Surface layer desalination of the bays on the east coast of Novaya Zemlya identified by shipboard and satellite data // *Oceanologia*. – 2018.
4. **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.



## МИКРОВОЛНОВАЯ ДИАГНОСТИКА СИНОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ОКЕАНЕ

**Барсуков И.А., Стрельцов А.М., Черный И.В., Чернявский Г.М.**

*АО «Российские космические системы»*

*117997 г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32, E-mail: icherny@cpi.space.ru*

Рассматриваются результаты наблюдения синоптических вихрей в океане методом пассивного микроволнового зондирования с использованием самолетных и космических средств. Наблюдения проводились в субарктической фронтальной зоне Тихого океана в районе Куроисио.

The results of the synoptic eddies observations in the ocean by means of aircraft and spaceborn passive microwave remote sensing, are discussed. The observations were carried out in the Pacific subarctic frontal zone in Kuroshio region.

Развитие дистанционных методов зондирования Земли из космоса имеет важное значение для создания системы глобального мониторинга океана [1–4]. Одно из центральных мест в современной океанологии занимает проблема изучения синоптических вихрей [5].

Способы дистанционного наблюдения вихрей в условиях реального океана весьма разнообразны. Это, например, температурные аномалии морской поверхности, которые видны на изображениях в инфракрасном диапазоне. Неоднородности поля поверхностных течений, наряду с изменениями температуры, вызывают вариации коэффициента обратного рассеяния морской поверхности. Поэтому на радиолокационных изображениях хорошо проявляются границы течений. Метод альтиметрии позволяет обнаруживать вариации уровня поверхности океана, обусловленные синоптическими вихрями и волнами Россби.

В докладе приводятся результаты наблюдения синоптических вихрей в океане, включая глубоководные, методом СВЧ-радиометрии с использованием самолетных и космических средств.

Рассматривается комплексный эксперимент по изучению субарктической фронтальной зоны Тихого океана вдоль меридиана 149°в.д. от 34 до 45°с.ш. с участием НИС "Академик Лаврентьев" и самолета-лаборатории ТУ-134СХ в октябре 1990 г. Эксперимент включал как СВЧ-зондирование поверхности океана, так и измерения параметров *in-situ* [4].

В ходе данного эксперимента было обнаружено уникальное явление в океане – синоптический ринг Куроисио, состоящий из двух сопряженных вихрей противоположного знака – циклонического и антициклонического [4].

Антициклонический вихрь располагался вблизи поверхности, тогда как циклонический вихрь находился на глубине свыше 150 м.

Микроволновая съемка хорошо фиксирует оба вихря, причем антициклонический вихрь наблюдается только в канале 37 ГГц и его изображение на поверхности имеет размер порядка 150 км, а циклонический вихрь – только в канале 48 ГГц и размер его изображения на поверхности составляет около 200 км. Кроме того, контрасты яркостной температуры, обусловленные глубоководным вихрем (6-7 К), более значительны, чем вызванные вихрем, расположенным у поверхности (3-4 К).

Два сопряженных вихря противоположного знака – циклонический и антициклонический – называют солитоном Россби. Экспериментальные данные дистанционного зондирования и измерения *in-situ* находятся в хорошем согласии с результатами Кизнера [6] по численному моделированию солитона Россби.

Тот факт, что средства СВЧ-радиометрии позволяют наблюдать одновременно оба вихря, может служить важным элементом спутниковой океанологии, поскольку, положение одного вихря по отношению к другому определяет генеральное направление их распространения в океане [5].

Рассматриваемые в докладе особенности проявления синоптических вихрей в поле собственного СВЧ-излучения поверхности океана не является чем-то исключительным и редким. Напротив, встречаются они в океане довольно часто, но всегда приурочены к тем или иным гидрофизическим возмущением. Наличие спектральных вариаций СВЧ-излучения морской поверхности, как показано в [1,2], связано с развитием вторичных неустойчивостей тонкой термохалинной структуры вод океана, что в данном случае можно рассматривать как индикатор проявления синоптических вихрей на поверхности океана.

В докладе приводятся результаты космических съемок района течения Куроисио, которые проводились в сентябре 2016 г. с помощью СВЧ-радиометра спутника «Метеор-М» №2 [7]. Применяя метод регрессионного анализа для спектральных измерений на частотах 31 и 48 ГГц, были классифицированы пространственные области размером порядка 100-150 км, которые наблюдались в течение многих суток и которые можно интерпретировать как проявление океанических синоптических вихрей.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Cherny I.V. and Raizer V.Yu.** Passive Microwave Remote Sensing of Oceans. Wiley-Praxis, Chichester, 1998, 195p.
2. **Никитин О.В., Черный И.В., Чернявский Г.М.** Аэрокосмические методы микроволновой диагностики внутриокеанических процессов // Морские информационно-управляющие системы, 2013. №1. М.: ОАО «Концерн «Моринформсистема-Агат». С.72–77.
3. **Чернявский Г.М.** Отечественные технологии спутниковой СВЧ-радиометрии // Аэрокосмический курьер, 2007. №6. С.57–59.
4. **Черный И.В., Шевцов В.П.** Проявление синоптического вихря в поле собственного СВЧ-излучения поверхности океана // Исследование Земли из космоса, 1994. №4. С.9–17.
5. **Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Монин А.С.** Синоптические вихри в океане. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. 512 с.
6. **Кизнер З.И.** Солитоны Россби с осесимметричными бароклинными модами. – ДАН СССР, 1984. Т. 275. №6. С.1495–1498.
7. **Чернявский Г.М., Митник Л.М., Кулешов В.П., Митник М.Л., Черный И.В.** Микроволновое зондирование океана, атмосферы и земных покровов по данным спутника Метеор-М №2. В сб.: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Том 15. №3. С.152–174.

УДК 534.222.2; 551.463.2

## АКУСТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ВЕРХНЕГО СЛОЯ МОРЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОННЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

**Буланов В.А., Корсков И.В., Стороженко А.В.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
Дальневосточного отделения РАН  
Владивосток, 690041, ул. Балтийская, д.43  
Тел.: (423)2374913; Факс: (423)2312573, E-mail: bulanov@poi.dvo.ru*

В верхнем слое моря наблюдается повышенное рассеяние звука, связанное с наличием планктона и воздушных пузырьков. Показано, что акустические методы позволяют разделить вклад в рассеяние звука, обусловленный этими включениями и позволяют дать независимую оценку газосодержания и концентрации планктона в верхнем слое моря.

In the upper layer of the sea there is an increased scattering of sound associated with the presence of plankton and air bubbles. It is shown that acoustic methods allow to divide the contribution to the sound scattering caused by these inclusions and allow to give an independent assessment of the gas content and plankton concentration in the upper sea layer.

При развитом волнении всегда наблюдается повышенное рассеяние звука, обусловленное газовыми пузырьками, вовлеченными в толщу морской воды динамикой движений в поверхностных волнах. Одновременно в верхнем слое моря наблюдается повышенное рассеяние звука, связанное с наличием планктона [1–3]. Ниже представлены результаты работы по совершенствованию акустических методов для изучения детальной структуры и динамики верхнего слоя моря с высоким пространственным и временным разрешением. Подготовлены новые акустические донные системы с инвертированными высоконаправленными эхолотами для исследований в верхнем слое моря, которые установлены в бухте Витязь залива Петра Великого Японского моря. Это позволило получить новые данные о суточных вариациях коэффициента рассеяния звука и связанных с ними вариациях распределения биомассы в форме зоо- и фитопланктона в толще моря. В бухте Витязь залива Петра Великого Японского моря были установлены две акустические донные системы на небольшом разнесении около 20 м на глубинах около 10–12 м с инвертированными высоконаправленными эхолотами на частотах в интервалах 54–64 кГц, 110 – 126 кГц, 138 кГц [4].

Одна донная система состоит из 2-х акустических преобразователей с рабочей частотой 60 кГц, направленных под углом 25 градусов относительно друг друга. Другая донная система состоит из трехэлементного широкополосного направленного излучателя и приемного гидрофона, установленных на дно с направлением излучения вертикально вверх. Фотографии систем представлены на рис. 1.

На рис. 2 показана функциональная схема донных систем. Схема позволяет проводить исследования рассеяния звука путем коммутации акустических излучателей и приемников в различных сочетаниях. Режимы излучения программируются цифровым генератором сигналов специальной формы (ГСПФ-053), усиливаются и передаются на выбранный излучатель. Тракт приема позволяет вести регистрацию сигналов рассеяния как в узком диапазоне частот селективным усилителем SN-233, так и в широком диапазоне усилителем SN-232.



Рис.1. Общий вид донных систем

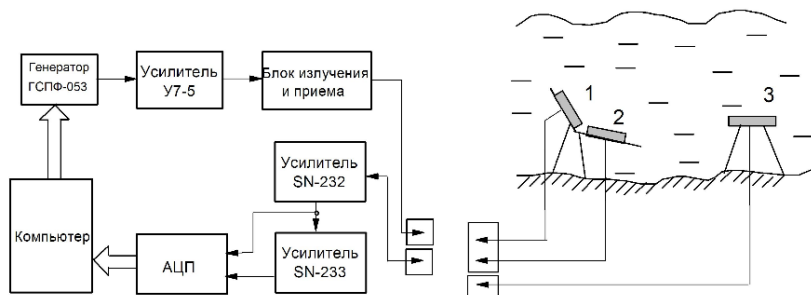


Рис. 2. Функциональная схема донных систем

1, 2 – акустические преобразователи двухэлементной акустической системы, 3 – акустический преобразователь одиночный

Проведены исследования рассеяния звука на звукорассеивающих структурах в различные сезоны, которые за счет многочастотного зондирования позволили решить задачу идентификации объектов рассеяния (планктон, пузырьковые облака, рассеяние, связанное с динамикой внутренних волн) и получить новые данные о сезонных и суточных вариациях коэффициента рассеяния звука в толще моря [3, 4].

На рис. 3 показана динамика рассеяния звука в толще морской воды в прибрежной зоне при наличии пузырьковых облаков и при одновременном ярко выраженном слое планктона. Видно, что пузырьки проникают достаточно глубоко и рассеяние звука на пузырьках частично перекрываются с рассеянием звука на планктоне, вовлеченном в движение во внутренней волне на глубине около 6–7 м.

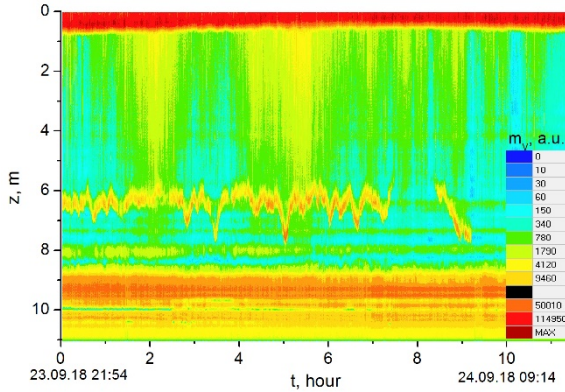


Рис. 3. Зависимость коэффициента рассеяния звука от времени при наличии пузырьковых облаков, проникающих до глубины около 6 м при одновременном ярко выраженном слое планктона на глубине от 6 до 7.5 м

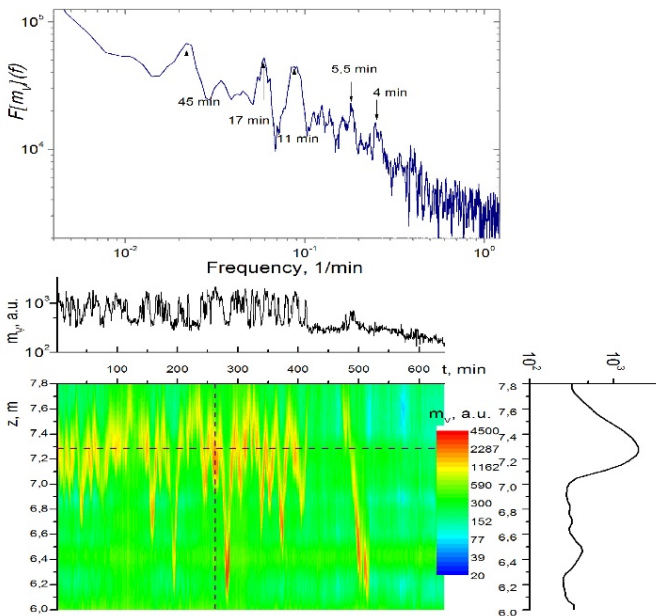


Рис. 4. Динамика планктона, выполняющего роль трассера внутренних волн с наиболее ярко выраженными периодами 45 мин, 17 мин, 11 мин

На рис. 4 показана типичная временная и спектральная характеристика динамики планктона в течение половины суток, выполняющего роль трассера внутренних волн с наиболее ярко выраженными периодами.

Из рис. 4 можно выявить наиболее характерные периоды в 11, 17 и 45 минут, которые могут быть связаны с характерными периодами собственных колебаний бухты Витязь, которые модулируют коэффициент рассеяния звука на планктоне в толще моря.

Работа выполнена при поддержке проектов №17-02-00561 РФФИ и №18-1-004 программы ДВО РАН "Дальний Восток".

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Lavery A. C., Wiebe P. H., Stanton T. K. et al.** Determining dominant scatterers of sound in mixed zooplankton populations. // J. Acoust. Soc. Am. 2007. V.122. P.3304–3326.

2. **Farmer D., Vagle S.** Wave induced bubble clouds in the upper ocean // J. Geophys. Res., 2010. Vol. 115. C12054. 16 pp.

3. **Акуличев В.А., Буланов В. А., Стороженко А.В.** Оценка распределения планктона в океане методом акустического зондирования // Доклады Академии наук, 2011. Т.438. №2. С.267–270.

4. **Буланов В.А., Стороженко А.В.** О взаимосвязи рассеяния звука и распределения зоопланктона в верхнем слое океана / Акустика океана. Доклады XVI школы-семинара акад. Л.М. Бреховских. – Москва: ГЕОС, 2018. 446 с. ISBN 998-5-89118-768-9. с.99–104.

УДК 534.222.2; 551.463.2

### **ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА В МОРЕ ПРИ НАЛИЧИИ ПУЗЫРЬКОВЫХ ОБЛАКОВ В ПРИПОВЕРХНОСТНОМ ВЕРХНЕМ СЛОЕ**

**Буланов В.А., Бугаева Л.К.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева  
Дальневосточного отделения РАН*

*Владивосток, 690041, ул. Балтийская, д.43*

*Тел.: (423)2374913; Факс: (423)2312573, E-mail: bulanov@poi.dvo.ru*

Существуют альтернативные представления о вкладе приповерхностного слоя пузырьков в затухание низкочастотного звука в океане. В работе показано, что влияние приповерхностного слоя

пузырьков на характер пространственного спада при распространении звука может быть значительным при достаточно высоких концентрациях пузырьков в приповерхностных слоях моря.

There are alternative representations of the contribution of the near-surface layer of bubbles to the attenuation of low-frequency sound in the ocean. It is shown that the influence of the near-surface layer of bubbles on the nature of the spatial drop-down curve in the propagation of sound can be significant at sufficiently high concentrations of bubbles in the near-surface layers of the sea.

В приповерхностном слое моря всегда наблюдается повышенная концентрация воздушных пузырьков, которая особенно сильно усиливается при сильном ветре и волнении. Вовлечение пузырьков в толщу морской воды динамикой движений в поверхностных волнах приводит к появлению пузырьковых облаков [1, 2], которые при сильном ветре могут достигать значительных глубин в десятки метров. Пузырьки оказывают значительное влияние на акустические свойства воды, приводя в том числе к избыточному поглощению и рассеянию звука [3].

В настоящее время накоплен большой материал по затуханию звука в океане [3, 4]. К сожалению, механизм затухания звука в морской среде, связанный с пузырьковыми облаками, изучен сравнительно слабо, хотя и существуют отдельные эксперименты, в которых это затухание проявлялось [2, 3]. В настоящей работе проанализировано влияние приповерхностного слоя пузырьков на затухание звука в море с привлечением экспериментальных результатов для функции распределения пузырьков по размерам  $g(R)$ , полученной в последнее время в многочисленных зарубежных и отечественных работах [3], которая имеет вид:  $g = A_g R^{-n} \exp[-n([R_p / R] + [R / R_m])]$ . Показатель степени  $n$  и критические размеры  $R_p$ ,  $R_m$  в формуле являются естественными параметрами, которые следуют из теории Фармера-Гаррета [1]. Пузырьки являются эффективными поглотителями энергии звуковых волн, распространяющихся в море. Коэффициент поглощения звука  $\alpha$  можно рассчитать по приближенной формуле [3]:

$$\alpha \approx \frac{\omega}{c} \operatorname{Im} \left[ 1 + \frac{4\pi}{3} \frac{\rho c^2}{\gamma P_0} \int_0^\infty \frac{g(R) dR}{q(R, R_\omega)} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где  $q(R, R_\omega) = 1 - (R / R_\omega)^2 (1 + i / Q_\omega)$ ,  $R_\omega = \sqrt{3\gamma P_0 / \rho} / \omega$ ,  $Q_\omega$  – добротность пузырька,  $\gamma = 1.4$  – постоянная адиабаты.



На рис. 1 представлены изменения во времени коэффициента поглощения звука  $\alpha(t, z)$  на частоте 145 кГц в приповерхностном слое пузырьков. Видно, что перечисленные акустические параметры изменяются в широких пределах при обрушениях поверхностных волн и сильном ветре. На больших глубинах  $\alpha(t, z)$  стремится к значениям  $\alpha_0$  для чистой воды.

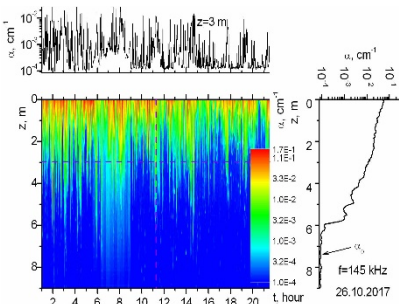


Рис. 1. Функция  $\alpha(t, z)$

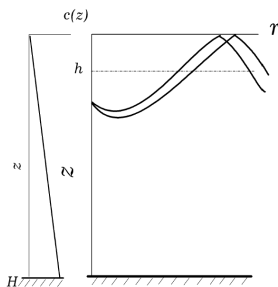


Рис. 2. Схема прохождения звука через пузырьковый слой

На распространение звука в океане пузырьки наиболее сильно влияют при наличии приповерхностного звукового канала, присутствие которого наиболее характерно для зимних условий, а также для арктических районов Мирового океана. Рассмотрим модель приповерхностного звукового канала с линейной зависимостью скорости звука от глубины в виде  $c(z) = c_0(1 + az)$ , где  $a \approx 10^{-5} \text{ м}^{-1}$  [4]. Лучи, выходящие из источника под различными углами, подходят к поверхности, как показано на рис.2, где попадают в область сильного затухания, связанного с наличием пузырьков. Обозначим через  $\alpha_b$  коэффициент затухания звука в однородной жидкости с пузырьками и через  $\Delta r_0$  – расстояние по горизонтали, на которое распространяется звук, оставаясь в приповерхностном слое толщины  $h$ . По истечении  $N$  циклов луча общие потери на затухание в приповерхностном слое будут равны  $A_b = \alpha_b \Delta r_0 N$ , где  $\Delta r_0 = 2h / \chi_0$ ,  $\chi_0$  – угол скольжения луча на поверхности. Вводя длину цикла луча  $D(\chi_0)$  определяем количество циклов луча, совершаемых на расстоянии  $r$ , в виде  $N = r / D(\chi_0)$ . Учитывая, что  $D(\chi_0) = 2 \text{tg}(\chi_0) / a \approx 2\chi_0 / a$ , получаем окончательно [3]:

$A_b = \alpha_b (ah / \chi_0^2) r \equiv \alpha_{b\chi} r$ . Затухание  $A_b$  уменьшается с увеличением угла  $\chi_0$  и при некотором предельном значении  $\chi_*$  оно становится равным затуханию в чистой жидкости. Величина  $\chi_*$  равна  $\chi_* = \sqrt{\alpha_b ah / \alpha_0}$ , зависит от частоты звука и показателя степени  $n$  в степенной функции распределения пузырьков по размерам  $g(R) \sim R^n$  и в целом ряде случаев может достигать и даже превышать типичные значения угла захвата для океанического подводного звукового канала  $\chi_{cr} \approx 16-20^0$  [3].

Рассмотрим усредненный закон спада когерентного поля при наличии приповерхностного слоя пузырьков. Вводя характерные области с преобладающим влиянием различных механизмов можно получить следующую картину распределения когерентного поля в пространстве [43, 220, 221]:

$$|P(r, z)|^2 = \frac{4a}{r} \left( \frac{c_1}{c_0} \right)^2 e^{-\alpha_0 r} G(r, q_1, \chi_*). \quad (3)$$

$$G(r, q_1, \chi_*) = \begin{cases} 1/q_1, & r \ll r_1 = q_1^2 / \alpha_b ah \\ \sqrt{\pi} / (2\chi_* \sqrt{\alpha_0 r}), & r_1 \ll r \ll 1/\alpha_0 \\ \frac{1}{\chi_*} \left( 1 + \frac{\exp(-\alpha_0 r)}{2\alpha_0 r \chi_*} \right), & r \gg 1/\alpha_0 \end{cases} \quad (4)$$

где  $q_1 = \sqrt{2az_{\max}}$ ,  $q_1 = \sqrt{2az_{\max}}$ , скорости  $c$ ,  $c_1$ ,  $c_0$  соответствуют скоростям звука на горизонтах приемника  $Z$ , излучателя  $z_1$ , и у поверхности  $z_0 = 0$ .

Указанные зависимости проиллюстрированы на рис.3, где изображена функция  $|P(r)|$  звукового поля различной частоты в море без пузырьков и в присутствии приповерхностного слоя пузырьков. Влияние слоя пузырьков заключается в дополнительном спаде поля на умеренных дистанциях, вызванного затуханием звука, распространяющегося при малых углах скольжения. Вся энергия, сосредоточенная в поле при малых углах, постепенно затухает и на больших расстояниях это приводит к отсутствию в экспоненциальном законе вклада пузырькового слоя.

Работа выполнена при частичной поддержке проектов №17-02-00561 РФФИ и №18-1-004 программы ДВО РАН "Дальний Восток".

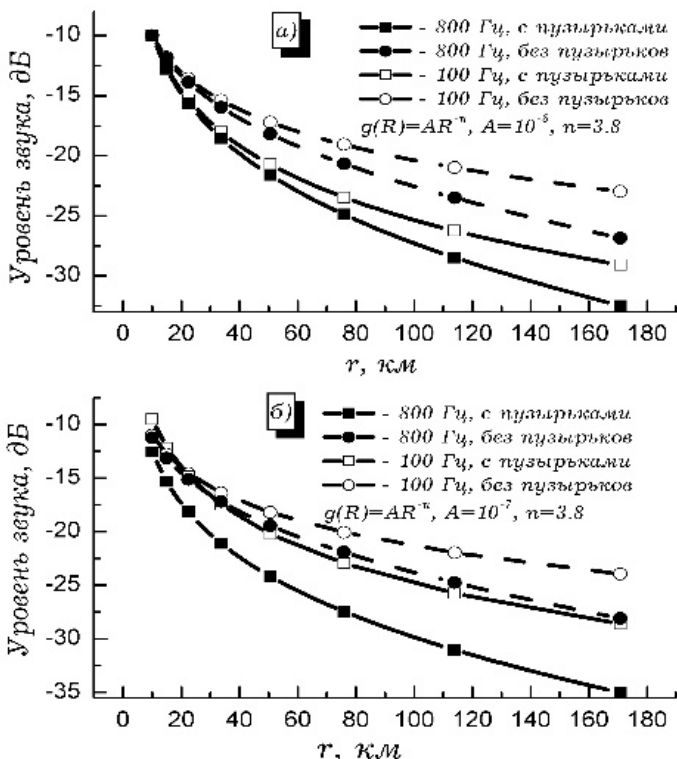


Рис. 3. Пространственный спад акустического поля при наличии приповерхностного слоя пузырьков на различных частотах

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Farmer D., Vagle S. Wave induced bubble clouds in the upper ocean // J. Geophys. Res., 2010. Vol. 115. C12054. 16 pp.
2. Akulichev V.A., Bulanov V.A. Measurements of bubbles in sea water by nonstationary sound scattering // J. Acoust. Soc. Am. 2011. Vol. 130. No 5. P.3438–3449.
3. Буланов В.А. Введение в акустическую спектроскопию микроненодородных жидкостей. – Владивосток: Дальнаука. 2001. 280 с.
4. Бреховских Л.М., Лысанов Ю.П. Теоретические основы акустики океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. 264 с.

## **ВЫСОКОТОЧНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ ЗВУКА АВТОНОМНОГО ДРЕЙФУЮЩЕГО БУЯ**

**Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Морской гидрофизический институт РАН»,  
Капитанская ул., 2, 299011, г. Севастополь,  
+78(692) 54-04-50, [tolstosheev@marlin-yug.com](mailto:tolstosheev@marlin-yug.com)*

В статье представлены принципы построения и результаты испытаний высокоточного измерителя скорости звука. Измеритель ориентирован на применение в составе автономных платформ сбора гидрологических данных.

The article presents the results of creation and testing of the high-precision sound velocity meter. The meter is intended for use as a part of autonomous hydrological data collection platforms.

В докладе представлены результаты проектирования и исследования характеристик модуля скорости звука (ИСЗ), предназначенного для применения в составе автономного термопрофилирующего дрейфтера [1]. ИСЗ разрабатывался как измерительный канал дрейфтера, обеспечивающего оперативный долговременный мониторинг вторичных параметров морской среды – солёности, плотности и др. Традиционный в практике гидрофизических исследований метод вычисления вторичных параметров по электропроводимости, температуре и давлению используется в предположении бинарности состава морской воды. Реализовать более корректный метод расчета с привлечением данных о скорости звука вместо электропроводимости до недавнего времени не представлялось возможным по причине несоответствия характеристик средств измерения скорости звука предъявляемым требованиям. Для вычисления солёности как функции температуры, скорости звука и давления с погрешностью не более 0,05 % погрешность измерения скорости звука должна быть не более 0,05 м/с при тех же требованиях к погрешностям измерений температуры и давления, что и для метода вычисления солёности по электропроводимости. В настоящее время на рынке электронных компонентов появились недорогие аппаратные средства, обеспечивающие высокую точность измерения интервалов времени, что позволя-

ет минимизировать погрешность измерения времени распространения ультразвуковых колебаний и тем самым повысить точность измерения скорости звука. В разработанном ИСЗ измерение времени задержки между эхо-сигналами осуществляется с помощью время-цифрового преобразователя (Time-to-Digital Converter) типа TDC7200 (Texas Instruments). Первичный акустический преобразователь (ПАП) ИСЗ выполнен на основе двухбазового метода. В преобразователе, реализующем этот метод, выходным информативным параметром является модулированный скоростью звука в среде интервал времени между эхо-сигналами, отражёнными от двух пассивных отражателей. Такая конструкция практически исключает влияние дополнительных задержек на выходной информативный интервал времени. В результате испытаний ИСЗ с двухбазовым ПАП случайная составляющая погрешности измерения интервалов времени между эхо-сигналами не превысила  $130 \cdot 10^{-12}$  с, что при длине измерительной базы 70 мм соответствует  $\sim 0,003$  м/с в пересчете на скорость звука. Измерительная база ПАП выполнена из астроситалла типа СО115М, для которого температурный коэффициент линейного расширения не превышает  $1,5 \cdot 10^{-7}$  град<sup>-1</sup>. Благодаря этому в диапазоне изменений температуры от минус 2 до 35 °С относительное изменение длины базы не превышает  $3 \cdot 10^{-6}$ , что соответствует внесению дополнительной погрешности измерения скорости звука, обусловленной влиянием на преобразователь изменений температуры, не более 0,005 м/с. Элементы конструкции ПАП покрыты медными протекторами, обеспечивающими эффективную защиту его рабочих поверхностей от биологического обрастания – наиболее существенного влияющего фактора при долговременной эксплуатации модуля ИСЗ в составе автономного термопрофилирующего дрефтера. Кроме того, обрастанию препятствует облучение отражающих поверхностей акустическими импульсами.

Характеристика преобразования ИСЗ выяснялась стандартным методом, при котором значения скорости звука воспроизводятся путем изменения температуры дистиллированной воды. При этом в качестве образцовых принимаются значения скорости звука, рассчитанные по формуле Дель-Гроссо для дистиллированной воды. В течение шести месяцев проводились периодические проверки стабильности характеристик ИСЗ, по данным которых отклонения результатов измерений не превысили 0,02 м/с.

Следует отметить тот факт, что при выполнении измерительной базы датчика ИСЗ из астроситалла нет необходимости градуировать измеритель во всем диапазоне температур. Достаточно выполнить измерения

временного интервала при одном значении температуры дистиллированной воды и рассчитать длину базы в зависимости от скорости звука, рассчитанной в свою очередь по формуле Дель-Гроссо для этой температуры. Далее результат измерения скорости звука при любой температуре из рабочего диапазона сводится к вычислению отношения удвоенной рассчитанной длины базы к длительности измеренного ИСЗ интервала времени между эхо-сигналами. Для проверки обоснованности такого подхода были проведены многочисленные измерения в рабочем диапазоне температур. Отклонения измерений не превысили указанных выше 0,02 м/с.

Таким образом, в результате выполненных исследований было установлено, что канал измерения скорости звука разработанного модуля ИСЗ обеспечивает в рабочих условиях применения долговременную повторяемость результатов измерения скорости звука с отклонениями, не превышающими 0,02 м/с.

Для измерения температуры, данные о которой необходимы для расчета солёности, в модуль ИСЗ был интегрирован кварцевый датчик температуры типа ПТК-3М (ЭЛПА, Россия) с погрешностью измерений не более 0,01 °С.

Погрешность результатов вычисления солёности по измеренным модулем ИСЗ значениям скорости звука и температуры оценивалась путем сопоставления с данными измерителя электропроводимости и температуры Sensor 4319B (Aanderaa Data Instruments AS). Солёность в зависимости от скорости звука и температуры рассчитывалась по уравнению, предложенному в статье [2]. Эта работа, насколько нам известно, одна из немногочисленных за последние несколько десятилетий, авторы которой сделали попытку вернуться к вопросу расчета солёности в зависимости скорости звука с учетом современных возможностей средств измерения. Результаты сопоставления в рабочих диапазонах солёности и температуры показаны на рис. 1. Как видно из гистограммы, наибольшие отклонения по абсолютным значениям не превышают 0,04 ‰, а около 60 % отсчетов отличаются не более чем на 0,01 ‰.

Таким образом, метрологические характеристики измерительных каналов модуля ИСЗ позволяют вычислять солёность с погрешностью не более 0,05 ‰.

Модуль ИСЗ имеет стандартный интерфейс и может быть использован в качестве позиционного, зондирующего или обрывного (теряемого) средства измерения скорости звука, температуры и давления.

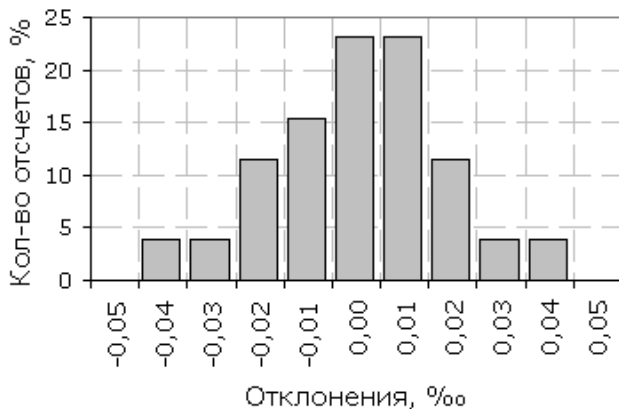


Рис. 1. Распределение отклонений результатов вычислений солёности по данным измерений скорости звука и температуры модулем ИСЗ и по данным измерителя Sensor 4319В

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 1.2.50 «Развитие методов и средств оперативной океанологии для исследований изменчивости полей Черного моря».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Толстошеев А.П.** Анализ результатов натуральных экспериментов с термопрофилирующими дрейфующими буями в Черном море и других районах Мирового океана / А.П. Толстошеев, Е.Г. Лунев, С.В. Мотыжев // Морской гидрофизический журнал. – 2014. – №5. – С. 9 – 32.

2. **Allen J.T.** A new salinity equation for sound speed instruments / J.T. Allen, P.W. Keen, J. Gardiner et al. // Limnology and oceanography: methods. – 2017. – P. 810 – 820.

## **ПРОЕКТ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОПЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕЯТЕЛЬНЫМ СЛОЕМ ОКЕАНА В АРКТИКЕ**

**Островский А.Г.<sup>1</sup>, Зацепин А.Г.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)1245983, osasha@ocean.ru*

Представлен проект автономной ледовой океанологической станции. Станция предназначена для мониторинга и исследования морской среды подо льдом в Северном Ледовитом океане. Профилирующий носитель должен перемещаться вверх и вниз в водяной толще вдоль троса с грузом на нижнем конце, который вывешивается с буя-держателя вмороженного в дрейфующую льдину или на припаянный лед. На профилирующем носителе планируется установить зонд СТД и акустический доплеровский измеритель течений. Данные измерений будут передаваться в режиме онлайн с помощью спутниковой системы позиционирования и связи

The research and development project for an ice tethered profiler is presented. The system will be used for monitoring and research of the marine environment below the ice in the Arctic ocean. The profiling carrier should move up and down through the water column along the wire with the load on the lower end that is hung out from the surface buoy based on the ice floe or on the soldered ice. It is planned to install a CTD probe and an acoustic Doppler current meter on the profiling carrier. Measurement data will be transmitted online using a satellite positioning and communication system.

Автоматизированный мониторинг среды в арктическом секторе Российской Федерации остро нуждается в новых эффективных технических средствах. В этой области фундаментально-ориентированных и прикладных исследований российской океанологии еще предстоит выйти на мировой уровень. США, Канада, ЕС и Япония развернули целую сеть автономных дрейфующих гидрологических станций, в основном с использованием вертикально-профилирующего профилографа Ice Tethered Profiler (ITP) [1]. Начиная с 2004 г. один только Вудсхольский океано-



графический институт (США) запустил 108 зондов ИТР на дрейфующих льдинах для долговременного круглогодичного мониторинга.

Автоматизированные океанологические зондирующие системы, предназначенные для Арктического бассейна, в России пока не производятся. Вмораживаемые в лед термопрофилирующие дрейфтеры со спутниковым каналом связи, датчиками температуры воздуха и атмосферного давления, оснащенные термокосами [2], не могут рассматриваться как альтернатива океанологической зондирующей системе, а лишь как дополнение к ней. Термокосы не измеряют профили солености и плотности вод, а также скорости течения, и других важных параметров водной среды, таких как концентрация растворенного в воде кислорода, флуоресценция хлорофилла «а», мутность. Кроме того, толщина слоя воды, который охватывается измерениями для термокос, даже в перспективе не превышает 150 м, тогда как зондирующие системы могут измерять профили океанологических параметров в слое 800 м и более [1]. Необходимость зондирования до таких больших глубин обусловлена хотя бы тем, что таким образом удастся контролировать слой Атлантических вод, которые являются основным источником тепла и соли для арктической водной среды.

Для мониторинга состояния морской среды разрабатывается автоматизированная система подледных зондирований в составе автономной ледовой дрейфующей станции. Система будет состоять из:

- подводного перемещающегося вверх-вниз носителя, автоматически передвигающегося по тросу, который вывешен с грузом с плавучего буя-держателя на припайном или дрейфующем льду,
- метеостанции (температура воздуха + атмосферное давление) с системой спутниковой связи Гонец-М или Iridium и навигации GPS/Глонасс.

В данном проекте будет разработан особо экономичный носитель, периодически погружающийся воль троса на глубину и поднимающийся к нижней поверхности льда. Он будет иметь программируемый движитель, выполненный на основе устройства изменения плавучести, которое должно иметь адаптивный объем, позволяющий регулировать величину архимедовой силы, выталкивающей носитель из воды, что обеспечивает экономию источника электропитания носителя, который снаряжен батареей, достаточно энергоемкой для многократного профилирования водной толщи на протяжении не менее 6 месяцев. Общее количество циклов погружения/всплытия зависит от скорости течений и глубины погружения, но оно должно быть не менее 200 до глубины 300 м при скорости течения до 0.3 м/с.

Для позиционирования, оперативной передачи данных и приема команд управления процессом измерений будет проведена разработка программно-технических средств передачи данных. Связной тракт будет состоять из двух основных участков:

- бесконтактной связи в морской воде между профилирующим зондом и поверхностным буюм-держателем,
- связи между поверхностным буюм-держателем и береговым пунктом сбора и обработки данных и управления мониторингом.

Технические средства, интегрирующие два основных участка связного тракта, должны располагаться в ретрансляционном плавучем буюе, который вмораживается в лед. Буй будет оснащен метеостанцией с датчиками температуры воздуха и атмосферного давления. В состав технических средств, размещенных на буюе-держателе должен входить многофункциональный терминал связи Гонец/Iridium, способный принять и передать информацию на искусственные спутники Земли (ИСЗ) и определить координаты посредством встроенного ГЛОНАСС/GPS модема.

Носитель будет оснащен:

- комплектом датчиков температуры, электропроводности и давления Sea&Sun CTD 48M,
- акустическим доплеровским профилографом течений (АДПТ) Aquadopp.

Глубина погружения носителя с АДПТ будет регистрироваться по показаниям датчика давления. В минимальной комплектации АДПТ должен обеспечивать измерение вертикального профиля скорости течения в столбе воды толщиной не менее 3 м с разрешением по вертикали не хуже 0.3 м. Причем АДПТ должен быть смонтирован в верхней части носителя, а измерения должны производиться путем импульсного зондирования водной толщи снизу вверх. При подъеме носителя на некотором расстоянии от нижней кромки льда АДПТ начнет регистрировать отраженный от льда сигнал. По этим данным будет определяться расстояние до горизонта, с которого начинается ледовый покров. Остановка носителя должна производиться на определенном расстоянии от нижней поверхности льда. Используя знание этого расстояния, а также значение давления на горизонте остановки носителя, можно будет определить характерную толщину льда.

Периодически погружаясь вдоль троса на заданную глубину и поднимаясь к поверхности моря, разрабатываемый аппарат будет проводить измерения вертикальных профилей скорости течения. Для введения поправок на дрейф к измерениям скорости течений будет разработана методика, основанная на использовании данных позиционирования с помощью программно-технических средств GPS/ГЛОНАСС.

Буй-держатель должен иметь достаточную плавучесть, чтобы в случае разрушения или таяния ледяного покрова удержать на плаву всю систему, при этом станция должна сохранить работоспособность.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 18-05-60124 – Арктика и теме госзадания Минобрнауки № 0149-2019-0011.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Krishfield, R., Toole, J., Proshutinsky, A., Timmermans, M.-L.** Automated Ice-Tethered Profilers for Seawater Observations under Pack Ice // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. – 2008. – V. 25. – P. 2091-2105.

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.

#### IV. ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТЫ, ПРИБОРНАЯ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

УДК 534.867

#### О ДЕТАЛЬНОМ ИЗУЧЕНИИ СТРУКТУРЫ ЗАТОПЛЕННЫХ СУДОВ МЕТОДОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

**Бреховских А.Л.<sup>1</sup>, Вольтер Е.Р.<sup>2</sup>, Гринберг О.В.<sup>1</sup>, Евсенко Е.И.<sup>1</sup>,  
Захаров Е.В.<sup>3</sup>, Ключев М.С.<sup>1</sup>, Косьян Р.Д.<sup>1</sup>, Куклев С.Б.<sup>1</sup>, Сажнева  
А.Э.<sup>1</sup>, Мазуркевич А.Н.<sup>4</sup>, Ольховский С.В.<sup>5</sup>, Шрейдер А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН  
117997, г. Москва, Нахимовский пр., д.36, тел.+7(495)380-41-50,  
mklyuev@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт экологии Академии Наук Абхазии  
Республика Абхазия, г. Сухум, ул. Красномаяцкая, д. 67,  
тел.+7 (940) 921-22-65, ervolter@mail.ru*

<sup>3</sup>*ФГБУК «Государственный Исторический музей»,  
125009, г. Москва, Красная площадь, д.1, тел.+7(495) 692-56-60,  
zakharov.ev@gmail.com*

<sup>4</sup>*ФГБУК «Государственный Эрмитаж»,  
190000, г. Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, д.34,  
тел.+7(812)7109603, a-mazurkevich@mail.ru*

<sup>5</sup>*Институт Археологии РАН  
117036, г. Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 19,  
тел.+7(499)1243690, ptakkon@yandex.ru*

Рассматриваются основы технологии детального изучения структуры затопленных судов и объектов и результаты ее практического использования.

The basics of technology for a detailed study of the structure of flooded ships and objects and the results of its practical use are considered.

Одной из актуальных задач прикладной гидроакустики является детальное изучение затопленных судов и объектов, что требуется для проведения аварийно-спасательных, инженерных и иных работ.

В частности, для ее решения, в Институте океанологии им. П.П.Шириова РАН были разработана соответствующая технология [1-2] и создан аппаратный комплекс [3]. Эта технология использует:

1. узлолучевой многочастотный параметрический профилограф в качестве основного оборудования (ширина ДН единицы градусов);

2. эхолот, гидролокатор бокового обзора, многолучевой эхолот, магнитометр, георадар и иные устройства в качестве вспомогательного оборудования;

3. систему спутниковой морской навигации с СКО около 0.3м;

4. специализированные методики морских натуральных исследований;

5. априорную информацию о затопленном объекте, в т.ч. о видах его пространственной упорядоченности;

6. оригинальные методики и алгоритмы обработки данных и распознавания структур дна и объектов, использующие, в частности, следующие критерии:

– наличие возвышений, понижений и водорослей на дне;

– наличие в толще дна или на его поверхности областей с повышенным (пониженным) обратным откликом гидроакустического сигнала относительно прилегающих областей;

– нарушение однородности донных слоев, границ слоев, рельефа дна, или водорослей;

– совместный анализ данных эхолота и профилографа;

– анализ записей сигнала при различных значениях порогов и в разных псевдоцветах;

– зависимость глубины проникновения сигнала профилографа в донный грунт от его типа;

– наличие подобных особенностей на первом кратном отражении;

– наличие подобных особенностей на соседних галсах и объединение особенностей в цепочки;

– а также другие критерии.

Потенциальная точность технологии составляет порядка сотых долей глубины места. Она была испытана при изучении затонувших судов в Черном море в районе г. Новороссийск и г. Геленджик.

В частности, с ее помощью был исследован линкор «Екатерина Великая» («Свободная Россия») вблизи мыса Дооб п. Кабардинка в Цемесской бухте (координаты 44°36.390' N, 37°53.898' E). Линкор «Екатерина Великая» спущен на воду 24.05.1914 в г. Николаев, вступил в строй 5.10.1915, переименован в «Свободную Россию» 18.04.1917, во избежание захвата немцами в ходе Гражданской войны, 19.06.1918 был затоплен своими торпедной атакой эсминца «Керчь». Длина линкора около 170 м, ширина около 28 м, осадка около 8,4 м, глубина затопления около 40 м.

На рис. 1 представлены двумерное (а) и трехмерное (б) изображения линкора «Екатерина Великая» на морском дне, построенные с помощью компьютерной программы Global Mapper в универсальной поперечной проекции Меркатора UTM зона 37 (36°E-42°E северной геосферы, метры север/юг – метры запад/восток) в системе координат WGS84. Примененные методики позволили получить высокую пространственную детализацию расположения линкора. В частности, удалось обнаружить и картографировать воронку (синяя область на рис.3) от взрыва его боезапаса, произошедшего в 1930-х годах, при попытке его подъема, о которой ранее было неизвестно.

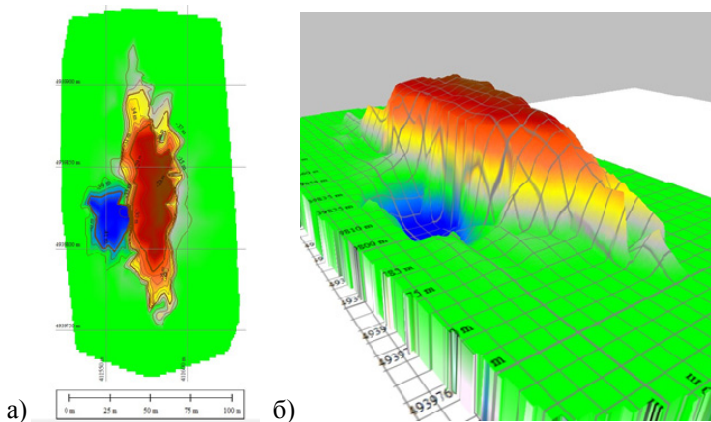


Рис.1 Двумерное (а) и трехмерное (б) изображение затопленного линкора «Екатерина Великая» («Свободная Россия») на морском дне

Наряду с этим, был исследован сухогруз «Сакко и Ванцетти», который 15 апреля 1943 года вышел из Геленджика в Туапсе и в 22 ч. 35 м подорвался на донной mine в районе мыса Толстый. При взрыве корпус разломился надвое – корму (координаты 44°31.022' N, 38°02.018' E), которая затонула сразу, и в 2 раза более длинную носовую часть (координаты 44°30.810' N, 38°01.837' E), которая проплыла по инерции еще около 400 м до затопления. Катастрофа унесла множество жизней: по разным данным от 42 до 64 человек, глубина затопления около 40 м.

На рис. 2 представлены двумерное (а) и трехмерное (б) изображения носовой части сухогруза «Сакко и Ванцетти» на морском дне, построенные с помощью компьютерной программы Global Mapper в универсальной поперечной проекции Меркатора UTM зона 37 (36°E-42°E се-

верной географической системы координат (метры север/юг – метры запад/восток) в системе координат WGS84. Примененные методики позволили получить высокую пространственную детализацию расположения сухогруза и его внутреннюю структуру (расположение палуб), что ранее было невозможно.

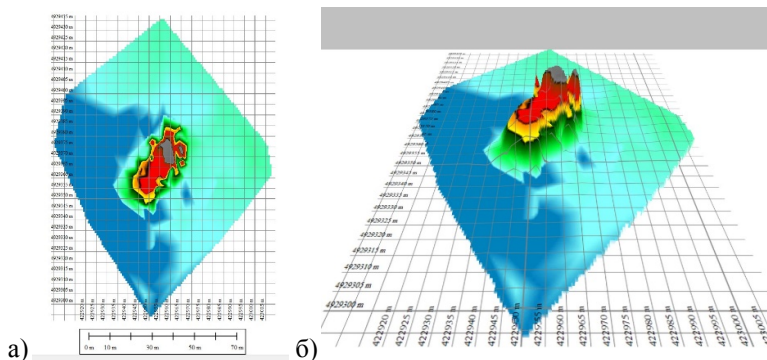


Рис. 2. Двумерное (а) и трехмерное (б) изображение носа затопленного транспорта «Сакко и Ванцетти» на морском дне и структура его палуб

Полученные результаты подтверждают возможности технологии детального исследования затопленных судов и объектов. Работа выполнена в рамках Проекта Президиума РАН №0149-2018-0026 ПП РАН 1.56 и Проектов РФФИ №19-55-40001, 19-05-00350.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Клюев М.С. Сажнева А.Э., Бреховских А.Л., Ольховский С.В., Захаров Е.В., Чижиков В.В., Евсенко Е.И., Ракитин И.Я., Гринберг О.В. Особенности технологии использования параметрических гидроакустических средств для поиска, идентификации и мониторинга объектов в придонном слое // Процессы в геосредах, 2018. № 2. С. 920–927.

2. Шрейдер Ал.А., Шрейдер А.А., Клюев М.С., Евсенко Е.И. Высокора разрешающая геоакустическая система для геолого-археологического изучения дна // Процессы в геосредах, 2016. № 2. С. 156–161.

3. Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Галиндо-Залдивар Ж., Клюев М.С., Евсенко Е.И., Ольховский С.В., Сажнева А.Э., Захаров Е.В., Чижиков В.В., Бреховских А.Л., Ракитин И.Я., Гринберг О.В. Первые данные геолого-археологического изучения патрейского шельфа Таманского залива Черного моря // Процессы в геосредах, 2017. № 2. С. 557–562.

## **СУДОВОЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ КОМПЛЕКС СТК – РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТОЛЩИНЫ МОРСКОГО ЛЬДА**

**Сероветников С.С., Фролов С.В.**

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт  
(ФГБУ "АНИИ"), ул. Беринга, 38, 199397, Санкт-Петербург,  
8(911)084-20-55, sssu@aari.ru, svf@aari.ru.*

В статье приводится краткий обзор современных технологий получения натуральных данных о толщине морских льдов, суммарный опыт многолетней эксплуатации судового телевизионного комплекса (СТК), а так же программа модернизации измерительного комплекса СТК-К.

Программа модернизации комплекса СТК-К позволяет осуществлять переход от эпизодических локальных наблюдений к оперативному широкомасштабному системному мониторингу ледяного покрова. По мере развития и распространения проектируемой системы значительно возрастет точность и детализация картирования и оперативного прогнозирования ледовой обстановки в зонах активного судоходства.

The paper presents a short review of modern technologies for sea ice thickness measuring, the experience of operation with ship-based television complex (STK), and the program for automatic sea ice thickness monitoring system STK-K.

The general purpose of STK-K program (automatic sea ice thickness monitoring system) is transition from temporary local observations to real-time and large-area monitoring system. The STK-K program will provide the operative data-array of the ice thickness values for the qualitative and detailed ice charts validation.

Основным источником оперативной информации о ледовой обстановке в Арктическом бассейне и замерзающих морях умеренных широт являются данные искусственных спутников Земли (ИСЗ), получаемые в различных спектральных диапазонах – видимом (ТВ), инфракрасном (ИК) и радиолокационном (РЛ), а также данные пассивного микроволнового зондирования. Дешифрирование спутниковых снимков является



процессом обнаружения, распознавания и интерпретации изображенных объектов ледяного покрова, суши и др.

Результатом дешифрирования снимков ИСЗ являются обзорные и детализированные карты распределения льда. Обзорные ледовые карты отображают состояние ледяного покрова моря или нескольких морей за период 2-3 дня. Детализированные ледовые карты это карты крупномасштабного формата, которые составляются для конкретной акватории (моря, залива, бухты, полигона и т.п.) за определенное время. Такие карты используются для оперативного обеспечения судоходства, исследовательских работ, а также используются при составлении ледовых прогнозов.

В настоящее время существует большое количество алгоритмов автоматизированного дешифрирования спутниковой информации, каждый из которых адаптирован под определенные типы или группы типов спутниковых данных, все они имеют свои положительные и отрицательные стороны, что в конечном итоге приводит к необходимости ручной корректировки результатов дешифрирования [1]. Построение обзорных и детализированных ледовых карт требует участия высококвалифицированных специалистов и длительного времени, затрачиваемого на анализ имеющейся информации.

Важнейшим критерием прогноза ледовой обстановки является валидация (аттестации качества и достоверности) ледовых карт, когда результаты дешифрирования и картирования сравниваются с данными натурных измерений параметров ледяного покрова. Такие данные можно получить, только проводя специальные ледовые наблюдения непосредственно в районах, для которых осуществляется прогноз и картирование ледовой обстановки [2]. Так же результаты натурных измерений используются при уточнении алгоритмов дешифрирования спутниковой информации.

В настоящее время производство специальных ледовых наблюдений осуществляется эпизодически и точно, что обусловлено высокой стоимостью экспедиционных работ. Такой подход не обеспечивает достаточного пространственного и временного охвата для формирования оперативной базы данных натурных наблюдений.

Для своевременной и качественной валидации результатов дистанционного мониторинга ледовой обстановки и повышения степени детализации ледовых карт необходимо иметь гибкую и пространственно-распределенную систему сбора данных натурных наблюдений.

**Судовой телевизионный комплекс (СТК).** Судовой телевизионный комплекс (СТК) представляет собой систему видеоконтроля, адаптиро-

ванную специалистами ФГБУ «ААНИИ» для специфических условий судовых ледовых наблюдений. Основная задача решаемая с помощью СТК – частичная автоматизация специальных ледовых наблюдений (измерение толщины морского льда), их унификация и исключение влияния субъективных факторов на объем и качество наблюдений. Измерения осуществляются в соответствии с «Рекомендациями № 52.17.3 «Толщина льда у борта судна. Методика выполнения измерений судовым телеметрическим комплексом». ААНИИ (2009 г.).

Результатом работы СТК является массив данных о толщине морского льда и снежного покрова на всем протяжении маршрута ледового плавания.

Опыт применения комплекса на протяжении 15 лет (с 2003 г.) показал, что комплекс СТК представляет собой эффективное решение для производства периодических натуральных наблюдений, но в его текущем состоянии не пригоден для реализации системных мониторинговых работ.

СТК-К – реализация автоматизированной системы натуральных наблюдений толщин морского льда.

В настоящее время в лаборатории изучения ледового плавания ААНИИ реализуется проект по глубокой модернизации программно-аппаратного решения комплекса СТК. Целью проекта является реализация автоматизированной системы натуральных наблюдений толщин морского льда (СТК-К), на основе имеющихся опытно-эксплуатационных наработок.

Ключевыми задачами проекта модернизации являются:

- переход от относительных измерений к прямым (лазерное сканирование);
- повышение точности измерений (до  $\pm 0,5$  мм);
- обеспечение устойчивой работы, как в дневное, так и в ночное время;
- внедрение цифровой оценки структуры морского льда с целью определения возрастных и эволюционных характеристик (по данным лазерной фотометрии);
- сокращение объема данных, производимых непосредственно на борту судна (автоматизация обработки в режиме реального времени);
- обеспечение оперативности передачи данных натуральных наблюдений на сервера ААНИИ для использования в процессе валидации спутниковых снимков и осуществления научно-оперативного обеспечения морской деятельности.
- Организация автоматизированного центра контроля/управления и приема данных наблюдений.

В 2018 г. сотрудниками лаборатории изучения ледового плавания ААНИИ разработана модель цифрового лазерного сканирующего устройства, призванного дополнить и существенно расширить функциональные возможности комплекса СТК

Проведенные в 2018 г. экспериментальные работы по оценке ключевых параметров модели не только подтвердили техническую состоятельность проекта, но и выявили перспективный ряд дополнительных возможностей.

В дальнейшей перспективе, любое судно, оснащённое регистрирующим компонентом СТК-К в индивидуальную регистрирующую единицу в составе комплексной пространственно-распределённой системы регистрации толщины морского льда.

В настоящее время транспортная артерия Северного морского пути переживает период бурного развития. Строятся и вводятся в эксплуатацию новые суда различного ледового класса и назначения. На отдельных участках Северного морского пути навигация носит круглогодичный характер. В летне-осенний период активно развивается транзитное плавание.

Существующая в настоящее время система оперативной оценки фактической и прогностической ледовой обстановки имеет недостаточную точность и детализацию для полноценного обеспечения безопасности ледового плавания. Реализация автоматизированной системы натуральных наблюдений толщин морского льда СТК-К позволит существенно повысить качество и эффективность научно-оперативного обеспечения морской деятельности в ледовых условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Алексеева Т.А., Фролов С.В.** Сравнительный анализ спутниковых и судовых данных о ледяном покрове в морях Российской Арктики // Исследование Земли из космоса, 2012. № 6. С. 69–76.

2. **Миронов Е.У., Фролов С.В.** Влияние морского льда на судоходство и классификация опасных ледовых явлений // Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике. – С.-П.: ААНИИ, 2010. Гл. 1. С. 12–32.

## **ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ**

**Свищев Н.Д.<sup>1</sup>, Рыбаков А.В.<sup>1</sup>, Ермаков И.Д.<sup>2</sup>**

*1 Астраханский государственный университет,  
ул. Татищева, д. 20, корп. а, 414056, г. Астрахань,  
8(8512)49-41-68, rybakov\_alex@mail.ru*

*2 Общество с ограниченной ответственностью «Акваспецсервис»,  
ул. Набережная Приволжского залива, д. 14, 414014, г. Астрахань,  
8(8512)54-38-18, agva87@mail.ru*

В статье представлены особенности процессов автоматизированного проектирования телеуправляемых подводных аппаратов при помощи компьютерных прикладных программ. Приводится пример реального спроектированного и изготовленного телеуправляемого подводного аппарата.

Paper presents the features of the computer-aided design of ROV vehicles using computer application programs. An example of a real designed and manufactured underwater vehicle is given.

Современный телеуправляемый подводный аппарат (ТПА) представляет собой сложный программно-технический комплекс, предназначенный для автоматического и полуавтоматического выполнения различных технологических операций. В зависимости от назначения ТПА является источником разнообразной телеметрической и научной информации. На борту могут регистрироваться акустические, электрические, магнитные, температурные, радиационные и гравитационные сигналы. Специальная аппаратура обеспечивает получение фото и видео изображений, а также регистрацию и трансляцию многочисленных параметров состояния бортовых систем. В составе ТПА имеется комплекс достаточно мощных (до 1 кВт) приводных механизмов, маршевых движителей, подруливающих устройств и манипуляторов, управляемых бортовыми вычислительными машинами. Правильное функционирование всех информационных систем может быть обеспечено только на основе комплексного проектирования ТПА. Поэтому уже на самых ранних этапах разработки подводной системы необходим анализ прочностных и динамических свойств ТПА, возмущающих факторов от механических перемещений манипуляторов, присоединенных масс воды, ана-

лиз факторов плавучести и остойчивости, которые в немалой степени влияют на качество выполнения задачи управления ТПА [2, 3]. Применение автоматизированных систем проектирования позволяет существенно ускорить разработку таких систем, улучшить качество разработки и повысить эффективность работы в целом.

Разработка трехмерной модели ТПА осуществлялась в системе автоматизированного проектирования САПР «Компас-3Д» – семейство систем автоматизированного проектирования с возможностями оформления проектной и конструкторской документации согласно стандартам серии ЕСКД и СПДС [4].

На рис. 1 представлен каркас разработанного телеуправляемого подводного аппарата. По окончании этапа проектирования каркаса, были добавлены остальные элементы телеуправляемого подводного аппарата – 6 двигателей с креплениями под каркас, 3 изолированные капсулы под блоки электроники и аккумулятора.

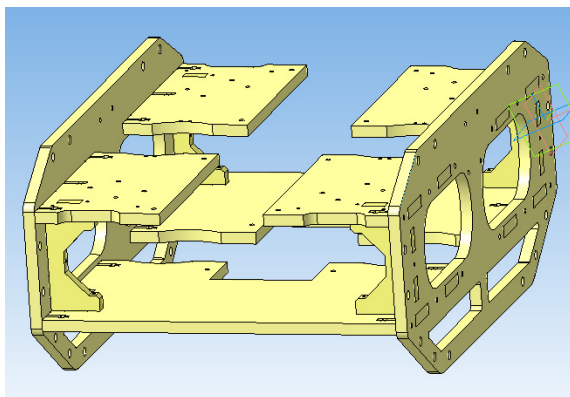
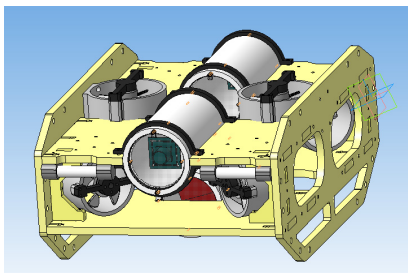


Рис. 1. Каркас спроектированного ТПА

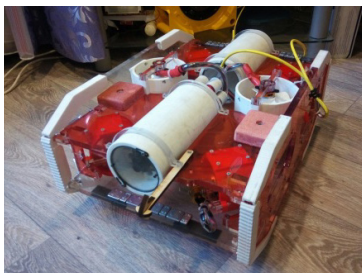
Каждый элемент конструкции разрабатывался как отдельная сборочная единица и регулярно проверялась на совместимость с остальными деталями в файле сборки (рис. 2а).

На рис. 2б представлен экземпляр собранного телеуправляемого подводного аппарата по указанной выше модели-сборки.

Гребной винт проектируется исходя из заданной мощности бесколлекторного двигателя и рабочей скорости вращения (оборотов в минуту). Чем больше лопастей, тем ниже КПД, но при маленьком их количестве велика вибрация [1].



а)



б)

Рис. 2. Телеуправляемый подводный аппарат: а) модель-сборка ТПА; б) изготовленный образец ТПА

Число лопастей можно выбрать по коэффициенту задания:

$$K_d = D_B V_p \sqrt{\frac{\rho}{p}}, \quad (1)$$

где  $D_B$  – диаметр винта, который мы берем исходя из конструкционных особенностей аппарата и мощности двигателя, этот диаметр равен 110 мм;  $V_p$  – расчетная скорость подтекающего потока, м/с:

$$V_p = V(1 - \psi), \quad (2)$$

$V$  – скорость из технического задания на проект,  $V = 5$  м/с;

$\psi$  – коэффициент попутного потока равный 0.299.

Тогда  $V_p = 5 \cdot (1 - 0.299) = 3.505$ .  $P$  – упор винта, кН,

$$P = R(V) + \Delta P. \quad (3)$$

Вспользуемся зависимостью:

$$\Delta P = tP, \quad (4)$$

где  $t$  – коэффициент засасывания, определяется по среднему возможному течению водной массы:

$$t = 0.7 \psi. \quad (5)$$

Следовательно  $t = 0.7 \cdot 0.299 = 0.209$ . Подставляя полученные значения и преобразуя полученное после подстановки выражение получаем:

$$P = \frac{R}{(1-t)}, \quad (6)$$

$$P = \frac{126}{(1-0.209)} = 159.3 \text{ кН}.$$

Подставляя полученные величины в формулу (1), получаем:

$$K_d = 0.11 \cdot 3.5 \cdot \sqrt{\frac{1.025}{159.3}} = 0.0024 .$$

Так как  $K_d < 2$ , то целесообразно выбрать для винта 5 лопастей (рис. 4а).

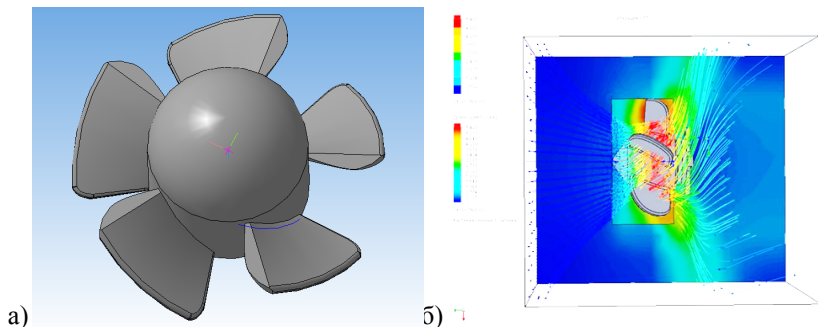


Рис. 4. Спроектированный гребной винт ТПА:

а) внешний вид пяти-лопастного винта; б) симуляция винта в программе SolidWorks Simulation

Спроектированный винт в дальнейшем прошел симуляцию в гидродинамической среде в программе SolidWorks Simulation, где задавалась рабочая среда, с плотностью дистиллированной воды и отсутствия течения в ней. На рис. 4б слева направо показан процесс засасывания стоячей воды в лопасти винта вращающихся со скоростью 2000 об/мин., на графике слева можно увидеть, что максимальная скорость выходящего потока жидкости достигала 5.42 м/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Басин А.М., Миниович И.Я.** Теория и расчет гребных винтов – Государственное союзное издательство судостроительной промышленности, 1963. С. 30–120.
2. **Ёлкин А.В., Комаров В.С., Розман Б.Я.** История развития телеуправляемого микро робота «Гном». – XIII международная научно-техническая конференция (МСОИ-2013).
3. **Вельтищев В.В., Кропотов А.Н., Челышев В.А.** Автоматизация проектирования подводных телеуправляемых комплексов // Современные технологии автоматизации, выпуск, 1997. № 2. С. 50.
4. **Самсонов В.В.** Автоматизация конструкторских работ в среде Компас-3D. – М.: Академия, 2009. С. 10–25.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЛЧМ СИГНАЛОВ В АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ**

**Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В.**

*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
Фрязинский филиал, 141120, г. Фрязино Московской области, пл. Введенского 1*

Приведены экспериментальные результаты по локальному позиционированию подводных аппаратов гидроакустической системой с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) сигналов акустического маяка. Метод основан на измерении дальности до маяка и вычислении углов прихода ЛЧМ сигналов на две или более разнесенные антенны с короткой базой.

The experimental results on the local positioning of underwater vehicles with a sonar system with a linear frequency modulation (LFM) of acoustic beacon signals are presented. The method is based on measuring the distance to the beacon and calculating the angles of arrival of the chirp signals to two or more separated antennas with a short base. The data presented are the results of research.

При проведении гидрографических изысканий на больших глубинах применяются различные типы эхолотов и гидролокаторов бокового обзора, устанавливаемых на буксируемые за судном или автономные подводные аппараты. Определение пространственного положения аппаратуры съемки относительно буксирующего или сопровождающего судна осуществляется акустическими системами подводного позиционирования на основе интерферометрических систем с различной базой для пеленгации сигналов акустического маяка-ответчика, установленного на подводном аппарате (ПА). Коммерческие системы подводного позиционирования обычно используют тональные импульсные посылки. Это затрудняет возможность их применения в сложной помеховой обстановке и на больших дальностях из-за ограниченной энергетики и возможных амплитудных ограничений в приемных трактах. Известно [1,2], что применение сигналов со сложной модуляцией и оптимальных методов их обработки существенно улучшает надежность работы локационных систем. В работе проведено исследование возможностей и некото-



рых особенностей пеленгования ПА с установленным на нем маяком-ответчиком ЛЧМ сигналов. Акустический маяк на ПА запускается с буксирующего или сопровождающего судна по кабелю либо акустическому каналу. Пространственное положение маяка-ответчика находится путем решения стандартной задачи триангуляции по измерениям дальности от него до двух или более приемных антенн интерферометра.

Для оценки возможности практического применения предложенной системы позиционирования было выполнено ее тестирование при работах в прибрежной зоне небольшого водоема. В ходе испытаний радиоуправляемый катер [3], перемещался по обследуемой акватории параллельно базовой линии интерферометра и буксировал антенну акустического маяка. Полученная информация регистрировалась и в дальнейшем подвергалась цифровой когерентной обработке. Примеры сжатых ЛЧМ сигналов, полученные при обработке экспериментальных данных и нормированные к максимуму, приведены на рис. 1.

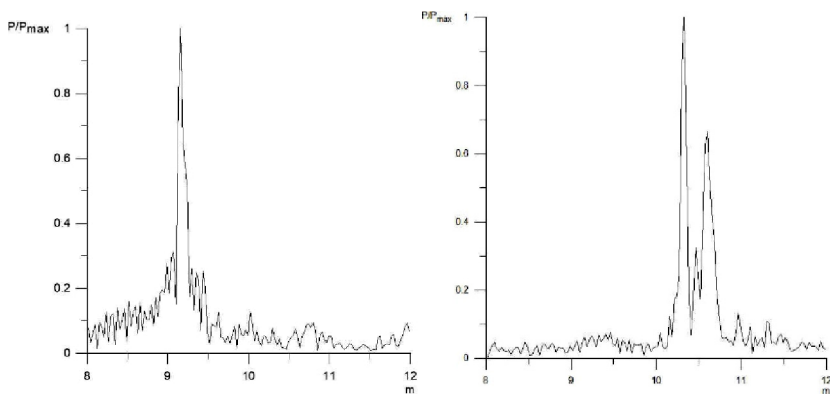


Рис. 1. Примеры экспериментальных распределений модуля мощности эхосигналов по дальности, при корреляционной обработке ЛЧМ сигналов акустического маяка

По горизонтальной оси отложена дальность в метрах. Как видно на левом рисунке сигнал имеет вид близкий к функции  $\sin(x)/x$ , то есть кроме основного пика имеется много боковых, на правом – два-три основных пика. Это связано с небольшим заглублением антенн интерферометра и маяка, когда кроме прямого сигнала маяка-ответчика присутствуют сигналы, отраженные от поверхности воды. На рис. 2 приведены экспериментальные измерения расстояний от маяка ПА до антенн ин-

терферометра, вычисленные по положению максимумов модулей корреляционных функций, примеры которых показаны на рис. 1.

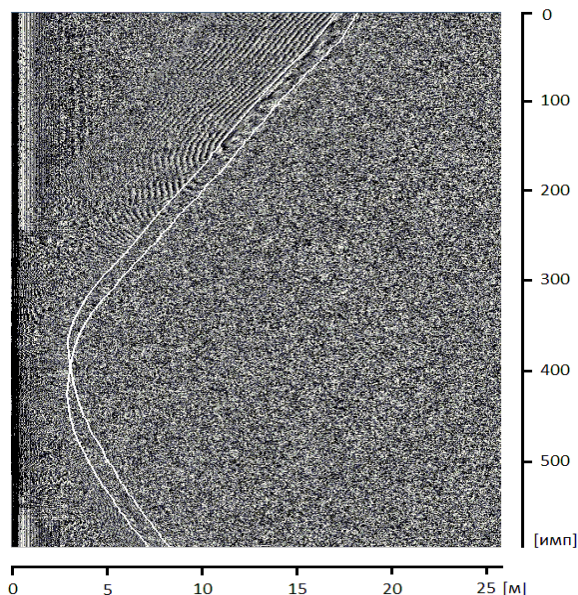


Рис 2. Линии изменения дальности от маяка до антенн и полутоновое изображение разности фаз сигналов интерферометра

На полутоновом изображении разности фаз видна область, где хорошо заметна периодическая интерферометрическая картина. Это связано с высокочастотным периодическим заполнением корреляционной функции [2] и, соответственно, появлением периодических интерференционных полос с частотой, пропорциональной времени запаздывания сигналов от акустического маяка до антенн интерферометра. При большой энергетике ЛЧМ сигнала эта периодичность хорошо просматривается и в зоне боковых лепестков разностной корреляционной функции и может быть дополнительно использована для измерения запаздывания сигналов на антеннах интерферометра.

На рис.3 приведены результаты вычисления углового положения маяка-ответчика относительно середины интерферометра. Хорошая точность получается в направлении перпендикулярном базе и в диапазоне  $\pm 45^\circ$  от этого направления.

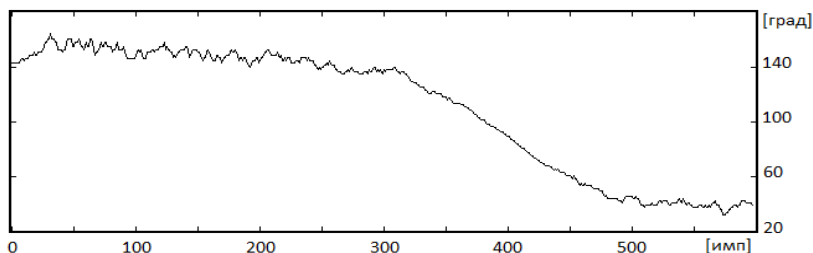


Рис. 3. Вычисленное угловое положение маяка-ответчика подводного аппарата. База интерферометра  $d=1.5$  м

**Заключение.** Тестирование системы локального позиционирования с ЛЧМ сигналом показало возможность ее применения для определения местоположения ПА с точностью, достаточной для обеспечения картографической съемки морского дна гидролокационными комплексами площадной съемки, устанавливаемыми на ПА. Система обладает существенными преимуществами по энергетическому потенциалу и помехозащищенности в сравнении с комплексами позиционирования, использующими тонально-импульсные зондирующие сигналы акустических маяков. С учетом того что позиционирование подводных аппаратов на практике осуществляется по «точечному» источнику акустического излучения, эффективность системы может быть заметно повышена применением алгоритмов сверх разрешения спектрального оценивания и учета фазовых измерений интерферометра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каевицер В.И., Разманов В.М., Кривцов А.П., Смольяников И.В., Долотов С.А. Дистанционное зондирование морского дна акустическими сигналами с линейной частотной модуляцией // Радиотехника, 2008. № 8. С.35–42.
2. Дж. Бендат, А. Пирсол. Применение корреляционного и спектрального анализа. – М.: Мир, 1983.
3. Каевицер В.И., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольяников И.В., Элбакидзе А.В., Денисов Е.Ю. Дистанционно управляемый катер с гидролокатором бокового обзора для картографирования дна малых водоемов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 10. С.80–91.

## **ГИДРОЛОКАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС С ЛЧМ СИГНАЛАМИ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ДНА МАЛЫХ ВОДОЁМОВ С ПОМОЩЬЮ ДИСТАНЦИОННО-УПРАВЛЯЕМОГО МИНИ-КАТЕРА**

**Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В.**

*ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН,*

*г. Фрязино, Московской обл., пл. им. академика Б.А.Введенского, д. 1,  
тел. +7(496)565-26-70, факс +7(496)565-24-07, eldrey@ms.ire.rssi.ru.*

Приведено описание и экспериментальные результаты применения гидролокационного комплекса с ЛЧМ зондирующими сигналами для обследования поверхности дна и донных отложений малых водоемов, установленного на радиоуправляемую модель катера.

The description and experimental results of the use of the sonar system with chirp probe signals for the inspection of the surface of the bottom and bottom sediments of small reservoirs installed on the radio-controlled model of the boat are consider in the paper.

В докладе представлен разработанный в ФирЭ им. Котельникова РАН гидролокационный комплекс с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) зондирующих сигналов и технология цифровой обработки эхосигналов, которые позволили повысить энергетический потенциал гидролокационных систем при невысоких амплитудах зондирующих импульсов[1]. За счет этого удалось существенно уменьшить габариты гидролокационных комплексов, в том числе ГБО и профилографа и разместить их на модели радиоуправляемого катера JABO 5C [2].

Разработанная аппаратура (рис.1) состоит из двух частей: первая установлена на катере, вторая на берегу. На катере установлен малогабаритный ГБО диапазона 450 кГц с ЛЧМ зондирующими сигналами, профилограф диапазона 7 КГц, навигационный приемник Глонасс-GPS, датчики курса, качки и точки доступа Wi-Fi для обеспечения оперативного просмотра, регистрации информации и управления движением катера ПЭВМ берегового терминала. Питание аппаратуры катера осуществляется от двух аккумуляторов ёмкостью 7-а/ч и напряжением

24 В. Аппаратура береговой станции состоит из ноутбука, и подключенных к нему Wi-Fi адаптера, приемника спутниковой навигации и пульта управления движением катера.

ГБО обладает следующими техническими характеристиками: рабочая частота – 455 кГц, разрешающая способность по дальности 1.5 см, длительность сигнала зондирования 0.5÷10 мс, частота посылок – 50 ÷ 1 раз в секунду, мощность излучения 60÷100 Вт, полоса обзора 5–10 глубин под собой, диапазон рабочих глубин 0.5 – 50 м.

Профилограф обладает следующими техническими характеристиками: диапазон рабочих частот – 4.5–9 кГц, разрешающая способность по глубине 20 см, длительность сигнала зондирования 0.5÷10 мс, частота посылок – 20 ÷ 1 раз в секунду, мощность излучения 500 Вт.

Блок схема аппаратуры комплекса с внешними датчиками навигационной информации приведена на рисунке 1. Аппаратура установлена на катере, который изображен на рисунке 2.

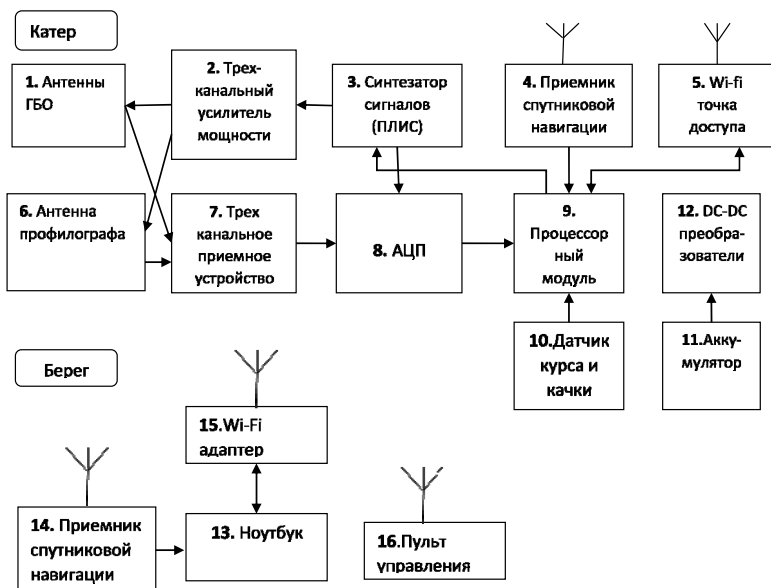


Рис.1. Структурная схема комплекса ГБО с профилографом, установленного на автономный катер (вверху) и береговой базовой станции (внизу слева)



Рис. 2. Катер в снаряженном состоянии на воде, буксирующий антенну профилографа

Программное обеспечение [3] базовой станции позволяет задавать параметры зондирующих сигналов, запускать и останавливать сбор данных, управлять скоростью и направлением движения катера, архивировать поступающие по локальной сети эхо-сигналы и данные датчиков пространственного положения катера, а также и отображать их и акустические изображения (рис. 3, 4) на экране ноутбука базовой станции в реальном времени.

Разработанный гидролокационный комплекс, установленный на дистанционно-управляемый катер позволяет проводить исследования дна на малых водоёмах. Аппаратура и программное обеспечение могут быть легко адаптированы и установлены на другие платформы.

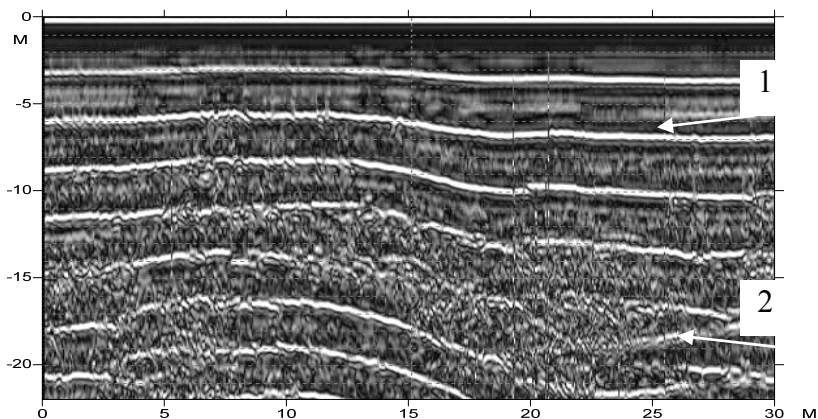


Рис. 3. Фрагмент профилограммы  
1 – кратные отражения, 2 – отражение от некоторого слоя

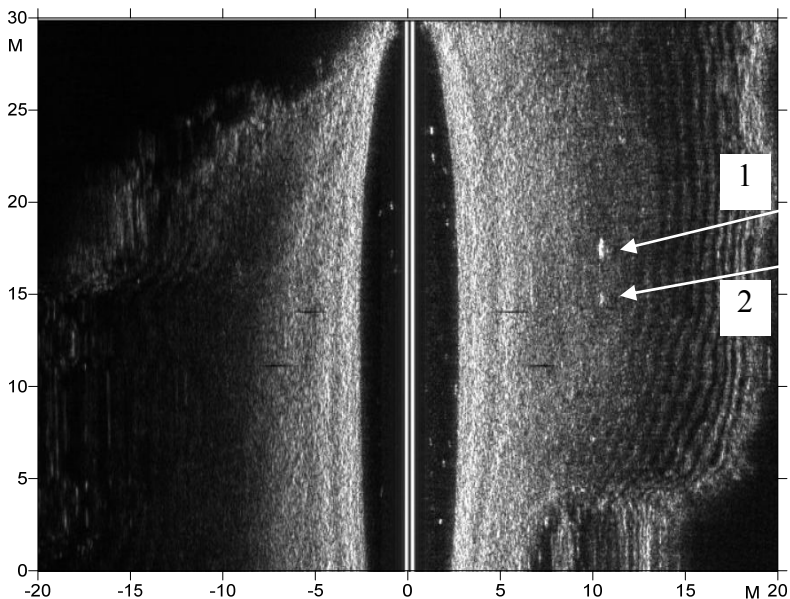


Рис. 4. Фрагмент яркостного изображения дна пресноводного водоема. На изображении хорошо видны заранее расположенные на дне объекты: 1 – металлическое ведро 20×30 см, 2 – кирпич, размером 20×10×10 см

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Каевицер В.И., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольяников И.В., Элбакидзе А.В., Денисов Е.Ю.** Дистанционно управляемый катер с гидролокатором бокового обзора для картографирования дна малых водоемов. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – №10. – С. 80–91.
2. Интернет ресурс. <https://rc-today.ru/product/katamaran-jabo-5a-10/>. Дата обращения 27.11.2018.
3. **Элбакидзе А.В.** Программа управления и регистрации данных многофункциональной гидролокационной аппаратуры в реальном времени. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017664345, 2017.

## **МОНИТОРИНГ СУДОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ И РЫБОЛОВЕЦКОГО ФЛОТА НА БАЗЕ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ**

**Зимин И.Б., Кошманов В.Ф., Ревяков Г.А.**

*АО «Российские космические системы», ул. Авиамоторная, 53,  
111250, г. Москва, 8 (495) 647 42 64, 8 (495) 673 93 95,  
revvakov\_ga@spacecorp.ru*

В докладе представлена отраслевая система навигационно-информационного обеспечения и мониторинга судов на базе систем спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/BEIDOU и связи ГОНЕЦ/ИНМАРСАТ-С/АРГОС, разработанная в АО «РКС».

Paper presents the navigational and information system based on systems of space navigation GLONASS/GPS/GALILEO/BEIDOU & communication GONETS/INMARSAT/ARGOS developed in JSC “RSS” for monitoring sea boats and to transmit data to a monitoring center.

**Ключевые слова:** мониторинг судов специального назначения, навигационно-информационное обеспечение, ГНСС ГЛОНАСС, спутниковая система связи ГОНЕЦ, электронный промысловый журнал, технические средства контроля.

В основу разработки средств оперативного мониторинга судов специального назначения и рыболовецкого флота (далее – ССН) положено приоритетное использование возможностей отечественной глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС и системы космической связи (СКС) ГОНЕЦ наряду с рациональным применением зарубежных спутниковых технологий. Принятые научно-технические решения обеспечивают программно-технологическую независимость при решении задач оперативного с высокой степенью достоверности контроля местоположения и состояния ССН, а также технологических процессов на них [1].

Разработанные средства оперативного мониторинга ССН интегрированы в отраслевую систему мониторинга (ОСМ) Росрыболовства и



обеспечивают формирование единого отраслевого навигационно-информационного ресурса (далее – Агрегатора), который обеспечивает комплексирование имеющихся и перспективных источников информации и передачи данных, включая:

- мониторинг судов рыбопромыслового флота на базе ГНСС ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/BEIDOU и навигационно-связной системы АРГОС;
- использование в качестве основного канала передачи информации СКС ГОНЕЦ, вспомогательного – СКС ИНМАРСАТ-С и резервного – систему АРГОС;
- приём, обработку, хранение и распространение контролируемых данных и мониторинговой информации;
- высокую степень устойчивости связи между источниками и потребителями информации, в т.ч. в высоких широтах;
- автоматический анализ и визуализацию мониторинговых данных и картографической информации;
- расширенные функции оперативного контроля промышленной и производственной деятельности ССН;
- высокий уровень достоверности и качества информации;
- интеграцию программно-технических средств (ПТС) мониторингового контроля, судового комплекса электронного промыслового журнала (ЭПЖ) и платформонезависимых средств хранения информации («чёрного ящика»);
- импортозамещение за счёт приоритетного использования отечественных технологий навигации ГЛОНАСС и связи ГОНЕЦ;
- снижение технологической зависимости от зарубежных систем спутниковой навигации и связи;
- экономический эффект за счёт снижения затрат при переходе на отечественную СКС ГОНЕЦ.

При решении прикладных задач используется инфраструктура отечественной облачной среды, в которой осуществляется мониторинг целостности Агрегатора и автоматическое формирование показателей, характеризующих его состояние.

На рис. 1 отображён принцип работ, согласно которому орбитальные группировки навигационных космических аппаратов (НКА) из состава ГНСС ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/BEIDOU формируют непрерывное поле навигационных сигналов, поступающих на антенну блока навигационного приёмника (БНП) судового мониторингового навигационно-связного комплекса (МНСК).

МНСК представляет собой бортовую навигационную аппаратуру потребителей (НАП), в которой на основе различных данных формируются информационные сообщения, поступающие через спутники связи в приёмные устройства операторов СКС и далее потребителям в соответствии с правами доступа (рис. 1).

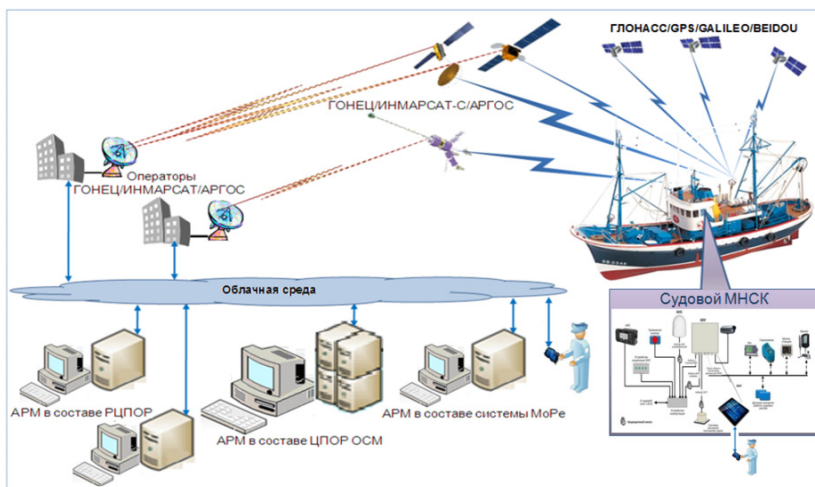


Рис. 1. Принципиальная схема функционирования ОSM

Согласно требованиям действующего законодательства [2] в судовой МНСК помимо средств навигационного мониторинга предусмотрен комплект технических средств контроля (ТСК) технологических зон и производственных процессов. Через каналы СКС ГОНЕЦ (основной), ИНМАРСАТ-С (запасной) и АРГОС (резервный) мониторинговая информация поступает в сетевую вычислительную инфраструктуру, развёрнутую в Интернет и реализованную в облачной среде, где формируется сегмент единого отраслевого навигационно-информационного мониторингового ресурса, который в режиме реального времени посредством совокупности сервисов обеспечивает различных потребителей информацией. Из облачной среды мониторинговая информация передаётся на мультисервисные терминалы потребителей: автоматизированные рабочие места (АРМ) центра приёма, обработки и распространения информации (ЦПОРИ) ОSM, региональные ЦПОРИ, комплексную интегрированную информационную систему (КИИС) «МоРе» и другие, в т.ч. судовладельцам [2].

Блок контроля и управления (БКУ) из состава МНСК обеспечивает приём, обработку, хранение и распределение информации, включая передачу данных, показателей и событий в ЭПЖ и «чёрный ящик», а также анализ навигационных данных и технологической информации от различных источников, включая: средства спутниковой навигации; традиционные средства навигации (различные типы компасов, лагов и другого судового навигационного оборудования); технические средства визуального контроля, в т.ч. технологического оборудования и производственных площадок.

На основании комплексной обработки навигационной информации, полученной от различных источников при определённом расхождении данных о местоположении судна, нарушении заданных границ, пересечении запрещённых зон и других событиях в МНСК формируется сообщение и передаётся сигнал о нештатной ситуации.

В качестве парадигмы информационной безопасности ОСМ использовались положения системного анализа, методы и модели математической экономики, концептуальная модель управления безопасностью эргатических систем (ЭС). В этой связи ОСМ рассматривается как сложная сетевая социально-техническая система, состоящая материальных и нематериальных компонентов, которые функционируют в распределённом географическом пространстве в условиях изменяющейся внешней и внутренней информационной среды. При этом анализируется и учитывается взаимного влияния компонентов внутренней и внешней сети путём формирования трёхмерной матрицы взаимных влияний, что позволяет оценить влияние различных факторов на состояние ЭС [3].

Таким образом, принятые научно-технические решения обеспечили инженерно-конструкторскую проработку и реализацию системы мониторинга ССН на базе средств спутниковой навигации и связи с заданными показателями потребительских качеств.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Зимин И.Б., Кошманов В.Ф., Ревяков Г.А.** Актуальные вопросы разработки судовых средств мониторинга и контроля на базе спутниковых технологий / Сборник докладов научно-технической конференции «Состояние, проблемы и перспективы создания корабельных информационно-управляющих комплексов» – М.: АО Концерн «Моринсист-Агат», 2017. С170–177.

2. **Зимин И.Б., Кошманов В.Ф., Логутова Л.В., Ревяков Г.А.** Способ оперативного мониторинга судов специального назначения и рыбопромыслового флота с использованием глобальных спутниковых систем

навигации ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/BEIDOU и связи ГОНЕЦ / ИН-МАРСАТ-С/АРГОС / Бюл. № 19. Описание к патенту на изобретение № 2624361 – М.: ФИПС, 2017. 15с.

3. **Ревяков Г.А.** Научно-методический аппарат анализа и представления объектов информационного взаимодействия / Наука и технологии. Том 3. – М.: РАН, 2018. С90–97.

УДК 629.584

## **МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ДОННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОЛОКАТОРА БОКОВОГО ОБЗОРА**

**Смирнова Т.Е.**

*ФГБОУ высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
105005, Москва, 2-я Бауманская д. 5 стр. 1, 8 (977) 164-35-52,  
smirnova273@mail.ru , kafsm11@sm.bmstu.ru*

В докладе представлены методы обнаружения подводных объектов на акустических изображениях, получаемых с гидролокатора бокового обзора. Рассматриваются морфологические преобразования, которые устраняют шумы на акустических изображениях.

The report presents the methods for detecting underwater objects in acoustic images, which are obtained using side-scan sonar. The report also discusses the morphological transformations, which eliminate noise in acoustic images.

Актуальными задачами, стоящими перед автономными необитаемыми подводными аппаратами (АНПА), являются инспекция подводных сооружений и коммуникаций, поиск и обследование затонувших объектов. Данные задачи могут быть решены благодаря установке на АНПА гидролокатора бокового обзора (ГБО), с помощью которого получают акустические изображения дна. Применение компьютерной обработки к акустическим изображениям позволит обнаружить на них подводные объекты. Таким образом, обеспечивается автоматическое обнаружение объектов на изображениях, получаемых с ГБО, который расположен на АНПА.

Цель данной работы представляет собой изучение методов обнаружения подводных объектов на акустических изображениях, их реализацию с использованием морфологических преобразований и выбор наиболее оптимального метода.

Изображения, получаемые с ГБО, содержат шумы, связанные с погрешностью измерения амплитуды акустической волны приемным трактом ГБО, поэтому перед применением методов обнаружения объектов необходимо провести фильтрацию акустических изображений. Рассматриваются морфологические преобразования *erode* (операция сужения) и *dilate* (операция расширения) [1]. Операция сужения обеспечивает устранение случайных вкраплений на изображении, а операция расширения способствует объединению областей изображения, которые были разделены шумом.

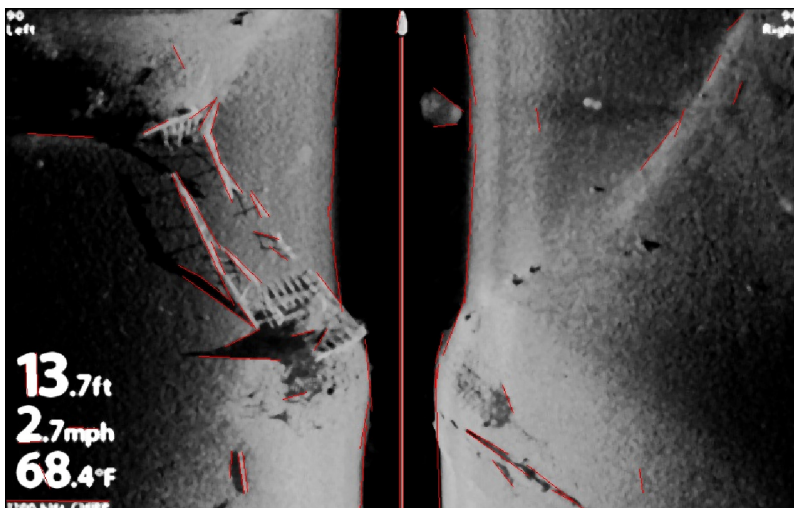


Рис. 1. Результат работы Fast Line Detector на акустическом изображении

Далее рассматриваются методы распознавания подводных объектов. Наиболее распространенным способом выделения контуров объектов по перепаду яркостей пикселей является использование детектора Canny. В данном методе решение об отнесении пикселя к контуру объекта принимается в результате расчета его градиента и сравнение этого значения с градиентами соседних пикселей [2].

Следующим этапом решения задачи распознавания объектов является применение методов извлечения объектов, принадлежащих определенному классу фигур, на основании выявленных контуров. Рассматриваются три метода:

1. Hough Lines Transform (данное преобразование основывается на представлении искомого изображения в виде параметрического уравнения и предназначено для детектирования линий на нем [2]);

2. Fast Line Detector (дискретное математическое преобразование, которое позволяет обнаружить линии или сегменты линий при относительно высоком уровне шума [3]);

3. Line Segment Detector (линейный детектор сегментов линий, который предназначен для работы с изображением без настройки параметров [4]).

Для тестирования данных методов были написаны программы с использованием элементов библиотеки OpenCV [2]. На рисунке 1 представлен результат работы метода Fast Line Detector на акустическом изображении, к которому была применена предварительная фильтрация с помощью морфологических преобразований. Красными линиями выделены обнаруженные контуры объектов.

Полученные алгоритмы могут в дальнейшем использоваться для обнаружения как протяженных, так и небольших подводных объектов в реальном времени на акустических изображениях, полученных с ГБО, что повысит эффективность работы автономных необитаемых подводных аппаратов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В., Ососков М.В., Моржин А.В.** Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. М.: Физматкнига, 2010. – 672 с.

2. **Robert Laganier.** OpenCV 2 Computer Vision Application Programming Cookbook, 2011. – 304 с.

3. **Jin Han Lee, Sehyung Lee, Guoxuan Zhang, Jongwoo Lim, Wan Kyun Chung, and Il Hong Suh.** Outdoor place recognition in urban environments using straight lines. In *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 5550–5557. IEEE, 2014.

4. **Rafael Grompone von Gioi, Jérémie Jakubowicz, Jean-Michel Morel, and Gregory Randall,** LSD: a Line Segment Detector, *Image Processing On Line*, 2 (2012), pp. 35–55.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРИ БОЛЬШИХ УГЛАХ НАКЛОНА**

**Гаврилина (Лямина) Е.А., Кропотов А.Н., Сарвира Д.В.,  
Чумаков Ю.В., Березин А.В.**

*НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
8(499)263-67-72, sm42@bmstu.ru*

В докладе представлены результаты экспериментальной обработки алгоритмов управления ориентацией необитаемого подводного аппарата при больших углах наклона. Рассматриваются традиционный подход к управлению с использованием углов Эйлера-Крылова, подход с компенсацией, предложенный авторами, и подход с использованием кватернионов.

Paper presents results of the experimental research of the remotely operated vehicle attitude control system algorithms for large inclination angles. The construction of the attitude control system is considered on the traditional approach using Euler angles (yaw, pitch and roll), approach with compensation algorithm and quaternion approach.

### **Введение**

Традиционно необитаемые подводные аппараты (НПА) эксплуатируются при близких к нулю значениях углов наклона (дифферента и крена) или не имеют жестких требований к системе управления (СУ) при больших углах наклона [1]. Однако существуют задачи, для которых требуется работоспособность НПА во всем диапазоне углов ориентации. К таким задачам относятся осмотр и идентификация миноподобных объектов, маневрирование в условиях ограниченного пространства и т.п. При этом методика построения таких СУ в открытом доступе отсутствует.

Анализ работы традиционной системы управления ориентацией НПА при больших углах наклона приведен в работе [2], в которой показано, что с ростом углов наклона увеличивается связность между каналами СУ, а также предложен алгоритм компенсации, уменьшающий взаимовлияния между каналами.

Вопрос применения существующих подходов к управлению ориентацией летательных, космических аппаратов и торпед к решению задачи управления ориентацией НПА рассмотрен в работе [3].

Аналитические результаты приведенных работ были проверены математическим моделированием, но не были апробированы на реальном НПА. Таким образом, целью данного доклада является экспериментальное исследование алгоритмов и аналитических результатов, полученных авторами в работах [2] и [3].

### **Описание эксперимента**

Отработка алгоритмов СУ ориентацией была проведена на НПА «Износ» [4], разработанном в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана и предназначенном для дефектоскопии корпусов судов. Внешний вид аппарата представлен на рис. 1.

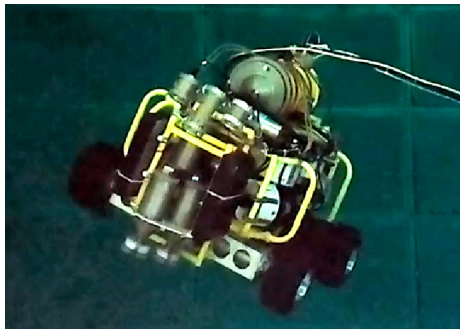


Рис. 1. Внешний вид НПА Износ

Исследование работы СУ проводилось следующим образом. На начальном этапе проводилась настройка отдельных каналов управления курсом, дифферентом и креном. На следующем этапе исследовалась совместная работа каналов управления при различных углах крена и дифферента.

В качестве схем построения СУ ориентацией НПА рассматривался традиционный подход, подходы с компенсацией и с использованием кватернионов. В СУ использовался ПИ – регулятор с демпфирующей скоростной связью.

### **Результаты экспериментов**

Результаты работы традиционной СУ ориентацией приведены на рисунке 2 и подтверждают выводы, сделанные в работе [2]:



- с ростом угла дифферента увеличиваются взаимовлияния между каналами;
- при большом угле наклона НПА по дифференту управление по курсу наиболее сильно влияет на канал крена. Например, при дифференте равном  $\sim 50^\circ$ , динамическая ошибка в контуре крена, от управления курсом, составила  $50^\circ$ .

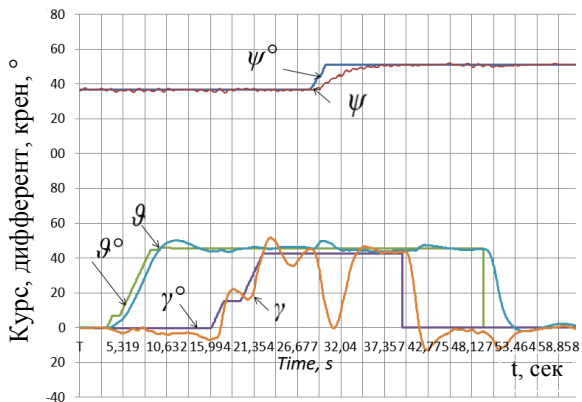


Рис. 2. Переходные процессы в СУ ориентацией НПА для традиционного подхода

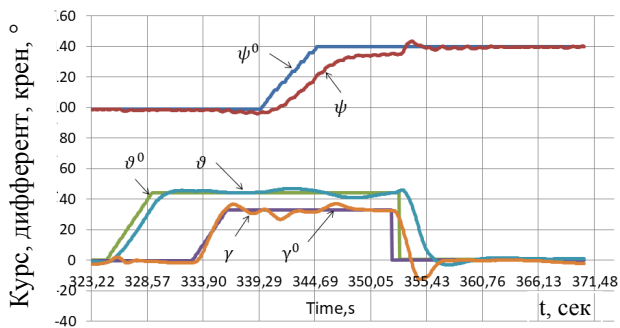


Рис. 3. Переходные процессы в СУ ориентацией НПА для подхода с компенсацией

Переходные процессы в системе управления ориентацией с алгоритмом компенсации приведены на рис. 3.

Вид переходных процессов позволяет сделать вывод о том, что взаимовлияние между каналами уменьшилось. Например, динамическая ошибка в контуре крена при совместной работе каналов уменьшена в 10 раз и составляет  $\sim 5^\circ$ .

Результаты отработки алгоритма управления ориентацией НПА с использованием кватернионов приведены на рис. 4.

Полученные результаты подтверждают вывод, сделанный в работе [3] о том, что при использовании данного подхода взаимовлияния между каналами являются наименьшими.

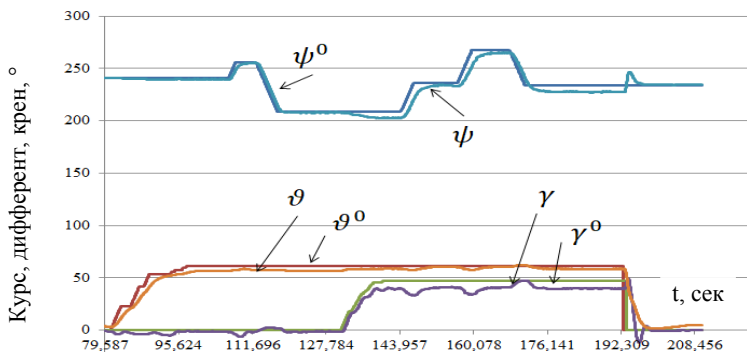


Рис. 4. Переходные процессы в СУ ориентацией НПА с использованием кватернионов

### Заключение

Результаты экспериментов подтверждают выводы, полученные в работах [2] и [3] о том, что:

- рассматриваемым подходам к управлению ориентацией НПА свойственна проблема взаимовлияния между каналами управления;
- предложенный компенсационный алгоритм прост в настройке, эффективен, позволит улучшить качество СУ и расширить рабочие углы существующих НПА без существенных доработок;
- подход к управлению в кватернионах имеет наименьшее взаимовлияние между каналами и представляет интерес для построения новых СУ ориентацией НПА.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Костенко В.В., Михайлов Д. Н. Разработка телеуправляемого подводного аппарата «МАКС-300», – 2012. – Т. 1 – № 423– 36–46с.

2. **Лямина Е.А., Егоров С.А.** Особенности построения системы управления угловой ориентацией подводного аппарата для больших углов наклона. Инженерный журнал: наука и инновации, 2018, вып. 3.

3. **Лямина Е.А.** Подходы к построению системы управления угловым положением необитаемого подводного аппарата без ограничений на углы наклона. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; специальный выпуск 1: 224–234.

4. **Гамазов Н.И.** и др. Особенности построения и экспериментальная обработка информационно-управляющей системы гибридного телеуправляемого подводного аппарата // Технические проблемы освоения мирового океана. 2016. Т. 6. С. 401–405.

УДК 629.369

## **ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УСИЛИЕ ОТРЫВА ОТ ГРУНТА ОПОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (СТОП) ГЛУБОКОВОДНЫХ ШАГАЮЩИХ ПЛАТФОРМ**

**Арыканцев В.В., Чернышев В.В., Бандурко А.В., Матвейчук М.Г.**

*Волгоградский государственный технический университет,  
пр-т им. Ленина, 28, 400005, г. Волгоград, 8(8442)24-80-99, dtm@vstu.ru*

Обсуждаются результаты исследования влияния вибрационного воздействия на усилие отрыва от подводного грунта опорных элементов (стоп) шагающих платформ. Показано, что вибрация может существенно облегчить отрыв стопы от вязких водонасыщенных грунтов.

Discussed results of the study of the influence of vibration on the force of separation from the underwater soil of the support elements (feet) of walking platforms. It is shown that the vibration can make significantly easier the separation of the foot from the viscous waterlogged soils.

Разведка и освоение подводных (подледных) месторождений углеводородов Арктического континентального шельфа является важнейшим направлением развития топливно-энергетического комплекса. Технологические системы для разведки, обустройства и эксплуатации таких месторождений в настоящее время практически отсутствуют. Существ-

вует проработка только отдельных технологий: подводное бурение с использованием самоподъемных опорных оснований, бурение с самоходных судов [1]. Количество точек бурения при обустройстве подводного месторождения может достигать нескольких сотен. Тяжелые самоподъемные основания, рациональные при бурении добычных нефтегазовых скважин, применять для бурения разведочных скважин экономически нецелесообразно. Такие работы целесообразно выполнять с помощью передвигающихся по дну шагающих платформ. Конструктивная проработка таких глубоководных шагающих платформ в настоящее время ведется в ряде стран мира. На АО «ФНПЦ» Титан-Баррикады» также ведутся такие работы [2]. В частности, прорабатывается конструкция подводной буровой установки на базе роботизированных шагающих платформ с двигателями ортогонального типа (рис. 1).



Рис.1 Подводная буровая установка на базе шагающих платформ

В подводных условиях имеются специфические особенности взаимодействия шагающего двигателя со слабонесущими донными грунтами. Существенное влияние на динамику контактного взаимодействия опорных элементов двигателя оказывают плавунные свойства грунта — насыщенный водой грунт может разжижаться при механическом

воздействии на него. Также имеет место «компрессионный эффект», возникающий у шагающих машин на водонасыщенных грунтах при переступании. При отрыве стопы от опорной поверхности, из-за разрежения, возникающего под стопой, появляется сила, препятствующая отрыву стопы от грунта. На грунтах с низкими гидрофильными свойствами эта сила может достигать значительной величины [3]. С увеличением глубины, кроме того, компрессионная сила может существенно возрастать из-за роста давления внешней среды. Подводные штамповые испытания показали, что усилие отрыва стопы от донного грунта может в десятки раз превосходить нормальную нагрузку на ногу в опорной фазе [4].

В работе обсуждается возможность снижения усилия отрыва стопы от подводного грунта путем вибрационного воздействия на опорные элементы движителя. Предполагалось, что вибрация может облегчить отрыв стопы от вязких водонасыщенных грунтов за счет динамического роста усилия отрыва и за счет лучшей фильтрации воды в зону контакта при отрыве стопы.

Исследование влияния вибрационного воздействия на усилие отрыва стопы от подводного грунта осуществлялось путем штамповых испытаний. Испытания проводились на малых глубинах (до 5–6 м) в условиях водных объектов Волго-Ахтубинской поймы на песчанно-глинистых грунтах с высокой степенью заиленности. Варьировались размеры стопы, среднее давление на грунт, скорость отрыва стопы от грунта и время нахождения стопы на грунте.

В ходе экспериментов штамп в виде круглой стопы (массой около 10 кг) с присоединенным (на край стопы) электромагнитным вибровозбудителем опускался на дно на кабель-тросе и оставлялся на грунте на несколько часов (до 12 часов). При отрыве штампа от грунта динамометром определялось усилие отрыва. Затем эксперимент повторялся при включенном вибровозбудителе.

Непосредственное измерение усилия отрыва стопы от грунта динамометром затруднено из-за упругости троса, что не позволяет обеспечить «быстрых» движений штампа. Поэтому также проводились эксперименты возле берега на глубине около 0,5 м. При этом штамп устанавливался на дне с помощью шарнирно присоединенного штока и нагружался массой (60 или 90 кг). Время нагружения составляло несколько минут, затем нагрузка снималась. Через несколько часов (до 6 часов) штамп отрывался от грунта. Усилие отрыва также измерялось динамометром. Затем эксперимент повторялся при включенном вибровозбудителе. В ходе экспериментов на определенном расстоянии от штамповой установки устанавливалась на штативе видеокамера, направленная та-

ким образом, что в поле ее видимости попадала метка на штоке штампа, а также шкала динамометра. Это позволяло путем покадровой обработки видеозаписи фиксировать курсовые перемещение штампа и показания динамометра. Покадровая обработка видеозаписи осуществлялась с помощью программы «Microsoft Paint» и заключалась в определении положения, относительно любого естественного ориентира, попавшего в кадр, меток, расположенных на штоке штампа. Измерения производились в условных единицах (в пикселях монитора ЭВМ) с помощью указателя координат курсора. Цена условных единиц определялась по размерам штока штамповой установки. Это позволяло определить закон движения штампа в вертикальном направлении, а также его скорость (путем численного дифференцирования). Варьировалась скорость за счет изменения величины приложенной силы. При «большой» силе имело место «быстрое» движение штампа. При «малой» силе отрыв стопы от грунта происходил с заметной задержкой, после фильтрации воды в зону разрежения под стопой.

Проведенные испытания показали, что при воздействии вибрации в большинстве экспериментов имело место снижение усилия отрыва стопы от грунта (в нескольких случаях до 2-х раз). Имеющийся большой разброс экспериментальных данных можно объяснить сложностью обеспечения одинаковых скоростей движения штампа. Скорость отрыва стопы от грунта сильно влияет на компрессионную силу. Надо отметить, что сделанные по результатам испытаний выводы носят предварительный характер. Для более полного понимания рассматриваемого явления необходимо разобраться в динамике процесса, и нужен более значительный объем экспериментов.

Результаты работы могут быть востребованы при разработке роботизированных шагающих платформ, передвигающихся по дну предназначенных для разведки и освоения ресурсов морского дна.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-48-343005 p\_mol\_a*

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Серов В.А.** Задачи технологических роботизированных шагающих платформ при освоении подводных (подледных) месторождений полезных ископаемых / Серов В.А., Ковшов И.В., Устинов С.А. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 9 (194). С. 181–192.
2. **Шурыгин В.А.** Технология применения подводных шагающих роботизированных платформ при освоении подводных (подледных)

месторождений углеводородов / Шурыгин В.А., Серов В.А., Ковшов И.В., Устинов С.А. // Технические проблемы освоения Мирового океана: матер. VII всерос. науч.-техн. конф. Владивосток, 2017. Т. 7. С. 43–47.

3. **Арыканцев В.В.** Исследование «компрессионного эффекта», возникающего при смене стоп шагающего движителя на подводных грунтах / В.В. Арыканцев, В.В. Чернышев // Современные методы и средства океанологических исследований: матер. XV всерос. науч.-техн. конф. «МСОИ–2017» / Москва, 2017. Т. II. С. 178–182.

УДК 517.977.5

## **ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ С ПРЕДСКАЗАНИЕМ АВТОНОМНЫМ ПОДВОДНЫМ АППАРАТОМ**

**Сиек Ю.Л., Борисов А.Н.**

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
ул. Лоцманская, 3, 190121, г. Санкт-Петербург, 8(812)495-26-48,  
office@smtu.ru, bor\_fond93@mail.ru*

Представлена оценка производительности параллельного варианта алгоритма оптимизации методом Бокса при управлении с предсказанием АНПА в вычислительной системе с общей памятью. Приведены результаты имитационного моделирования.

A performance assessment of a parallel Box optimization algorithm for AUV prediction control in a SMP-system is presented. The results of simulation are given.

В настоящее время все большее распространение получают различные алгоритмы оптимального управления. Одним из вариантов такого управления, является адаптивное прогнозирующее управление с моделью, получившее значительное развитие в последнее десятилетие. Основная идея метода — это предсказание поведения объекта управления на различные типы входных воздействий [1,2,3].

Пусть математическая модель объекта управления описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}(t) &= f(t, \mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)), \quad \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{y}(t) &= C\mathbf{x}(t)\end{aligned}\quad (1)$$

Векторы  $\mathbf{x}(t) \in E^n$ ,  $\mathbf{u}(t) \in E^m$ ,  $\mathbf{y}(t) \in E^r$  представляют собой текущее состояние объекта, вектор управления и наблюдение соответственно. Тогда сформулируем прогнозирующую модель следующего вида

$$\begin{aligned}\mathbf{x}[i+1] &= f(\mathbf{x}[i], \mathbf{u}[i]), \quad i = k + j, \quad j = 0, 1, 2, \dots \\ \mathbf{y}[i] &= C\mathbf{x}[i]\end{aligned}\quad (2)$$

Прогнозирующая модель (2) инициируется на начальном такте  $j = 0$  текущим состоянием объекта управления, и, в силу близости к нему, может приближенно спрогнозировать его поведение. Тогда конечная последовательность векторов  $\mathbf{x}[i]$ ,  $(i = k + 1, \dots, k + P)$  – определяемая системой (2), называется прогнозом движения реального объекта с горизонтом прогноза  $P$ .

Введем в рассмотрение понятие качества управления, вычисляя некоторый функционал [2]:

$$J_k = J_k(\bar{\mathbf{x}}, \bar{\mathbf{u}}). \quad (3)$$

Тогда схема управления примет вид:

- измеряется или оценивается текущее состояние объекта;
- вычисляется последовательность векторов управления, оптимизирующая движение модели (2), относительно функционала (3);
- найденное оптимальное управление реализуется для объекта только на текущем такте.

В соответствии с представленной схемой, для формирования управляющего воздействия на каждом такте работы алгоритма необходимо решать оптимизационную задачу в режиме реального времени. Данное требование является существенным препятствием для внедрения прогнозирующих моделей в практику управления динамическими объектами [1].

Способами устранения этого недостатка являются сокращение размера задачи оптимизации, а также разработка более быстрых алгоритмов. В задаче повышения производительности перспективным считается использование параллельных вычислительных систем и технологий [4, 5]. Широкий класс таких систем представляют архитектуры с общей памятью, а для их программирования применяется стандарт OpenMP.

При решении задачи оптимизации прогнозирующего управления АНПА во время компьютерного моделирования использовался параллельный вариант алгоритма условной оптимизации комплексным методом Бокса [6]. Параллельный вариант алгоритма подразумевает одновре-



менное улучшение  $K$  худших точек комплекса, где  $K$  – число вычислительных узлов.

Моделирование проводилось на системе с общей памятью. Целью эксперимента было сравнение времени выполнения алгоритма на различном количестве одновременно выполняемых потоков с разными коэффициентами умножения комплекса  $s$ . Результаты моделирования приведены на рис. 1.

При задействовании 5 потоков максимально возможное ускорение достигло 3.62. Однако уже при 6 потоках скорость выполнения начала падать. Это связано с возрастающими задержками при обращении к общим участкам памяти, а также наличием в программе кода, который невозможно распараллелить. Дальнейшее развитие метода предполагает создание такого способа организации вычислений, при котором стало бы возможным эффективное использование алгоритма в системах с распределенной памятью (МРР). Такие системы позволяют объединять в себе тысячи вычислительных узлов и используют другие модели и технологии распараллеливания.

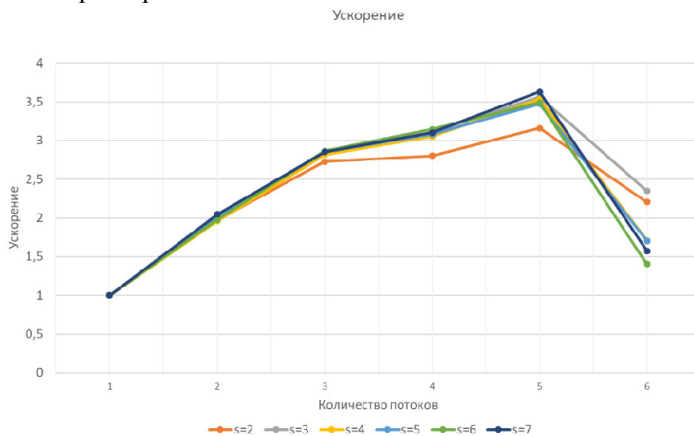


Рис. 1. Ускорение алгоритма

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Samacho E.F. and Bordons C.** Model Predictive Control. – 2nd ed. – London: Springer-Verlag, 2004. – 405 p.
2. **Сотникова М.В.** Вопросы устойчивости движений в системах управления с прогнозирующими моделями // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 1. С. 72–79.

3. **Орловский И.А.** Использование нейроконтроллера с прогнозированием для управления электромеханическим объектом // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Електротехніка і енергетика. 2013. № 1 (14). С. 200–205.

4. **Борисов А.Н., Борисова М.А.** Моделирование управляемого движения подводного аппарата с параллельной бортовой вычислительной средой // Сборник трудов конференции «Транспорт России. Проблемы и перспективы – 2017». 2017. С. 457–460.

5. **Борисов А.Н., Борисова М.А.** Моделирование интеллектуальной системы управления в параллельной вычислительной среде // Материалы Всероссийской научно–практической конференции "ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ", 30–31 мая 2018 года: Материалы конференции. – СПб, 2018. – с. 228–231.

6. **Савин А.Н.** Параллельный вариант алгоритма условной оптимизации комплексным методом Бокса // Известия Саратовского университета. Серия – Математика. Механика. Информатика. 2012. Т. 12. Вып. 3. С. 109–117.

УДК 004.896

## **НЕЙРОСЕТЕВОЕ ПРОГНОЗНОЕ УПРАВЛЕНИЕ С ПРЕДСКАЗАНИЕМ АВТОНОМНЫМ ПОДВОДНЫМ АППАРАТОМ**

**Борисов А.Н., Борисова М.А.**

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,  
Лоцманская ул., д. 3, 190121, г. Санкт-Петербург,  
8(951)67445-59, bor\_fond93@mail.ru*

В статье рассматривается метод нейруправления с предсказанием автономным необитаемым подводным аппаратом. Производится сравнение таких систем с ПИД-регулятором. Приведены результаты компьютерного моделирования в среде MATLAB.

The article discusses the method of neuromanagement with prediction of an autonomous uninhabited submersible. A comparison of such systems with the PID controller is made. The results of computer simulation in the MATLAB environment are given.

Гидролокационные исследования дна водоемов являются традиционной областью деятельности технического направления ИО РАН. В Институте имеется полная оригинальная технология гидролокации бокового обзора и высокочастотного акустического профилирования.

В настоящее время к методам интеллектуального управления относят много подходов: от реализации традиционных законов управления посредством нейронных сетей до продвинутых систем с возможностями создания цели управления, адаптивного управления, системы с использованием методов обучения, адаптации, генетических алгоритмов, и т.д. [2]. В литературе описаны многочисленные примеры практического применения интеллектуальных методов для решения задач управления подводными аппаратами [3, 4], автомобилями [5], квадрокоптерами [6].

Одним из передовых направлений развития интеллектуального управления является построение систем, использующих нейросетевое управление (нейроуправление). В настоящее время разработаны различные методы нейроуправления, к которым относятся [1]: подражающее, инверсное, прогнозирующее, многомодульное, гибридное и вспомогательное. Достаточно часто для управления динамическими транспортными объектами применяют прогнозирующее нейроуправление.

### **Метод прогнозирующего нейроуправления**

Обобщённое управление с прогнозированием (Generalized Predictive Control (GPC)) относится к классу цифровых методов [7]. Выбор алгоритма минимизации влияет на его вычислительную эффективность. Нейронный GPC (NGPC) алгоритм в режиме реального времени осуществлять сложно, из-за необходимости выполнения большого числа расчётов за короткий промежуток времени.

Схема нейроуправления с прогнозированием (NGPC) на основе модели состоит из объекта управления, прямого нейроэмулятора объекта и оптимизационного модуля. Прямой нейроэмулятор используется для прогнозирования будущего поведения системы и вычисления ошибок. При прогнозирующем нейроуправлении минимизируется критерий качества управления – функционал стоимости интегральной ошибки.

Оптимизационный модуль получает на такте целевую траекторию на  $L$  тактов вперед. Далее, для выбора оптимального управляющего воздействия, вычисления происходят во внутреннем цикле системы нейроуправления. За время одного такта управления оптимизационный модуль подает на вход нейроэмулятора серию различных воздействий  $\hat{u}(k+t, j)$  и получает различные варианты поведения системы, вычисляя для них функцию стоимости  $Q(k)$ . Таким образом, вычисляется наилуч-

шая стратегия управления объектом на данном такте, на его вход подается первый управляющий сигнал, и стратегия пересчитывается заново.

### Моделирование прогнозирующего нейруправления в системе MATLAB

В системе Matlab в пакете прикладных программ Neural Network Toolbox реализован для применения контроллер с предсказанием.

Проводилось моделирование системы уравнений (1), которая описывает динамику движения надводного транспортного средства. Задача управления – выйти на заданный курс. Целью моделирования было сравнение качества переходных процессов обычного ПИД-регулятора и нейроконтроллера с предсказанием. Результаты моделирования приведены на рис. 1. В левой половине показан график переходного процесса для ПИД-регулятора, в правой половине – с использованием нейроконтроллера.

$$\begin{aligned} \frac{d\beta}{dt} &= a_{11}\beta + a_{12}\omega_y + b_1\delta_u \\ \frac{d\omega_y}{dt} &= a_{21}\beta + a_{22}\omega_y + b_2\delta_u \\ \frac{d\psi}{dt} &= \omega_y \end{aligned} \quad (1)$$

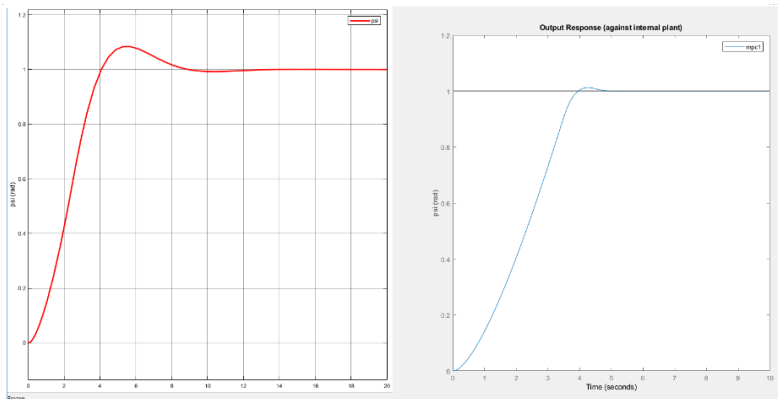


Рис. 1. Выход на заданный курс с использованием ПИД-регулятора и прогнозного нейруправления

Как видно из графиков, использование метода прогнозного нейруправления позволило сократить время выхода на заданный курс почти в два раза. Однако в обоих случаях мы сталкиваемся с перерегулирова-

нием. Дальнейшее направление исследований может быть связано с выбором подходящей функции оптимизации и использовании приемов параллельного программирования для ускорения процессов вычисления управляющих сигналов.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Чернодуб А. Н.** Обзор методов нейроуправления / А. Н. Чернодуб, Д. А. Дзюба. // Проблемы программирования. – 2011 – № 2 – С. 79-94.

2. **Степанов М.Ф.** Автоматизированная среда математического моделирования процессов управления нестационарными нелинейными объектами интеллектуальными самоорганизующимися системами управления / Степанов М.Ф., Степанов А.М., Михайлова Л.С. и др. // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 6. С. 8–14.

3. **Снек Ю.Л., Малыгин Г.И.** Математическое моделирование движения подводного робота на основе нечёткой логики // Технологии безопасной среды. 2012. № 4 (44). С. 14.

4. **Снек Ю.Л., Сакович С.Ю., Яковлева М.В.** Управление подводным роботом по видеоданным на основе нейросетевого подхода // Морской вестник. 2013. № 4 (48). С. 73-75.

5. **Mashadi B., Emadi S.A.M.** Dual-Mode Power-Split Transmission for Hybrid Electric Vehicles // IEEE transactions on vehicular technology, vol. 59, no. 7, september 2010, p. 3223-3232.

6. **Karl E. Wenzel Andreas M., Andreas Z.** Visual Tracking and Following of a Quadrocopter by another Quadrocopter // 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, October 7-12, 2012. Vilamoura, Algarve, Portugal. p. 4993-4998.

7. **Орловский И.А.** Использование нейроконтроллера с прогнозированием для управления электромеханическим объектом // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Електротехніка і енергетика. 2013. № 1 (14). С. 200-205.

## СТУДЕНЧЕСКИЙ КОНКУРСНЫЙ ГИБРИДНЫЙ НЕОБИТАЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ «КУСТО II»

Плотников В.А.<sup>1</sup>, Каменев Я.М.<sup>1</sup>, Литик И.Ю.<sup>1</sup>, Борзенков М.А.<sup>1</sup>,  
Тиняков К.А.<sup>1</sup>, Ахтямов Т.Р.<sup>1</sup>, Семенюк И.С.<sup>2</sup>, Солодихина А.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, 105005, 8(499) 263-63-91, bauman@bmstu.ru,

<sup>2</sup> Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,

<sup>3</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20, 101000, 8(499) 771-32-32, hse@hse.ru

В работе представлено описание робототехнического комплекса «Кусто II», разработанного студентами в учебно-научном молодежном центре «Гидронавтика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Комплекс предназначен для участия в международных соревнованиях по подводной робототехнике.

The paper presents the description of the robotic complex «Cousteau II» developed by students in the educational and scientific youth center "Hydronautics" of Bauman Moscow State Technical University. The complex is designed for participating in international competitions of underwater robotics.

### Введение

В настоящее время необитаемые подводные аппараты (НПА) позволяют выполнять комплекс задач с использованием широчайшего спектра технических средств. Использование НПА снижает стоимость проведения подводных инженерных работ [1] и существенно повышает их эффективность. Для некоторых задач требуются НПА сразу двух типов – телеуправляемые и автономные. Поэтому сегодня становятся все более востребованы гибридные НПА – аппараты, способные работать как в телеуправляемом, так и в автономном режимах работы [2].

Студентами учебно-научного молодежного центра «Гидронавтика» в МГТУ им. Н.Э.Баумана был разработан гибридный НПА «Кусто II» с

целью участия в соревнованиях как по телеуправляемой, так и по автономной подводной робототехнике. Аппарат входит в состав робототехнического комплекса, который включает в себя надводный модуль управления, кабель–трос нейтральной плавучести, сам НПА и дополнительное навесное оборудование[3].

### Надводный модуль управления

Надводный модуль управления представляет собой ударопрочный кейс (рис. 1а) со смонтированной в нем аппаратурой питания и управления НПА, аппаратурой вывода телеметрии и видеоинформации.

Видеоизображение с камер подводного аппарата выводится на нижний монитор. Интерфейс оператора (рис. 1б) отображается на втором выдвигающемся экране и показывает состояние оборудования НПА и информацию с датчиков.



Рис. 1. Надводный модуль управления:  
а – ударопрочный кейс, б – интерфейс оператора

### Гибридный НПА «Кусто II»

НПА «Кусто II» (рис. 2а) спроектирован с упором на минимизацию габаритов.

Рама аппарата представляет модульную конструкцию. Она выполнена из листового полипропилена и в разобранном состоянии занимает минимум пространства.

Двигательный комплекс аппарата состоит из 8-ми винтомоторных агрегатов BlueRobotics T200 бесколлекторного типа с прочным корпусом (рис. 2б), в котором располагается драйвер собственной разработки. Векторная система расположения двигателей позволяет аппарату перемещаться по всем 6-ти степеням свободы.

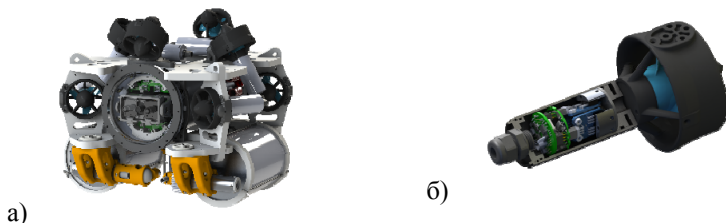


Рис. 2а – НПА «Кусто II», 2б – интерфейс оператора



Рис. 3а – главный прочный корпус НПА «Кусто II», 3б – наклонное устройство с видеокамерами

Главный прочный корпус (рис. 3а) вмещает в себя всю управляющую электронику НПА. Главной особенностью является максимально удобная для обслуживания конструкция: вся электроника расположена на выдвигающейся раме. На материнской плате установлен мощный одноплатный компьютер Nvidia Jetson TX2, благодаря которому выполняется реализация алгоритмов автономной работы аппарата. Прозрачный акриловый купол обеспечивает максимальный угол обзора для видеокамер, расположенных на наклонном устройстве (рис. 3б).

Система технического зрения предусматривает установку до 7 видеокамер разных типов. На наклонном устройстве расположена 1 аналоговая (для режима телеуправляемого управления) и 2 цифровых видеокамеры (для режима автономного управления). Под дном аппарата расположена третья цифровая камера. Она используется для определения местоположения аппарата в плавательном бассейне по количеству пройденных им плиток.

Для определения угловой ориентации аппарата и реализации системы стабилизации НПА «Кусто II» по курсу, крену и дифференту, используется датчик CN Robotics UM6. Датчик измеряет значения углов ориентации, угловые скорости и ускорения по осям X, Y, Z, кватернионы, имеет встроенную цифровую реализацию расширенного фильтра



Калмана. Для определения глубины погружения НПА «Кусто II» и стабилизации по глубине используется промышленный датчик давления WIKA S-10.

В автономном режиме аппарат способен выходить в точку, двигаться относительно протяженных объектов и выполнять поиск заданных объектов в реальном времени. Питание аппарата в данном режиме работы осуществляется при помощи Li-Po аккумуляторов, расположенных внутри прочных корпусов.

В телеуправляемом режиме питание и связь с береговым модулем осуществляется при помощи кабель-троса нейтральной плавучести.

Конструкция НПА «Кусто II» позволяет размещать на нем различное дополнительное навесное оборудование: манипулятор, устройство для забора образца грунта, механизмы сброса и забора маркера, дополнительные видеокамеры, светильники и др.

### **Заключение**

Сочетание таких характеристик аппарата, как работа в двух режимах, телеуправляемом и автономном, и, адаптируемая к задаче, функциональность позволяет команде УНМЦ «Гидронавтика» в одном учебном году принять участие сразу в двух международных соревнованиях, по телеуправляемой и по автономной робототехнике, не проектируя отдельный аппарат под каждый конкурс.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Automating ROV Operations in aid of the Oil & Gas Offshore Industry **Ji-Hong LiMun-Jik Lee и др.** Development of P-SURO II Hybrid Autonomous Underwater Vehicle and its Experimental Studies. Journal of Institute of Control. Volume 19. Issue 9. 2013. с. 813–821.

2. **Солодихина А.А., Боннет Я.В., Семенюк И.С., Литик И.Ю., Каменев Я.М., Борзенков М.А., Плотников В.А.** Автоматизация сбора экологических данных и поиск габаритного мусора и затонувшей техники гибридным необитаемым подводным аппаратом // В сборнике: Байкал 2018 Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2018. С. 223–228.

## **РАЗРАБОТКА ПЯТИСТЕПЕННОГО МАНИПУЛЯЦИОННОГО КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ**

**Зубков С. Н.**

*Гидробот, 115184 Озерковская наб., д. 26, стр. 1,  
Москва, +7 495 777 3849, seregan1992@mail.ru*

Представлены конструкторско-технологические решения по созданию электрогидравлического манипуляционного комплекса с пятью степенями свободы и неограниченным вращением замыкающего звена.

Conference paper presents design and technological solutions for creation compact electrohydraulic manipulation complex. Complex has five degrees of freedom and unlimited rotation of the last link.

На сегодняшний день мировой рынок манипуляционных комплексов стремительно развивается в сторону увеличения технологичности конструкций, уменьшения габаритов без потерь для работоспособности, применения новых материалов, использования датчиков обратной связи и других современных технологических решений [1]. Огромный спектр подводных работ, независимо от типа подводного аппарата (необитаемый автономный, обитаемый телеуправляемый, обитаемый) выполняется при помощи манипуляционных комплексов [2], к которым выдвигается ряд технических требований, растущих с каждым годом, таких как:

- точность позиционирования конечного звена,
- обширная рабочая зона,
- надежность конструкции,
- удобство управления,
- наличие автоматических режимов (для смены рабочего органа),
- высокая скорость работы манипуляционного комплекса.

Учитывая вышеупомянутые требования, с учетом решений, изложенных в [3], был проведен анализ наиболее часто используемых моделей манипуляционных комплексов таких разработчиков, как Hydro-Lek, ECA GROUP, Inuktun, Ocean Innovation и TitanRob, используемых для

аппаратов осмотрового класса и сформулированы требования к манипуляторам подводных аппаратов:

- манипуляционный комплекс должен иметь удобные органы управления для эффективного выполнения работ,
- габариты и вес комплекса не должны сказываться на гидродинамических характеристиках подводного аппарата осмотрового класса,
- для расширения спектра выполняемых работ конечная степень манипулятора должна иметь неограниченное вращение,
- рабочие органы манипулятора должны развивать достаточные усилия для выполнения требуемого спектра подводных работ.

Учитывая сделанные выводы, был разработан манипуляционный комплекс, удовлетворяющий современным требованиям проведения подводных работ. Использование гидравлического привода основных звеньев обосновано следующим:

- возможность компоновки элементов системы (манипулятор, клапанная коробка, насосная станция) в соответствии с конструкцией подводного аппарата. Это особенно важно для телеуправляемых подводных аппаратов осмотрового класса, которые имеют существенные ограничения по габаритам и возможностям размещения дополнительного оборудования;
- рука манипулятора компактна и имеет малую массу. Это повышает устойчивость подводного аппарата и позволяет упростить проведение подводных работ;
- использование гидравлической системы позволяет достичь существенных преимуществ в силовых операциях при сохранении небольших размеров исполнительного органа.

Характеристики манипуляционного комплекса представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики манипуляционного комплекса

Количество степеней свободы	5
Грузоподъемность	>200 Н
Потребляемая мощность	400 Вт
Рабочая глубина	до 1000 м
Рабочее давление	100 Бар
Момент вращения схвата	до 7 Н·м
Интерфейс управления	RS 485
Длина манипулятора	550 мм
Масса на воздухе	4,06 кг
Масса в воде	1,58 кг

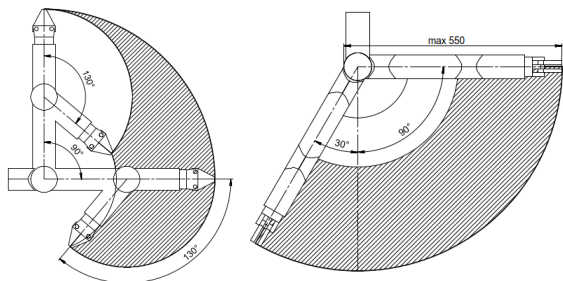


Рис. 1. Рабочие зоны манипулятора

На рис. 1 представлены рабочие зоны манипулятора. В конструкции используются полимерные композиционные материалы на основе углеволокна, что позволило уменьшить массу манипулятора до 4,06 килограмма на воздухе, сохранив прочность и жесткость конструкции. Неограниченное вращение конечного звена обеспечивалось путём использования малогабаритного электромотора, а необходимый момент при помощи волнового редуктора в конечном звене (7 Н·м). В конструкцию комплекса заложена возможность управления манипулятором по конечной точке. В каждое звено были встроены датчики измерения угла, благодаря которым имеется возможность интегрирования системы управления по конечной точке. На основе опыта, полученного при проектировании предыдущих продуктов, а также благодаря использованию современных подходов к разработке были обеспечены наиболее целесообразные габариты манипулятора для аппаратов осмотрового класса. 3D модель и макет манипулятора представлена рис. 2.



Рис. 2. 3D модель и макет разработанного манипулятора

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Данилов А.В., Кропотов А.Н.** Анализ параметров манипулятора для технологических операций под водой. Материалы XV всероссийской научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2017)». М.: 2017. с.216–220.
2. **Зенкевич С. Л., Ющенко А. С.** Основы управления манипуляционными роботами / Зенкевич С. Л., Ющенко А. С. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 478 с.: ил. – Библиогр.: с. 465–468. ISBN 5-7038-2567-9.
3. **Алексеев А.В., Оленин А.Л., Смирнов Г.В., Фендриков А.Н.** Манипуляционно-технологический комплекс обитаемого подводного аппарата // Вестник самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. 2012. №2(33). с.133–141.

УДК 629.369

## ПОДВОДНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ШАГАЮЩЕГО АППАРАТА МАК-1 НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

**Чернышев В.В.**

*Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ),  
пр-т им. Ленина, 28, 400005 г. Волгоград, 8(8442)24-80-99,  
vad.chernyshev@mail.ru*

Обсуждаются результаты подводных испытаний 6-ти ногого шагающего аппарата МАК-1 на озере Байкал. Рассмотрены некоторые специфические особенности динамики управляемого движения глубоководных шагающих робототехнических систем.

The results of underwater tests of hexapod МАК-1 on Baikal lake are discussed. Some specific features of dynamics of underwater walking robotic systems controllable movement are reviewed.

Шагающие машины и роботы передвигающиеся по дну при проведении грунтовых работ (равнение площадок на дне, отмыв траншей для закладки в них трубопроводов и кабелей, закрытие их грунтом, разра-

ботка подводных месторождений твердых полезных ископаемых и др.) имеют ряд существенных преимуществ в сравнении с плавающими аппаратами и традиционными колесными и гусеничными машинами [1].

В докладе обсуждаются результаты подводных испытаний шагающего аппарата МАК-1 проведенных на озере Байкал. Основная задача подводных испытаний — исследование особенностей динамики управляемого движения подводных шагающих роботов передвигающихся по дну и отработка методов взаимодействия подводных шагающих роботов с человеком-оператором. Байкал выбран для проведения подводных испытаний по следующим причинам. Благодаря чистоте воды хорошая видимость под водой сохраняется на достаточно больших глубинах. Хорошо изучен рельеф дна озера и имеются значительные глубины в непосредственной близости от берега, что позволяет проводить большинство испытаний без привлечения специализированных плавсредств. Имеется несколько подводно-технических центров, которые можно привлечь для обеспечения технической поддержки и безопасности подводных работ.

Подводные исследования осуществлялись на базе подводного шагающего аппарата МАК-1 [2]. Аппарат разработан в ВолгГТУ для отработки методов управления движением подводных шагающих робототехнических систем и оптимизации на стадии проектирования параметров их механизмов шагания. Конструктивно МАК-1 (рис. 1) включает в себя шагающие опоры (шагающие модули) правого и левого борта, соединенные рамой. Рама аппарата сменная — она может меняться в зависимости от типа используемого навесного оборудования. Шагающие опоры выполнены в виде несущих балок, на которых установлены шагающие движители циклового типа и бортовой силовой электропривод. Силовой электропривод выполнен на базе асинхронных электродвигателей с частотным регулированием скорости вращения. Максимальная скорость аппарата, в зависимости от условий движения, составляет 3–5 км/ч. Длина шага 0,8–1,2 м. Питание аппарата осуществляется по кабелю от внешнего автономного источника электропитания или от бытовой электросети. Управление также осуществляется по кабелю по видеоинформации поступающей с бортовых цветных видеокамер с инфракрасной подсветкой. Робот при габаритах 1,8×1,8×0,9 м весит около 200 кг. Модульный принцип построения робота позволяет его разбирать на части и легко транспортировать на большие расстояния. Для сборки и разборки аппарата достаточно 2-х человек. На малых глубинах аппарат МАК-1 уже был успешно испытан в Кандалакшском заливе Белого моря [3].

Необходимо отметить, что пока проводились только подводные испытания шагающих аппаратов имеющих плавучесть близкую к нулевой,

например, испытания шагающего робота Crabster 6000 (Южная Корея) [4]. Такие подводные аппараты не имеют сцепного веса и их тяговые свойства невелики. В отличие от них аппарат МАК-1 имеет существенную отрицательную плавучесть и специально предназначен для реализации тяговых усилий в подводных условиях.

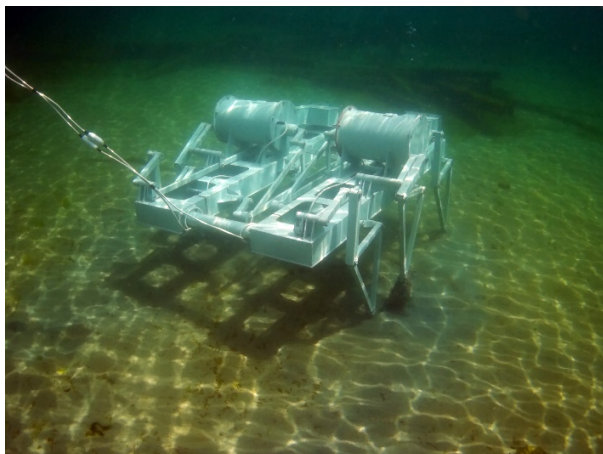


Рис. 1. Подводный шагающий аппарат МАК-1

В ходе испытаний исследовалась динамика маршевых режимов движения шагающего аппарата на различных подводных грунтах. Варьировалась походка, параметры шага и скорость передвижения. Для исследования динамики шагающего робота использовался адаптированный к подводным условиям метод, основанный на видеосъемке процесса движения аппарата с последующей покадровой обработкой видеозаписи на ЭВМ [3]. Проведено исследование динамики взаимодействия движителя шагающего робота с препятствиями с заранее не определенными параметрами. Препятствия преодолевались как в маршевом режиме, так и в режиме специального маневрирования. В последнем случае управление осуществлялось в ручном режиме — параметры шага корректировались оператором. Осуществлялась отработка методов определения характеристик рабочего пространства на основе комплексирования разнородной информации поступающей с сенсоров подводного шагающего аппарата. Определенное внимание уделено формированию типовых команд ручного управления, направленных на обеспечение эффективного согласованного управления ногами при маневрировании и преодолении

препятствий, включая набор гностических движений ног робота. Также исследовалось влияние на маневренность, устойчивость к опрокидыванию и курсовую устойчивость подводного шагающего робота кабеля электропитания значительной длины.

В ходе испытаний были выявлены некоторые особенности динамики шагающего аппарата обусловленные подводными условиями. Робот под водой двигался более плавно и быстрее чем на суше. Это объясняется тем, что вода сглаживает нежелательные виброударные динамические явления, характерные для шагающих машин с движителями циклового типа. Поэтому при синтезе механизмов шагания для подводных роботов можно допускать некоторую несогласованность скоростей и ускорений опорных точек движителя при смене стоп находящихся в опорной фазе.

В роботе МАК-1, с целью повышения маневренности и снижения момента сопротивления повороту, использована шестиногая схема движителя с побортным последовательным размещением ног и независимыми приводами ног правого и левого борта. Такая схема позволяет реализовать поворот с малыми радиусами на любых грунтах [5]. Вместе с тем, при такой схеме размещения ног возможны ситуации, когда аппарат будет в опоре только на две точки — на средние ноги. Это не обеспечивает статической устойчивости аппарата. Однако, как показали проведенные испытания, и в этом случае имеет место динамически устойчивая ходьба. Более того, в маршевых режимах наблюдалось стремление механизмов шагания правого и левого борта, имеющих независимые электропривода, к самосинхронизации движений. Такая самоорганизация ног шагающего привода может быть использована для реализации режимов движения, осуществляемых без внешних управляющих воздействий.

Результаты испытаний предполагается использовать при разработке методов оптимизационного синтеза механизмов шагания для глубоководных шагающих робототехнических систем различного назначения, включая добычные роботы «тяжелой» весовой категории. Такие робототехнические системы находят применение при внедрении новых промышленных технологий освоения ресурсов морского дна.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-01109-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. **Чернышев В. В.** МАК-1 — подводный шагающий робот / В. В. Чернышев, В. В. Арыканцев // Робототехника и техническая кибернетика. 2015. № 2. С. 45-50.

3. **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.

4. Crabster CR6000 Sea trial at 4,743 m seafloor of Pacific Ocean [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=rr1gr18e-4>. – Загл. с экрана.

5. **Чернышев В.В.** Поворот шагающих машин с двигателями на базе цикловых механизмов // Теория механизмов и машин. 2007. Т.5. №2. С. 72–84.

УДК 551.46. 077

## **КОМПЛЕКСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Москва, Нахимовский пр-кт, д. 36, тел.(495)719-03-70e-mail: nba1940@yandex.ru*

Специфика проведения подводных работ требует комплексного использования дистанционных средств обнаружения (гидроакустических, магнитометрических, гидрооптических) для обеспечения эффективного обнаружения и идентификации подводных объектов

The specificity of underwater operations requires the integrated use of remote sensing devices (hydroacoustic, magnetometric, hydro-optical) to ensure effective detection and identification of underwater objects.

1. Комплексование активных (гидроакустических) и пассивных (магнитометрических) поисковых систем в зависимости от океанологической обстановки в районе проведения подводных работ, позволяет избавиться от (присущих каждому из них) принципиальных ограниче-

ний и повысить эффективность использования систем подводного наблюдения.

При этом особое значение придается телевизионным средствам (ТВС) идентификации обнаруженного объекта (табл.1).

Таблица 1. Структура комплексного информационного поля придонного пространства

Данные технических средств подводного наблюдения		
Гидроакустического	Магнитометрического	Гидрооптического
Гидролокатор бокового обзора	Магнитометр	ТВС подводного микроаппарата
Гидроакустический профилограф	Магнитоградиентометр	Опускаемые ТВС

2. Информационное поле придонного пространства по данным гидроакустических станций

Как правило, в качестве средств обнаружения подводных объектов используются низкочастотные гидролокаторы. Однако, они крайне не эффективны при поиске подводных объектов (ПО) в условиях естественной маскировки (илистый грунт, донная флора, складки рельефа дна).

3. Низкочастотные (70-240 кГц) гидролокаторы бокового обзора (ГБО), предназначенные для исследования дна акваторий и поиска ПО способны решать задачи освещения подводной обстановки в режиме секторного и бокового обзора [1].

4. Однако на работу ГБО оказывают влияние маскирующие и искажающие акустические помехи, рефракции и реверберации звука, вызываемые вертикальной пространственно-временной изменчивостью региональных океанологических процессов.

5. Отметим, что дальность действия ГБО повышается с понижением рабочей частоты, что, в свою очередь, приводит к увеличению массогабаритных характеристик.

6. Серьезным ограничением использования ГБО являются также реверберационные помехи, вызываемые отражениями и рассеяниями исходного звука от дна, а также от неоднородностей придонной среды и наблюдаемые в условиях шельфового мелководья.

7. Все перечисленные выше гидрофизические факторы, влияющие на эффективность использования ГБО при проведении поисковых работ на мелководье и во внутренних водоемах, значительно ограничивают дальность их действия.

8. Информационное поле придонного пространства по данным магнитометрических средств поиска подводных объектов.

Морские магнитометрические средства (ММС) успешно применяются при поиске подводных объектов в акваториях со сложной гидрологией и резким снижением эффективности ГБО (на мелководье, в условиях естественной маскировки – илистый грунт, донная флора, складки рельефа дна).

К уникальным достоинствам ММС можно отнести возможность обнаружения ферромагнитных подводных объектов в любых погодных условиях и средах – атмосфере, воде, земле, а также границах раздела сред – под водой, подо льдом, и, даже, в донном грунте.

При этом дальность действия магнитометрических средств не является постоянной при обнаружении различных образцов ВГ и определяется магнитными характеристиками объекта (величиной магнитного момента, зависящего от ферромагнитной массы ПО), расстоянием до него и чувствительностью датчика магнитного поля [2].

9. Информационное поле ПО, синтезируемое по данным ТВС.

Отметим, что конечной целью мониторинга акватории, с предполагаемым наличием подводных потенциально опасных объектов (ППОО), является не только поиск, но и их идентификация.

10. Как правило, визуальный осмотр обнаруженного ПО проводится с использованием телевизионных (черно-белых и цветных) камер телеуправляемого подводного микроаппарата (ПМА), оборудованного средствами допоиска (высокочастотным гидролокатором или бортовым ММС), а также камерой видеонаблюдения, используемой на этапе идентификации подводного объекта (рис. 1).

11. Эта традиционная функция ПМА может использоваться при инспекции подводной части инженерных гидросооружений (упоров мостов, причалов, коллекторов и трубопроводов), а также днищ кораблей и судов.

Таким образом, комплексное использование средств подводного наблюдения (ГАС, ММС), на этапе поиска, обнаружения и пеленгации ПО с подводным микроаппаратом, оснащенным средствами допоиска (бортовыми магнитометром или высокочастотным гидролокатором) для идентификации с помощью видеокамеры является перспективным направлением развития систем мониторинга акватории.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2019-0011) при поддержке экспедиционных исследований РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а» и проект №18-05-60070 «Арктика»).



Рис. 1. Пример идентификации обнаруженного объекта видеокамерой подводного аппарата

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Римский–Корсаков Н.А. и др.** Итоговый отчет по государственному контракту № 2/2 ПРСН от 22.05. 2009 «Мониторинг состояния подводных объектов в Черном море» //М., 2009, 183 л.

2. **Нересов Б.А.** Морские магнитометрические системы поиска и контроля. \\ФГБНУ «Аналитический центр» М., 2012 – 165 л.

УДК 629.584

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Аладышева Е.И., Вельтищев В.В.**

*ФГБОУ высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский институт)»*

*105005, Москва, 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, 8 (499) 263-61-15  
sm42@sm.bmstu.ru*

В данной статье приводится краткое описание и сравнение существующих гибридных подводных робототехнических

комплексов (ПРК) и рассматриваются различные варианты использования ПРК, состоящего из автономного и телеуправляемого аппаратов, с описанием и характеристикой возможных режимов работы.

The report presents a short description and comparison of existing hybrid underwater robotic systems and demonstrates possible applications of hybrid underwater robotic system, consisting of an autonomous underwater vehicle and a remote operated vehicle.

В настоящее время при проведении различных океанологических исследований широко используются автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) и телеуправляемые подводные аппараты (ТПА) [1]. Однако каждому из данных типов аппаратов присущ ряд недостатков, ограничивающих его применение и позволяющих решать только задачи узкого профиля.

В докладе рассматриваются возможности использования гибридного подводного робототехнического комплекса (ПРК), сочетающих в себе достоинства АНПА и ТПА. Авторы доклада проводят сравнение существующих ПРК, наиболее близких к описываемому, например [2, 3, 5]:

Swimmer (Cybernetix Group);

Dorado (International Submarine Engineering);

AN/WLD-1 (Lockheed Martin).

Внешний вид данных аппаратов представлен на рисунках 1–3.

В докладе рассматривается возможность применения многофункционального двухзвенного ПРК, состоящего из ТПА и АНПА, который заменяет для ТПА судно-носитель. Также АНПА предлагается выпускаемым буем со встроенным приёмо-передатчиком, который позволяет осуществлять управление комплексом в режиме реального времени.

Все варианты режимов работы двухзвенного ПРК могут быть разделены на два типа:

– режимы телеуправления, в которых работа комплекса происходит под контролем оператора;

– режимы автономного движения, в которых комплекс функционирует согласно заданной программе.

В каждом из рассмотренных случаев движения ПРК может быть использован в различных подрежимах, таких как: стыковка, буксировка, совместное движение и другие. В докладе дана краткая характеристика подрежимов и приведены возможные варианты их практического применения.

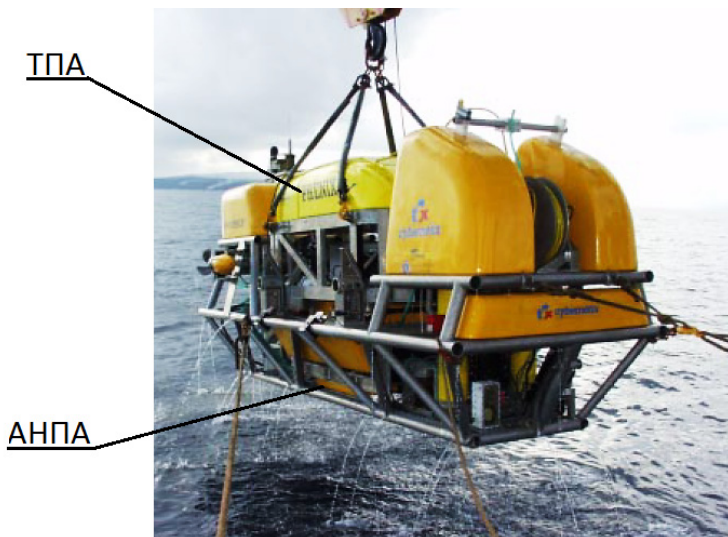


Рис. 1. Внешний вид Swimmer



Рис. 2. Внешний вид Dorado

Использование двухзвенного ПРК, состоящего из АНПА и ТПА, имеет следующие преимущества:

- применение принципиально новых режимов движения, обусловленных составом комплекса и позволяющих повысить эффективность проводимых исследований;

– возможность использования в традиционных для АНПА и ТПА режимах одного комплекса, а не отдельных аппаратов. При этом переключение между режимами может быть осуществлено неоднократно во время погружения, что позволит существенно увеличить эффективность применения комплекса [4].

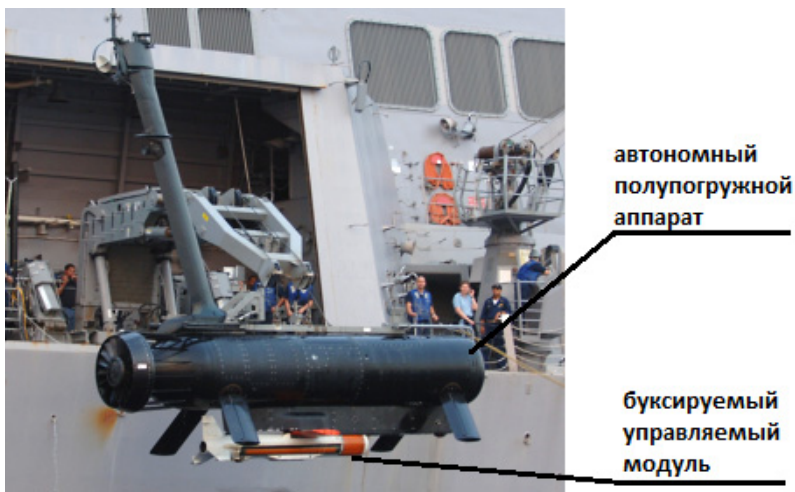


Рис. 3. Внешний вид AN/WLD-1

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Бочаров Л. Ю.** Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития, часть 2 / Л. Ю. Бочаров // *Электроника: наука, технология, бизнес.* – 2009. – № 8. – С. 88-93.

2. **Chardard Y., Copros T.** Swimmer: final sea demonstration of this innovative hybrid AUV/ROV system, Proceedings of the 2002 International Symposium on Underwater Technology. Tokyo, Japan, April, 2002, pp. 17–23.

3. **Larkin L.J., Thomsen C.J.** Simulation validation for an unmanned semi-submersible vehicle, *Oceans 2003: Celebrating the Past... Teaming Toward the Future*, 2003, September 22- September 26, pp. 1431-1436.

4. **Xiang X., Niu Z., Lapierre L., Zuo M.** Hybrid underwater robotic vehicles: the state-of-the-art-and future, *HKIE Transactions.* – 2015. – Vol. 22, № 2. – P. 103-116.

5. ISE DORADO [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ise.bc.ca/dorado.html> (дата обращения: 22.10.2017).

## **МОДЕЛЬ ДЛИННОМЕРНОГО КАБЕЛЯ В ТРЕНАЖЕРЕ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА**

**Гамазов Н.И., Новиков В.И.**

*ФГБОУ 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*

В докладе рассматривается модель длинномерного кабеля, представленная в виде двух независимых задач. Получены условия стыковки этих задач, замыкающие модель и позволяющие использовать ее в программном пакете Blender Game Engine для разработки тренажера подводного аппарата.

The report presents long cable model, which consists of two independent parts. Conditions of joining these parts together and combining them in the uniform model are considered, this allows using the model in the framework package «Blender Game Engine» for developing ROV system training complex.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана был создан тренажер для обучения и тренировки операторов телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА). Эмулятор системы ТНПА–кабель для тренажера разработан в среде программного пакета «BGE» (*Blender Game Engine*) [1, 2]. В эмуляторе кабель моделируется последовательностью жестких нерастяжимых цилиндрических стержней конечной длины и диаметра, соединенных между собой шаровыми шарнирами, для которых разрешены соударения. Исследования [3] показали, что данная модель обладает рядом ограничений, связанных с тем, что с ростом числа элементов кабеля падает частота обновления сцены при визуализации, так называемый показатель «FPS» (Frames Per Second), что неприемлемо. В общем виде решение проблемы моделирования длинномерного кабеля предложено в [1, 3]. Для участков активного маневрирования ТНПА можно использовать модель кабеля с относительно небольшим числом коротких элементов с соударениями. Для моделирования перемещения ТНПА на большие расстояния может быть применена модель кабеля из длин-



ных и тонких элементов с отключенными соударениями. Эти задачи должны выполняться параллельно в виде двух независимых приложений «BGE» – на одном компьютере с многоядерным процессором с разделением задач по ядрам, или на двух компьютерах, – в обоих случаях без потери «FPS». Стыковка задач друг с другом может быть реализована с помощью обмена данными, например, по UDP протоколу.

Получим условия стыковки. Пусть ТНПА движется в направлении от носителя к целевому объекту, кабельная лебедка, расположенная на носителе, выполняет травление кабеля. В тренажерной модели этому соответствует циклический алгоритм создания новых элементов кабеля из порождающего элемента «Root», с частотой, определяемой скоростью травления [3]. Для «короткомерной» задачи – кабель с короткими элементами и разрешенными соударениями – предельное значение числа элементов определяется допустимым уровнем падения «FPS» и равно 100–200, в зависимости от доступных аппаратных ресурсов. То есть, при номинальной длине элемента 0,5 м может быть смоделирован участок кабеля длиной 50–100 м, непосредственно примыкающий к ТНПА, где наиболее вероятны коллизии, связанные с запутыванием кабеля.

После достижения предельного числа элементов в короткомерной задаче и при продолжении травления кабель моделируется длинными и тонкими элементами без соударений – в «длинномерной» задаче. Соответственно, при выборке кабеля последовательно уничтожаются имеющиеся элементы кабеля длинномерной задачи – вплоть до уничтожения ее последнего элемента и вырождения задачи. При продолжении выборки уничтожаются уже элементы кабеля короткомерной задачи. С учетом масштабного фактора алгоритмы создания и уничтожения элемента кабеля, описанные в [3], для обеих задач в целом аналогичны. Номинальная длина элемента кабеля длинномерной задачи определяется общей длиной моделируемого кабеля и предельным числом элементов, не превышающим 1000 для кабеля без соударений элементов [3].

Короткомерная и длинномерная задачи, суть два независимых приложения «BGE», которые функционируют в единой глобальной системе координат с общим временем. Поэтому в момент создания первого или уничтожения последнего элемента длинномерной задачи, координаты элементов «Root» этих задач должны совпадать. Далее, если создан хотя бы один элемент длинномерной задачи, глобальные координаты элемента «Root» короткомерной задачи в каждый момент времени должны совпадать с глобальными координатами «свободного» конца кабеля длинномерной задачи. Это и есть первое условие стыковки короткомерной и длинномерной задач, фактически выражающее условие физической неразрывности кабеля.

Используемое представление кабеля в виде системы стержней и шарниров является конечномерной моделью кабеля как системы с распределенными параметрами в виде гибкой нерастяжимой нити [4]. Второе условие стыковки может быть получено из принципа неразрывности энергии в точке стыковки: перемещение «свободного» конца кабеля длинномерной задачи вызывается силой, равной силе, действующей на элемент «Root» короткомерной задачи со стороны остального кабеля.

Таким образом, на каждом кванте времени – тике, в терминологии «BGE», – из длинномерной в короткомерную задачу должны передаваться глобальные координаты «свободного» конца кабеля, трактуемые в короткомерной задаче как глобальные координаты элемента «Root». Из короткомерной в длинномерную задачу на каждом тике должен передаваться вектор силы, действующей на элемент «Root» короткомерной задачи со стороны остального кабеля. В длинномерной задаче эта сила должна быть приложена к «свободному» концу кабеля, приводя к его перемещению.

Функции встроенной библиотеки «BGE» позволяют на каждом тике для любого объекта сцены определить его глобальные координаты и вектор скорости. То есть, в длинномерной задаче глобальные координаты «свободного» конца кабеля могут быть получены непосредственно. В короткомерной задаче для определения вектора силы, действующей на элемент «Root» со стороны остального кабеля, необходимо использовать систему рекуррентных уравнений движения каждого элемента кабеля:

$$\bar{F}_{seq} = \bar{F}_{pre} + \bar{F}_{gd} + \bar{F}_{arh} - m \cdot \frac{d\bar{v}}{dt}. \quad (1)$$

где  $\bar{F}_{seq}$  – сила, с которой текущий элемент кабеля действует на последующий элемент;  $\bar{F}_{pre}$  – сила, с которой предыдущий элемент кабеля действует на текущий элемент;  $\bar{F}_{gd}$ ,  $\bar{F}_{arh}$  – силы гидродинамического сопротивления и остаточной плавучести;  $m$ ,  $\frac{d\bar{v}}{dt}$  – масса и ускорение текущего элемента кабеля. Для первого элемента кабеля, непосредственно примыкающего к ТНПА, сила  $\bar{F}_{pre}$  суть сила, с которой ТНПА действует на кабель, и она может быть определена из уравнения движения ТНПА. Для остальных элементов кабеля в качестве силы  $\bar{F}_{pre}$  в уравнении (1) следует использовать проекцию на продольную ось текущего элемента силы  $\bar{F}_{seq}$ , полученной для предыдущего элемента. Сила  $\bar{F}_{gd}$  при известной скорости для каждого элемента кабеля может быть рассчитана, аналогично [3], по каноническим формулам [5]. Сила остаточ-

ной плавучести может быть принята равной нулю. Используя функции «BGE», можно определить разность скоростей текущего элемента кабеля на двух соседних тиках и вычислить ускорение, разделив эту разность на величину тика. Для каждого тика времени, выполняя цикл расчета по формуле (1) по всем элементам кабеля, можно получить искомую силу, действующую на элемент «Root» короткомерной задачи со стороны остального кабеля. Эта сила, очевидно, будет равна силе  $\bar{F}_{seq}$ , полученной из уравнения (1) для последнего элемента кабеля короткомерной задачи.

Полученные условия стыковки короткомерной и длинномерной задач фактически замыкают сформулированную выше модель длинномерного кабеля, что позволяет использовать программную реализацию этой модели в эмуляторе системы ТНПА–кабель тренажера.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Гамазов Н.И., Гамазов И.Н., Новиков В.И.** Применение программного пакета «Blender Game Engine» для разработки тренажера телеуправляемого подводного аппарата. //Материалы XV Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2017). Т. II. – М.: АИР, 2017. С. 194–197.
2. Real-Time Physics Simulation. Home of the open source Bullet Physics Library and physics discussion forums [Электронный ресурс]. URL: <http://bulletphysics.org/wordpress/>
3. **Гамазов Н.И., Новиков В.И.** Моделирование движения кабельной линии подводного аппарата в пакете *Blender Game Engine* //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 3. С. 47–64. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-3-47-64.
4. Автономные подводные роботы: системы и технологии / М.Д. Агеев, Л.В. Киселев, Ю.В. Матвиенко и др.: под общ. ред. М.Д. Агеева. – М.: Наука, 2005. – 298 с.
5. **Егоров В.И.** Подводные буксируемые системы. Л.: Судостроение, 1981. 304 с.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В МОРСКОЙ ВОДЕ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЩИТНОГО КОРПУСА**

**Белевитнев Я.И., Анисимов И.М., Лесин А.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, Yaroslav\_admin85@mail.ru*

В данном сообщении рассматриваются конструктивные особенности использования модульных светодиодных матриц в условиях работы агрессивной среды морской воды на больших глубинах для применения в телеуправляемых подводных необитаемых аппаратах (ТНПА) и автономных необитаемых аппаратах (АНПА).

This report discusses the design features of the use of modular LED arrays in the aggressive environment of sea water at great depths for use in underwater uninhabited vehicles with remote control (TNPA) and autonomous uninhabited vehicles (ANP).

Экспериментальные исследования проводились с использованием сверхъярких светодиодных модулей Epistar. Важной особенностью являются характеристики светодиодов, такие как:

- Рабочий ток, А;
- Электрическая мощность, мощность потребления, Вт;
- Яркость, кд/м<sup>2</sup>;
- Световая эффективность, лм/Вт.

Рабочий ток светодиода во многом гораздо меньше, чем при использовании обычных ламп накаливания с теми же показателями световой эффективности [3], что делает его более энергетически эффективным, особенно при использовании в АНПА, где запас емкости энергии напрямую влияет на время работы устройства.

Для упрощения конструктивных элементов подводных систем возможно применение светодиодных модулей без использования прочных корпусов, выдерживающих высокое давление воды. Исследования проводились на глубинах 2500м. Светодиодный модуль Epistar был закреплен пластиковыми хомутами к раме буксируемого необитаемого подводного аппарата [1] БНПА «ВИДЕОМОДУЛЬ» (рис. 1). Выводные

контакты были герметизированы специальной морозостойкой резиновой смесью для предотвращения попадания морской воды в токоведущие жилы проводника и возникновения короткого замыкания [4]. Светодиодный модуль был подключен к источнику питания.

Результаты исследования показали, что давление воды не повлияло на работу светодиодного модуля. Металлическая подложка модуля соприкасалась напрямую с водной средой, обеспечив тем самым отведение тепла от светодиодного модуля. Таким образом, при данной схеме использования, отпадает нужда в проектировании прочного корпуса и схемы теплового отвода через теплопроводящую пасту и радиатор.

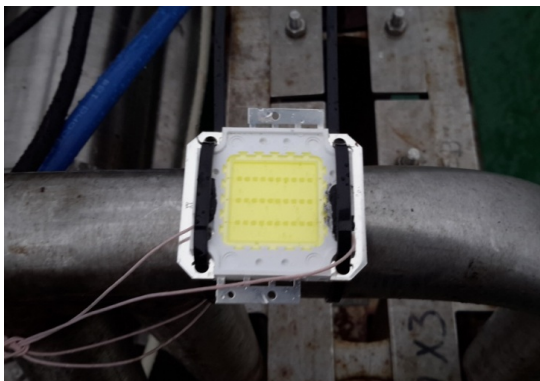


Рис. 1. Крепление светодиодного модуля Epistar к раме БНПА «ВИДЕОМОДУЛЬ»

Для продолжения исследований будет проводится следующий этап работ:

- Фокусировка пучка света с помощью линз, также с установкой в прямом соприкосновении воды.
- Погружение на глубину более 3000м.
- Применение светодиодных модулей большей электрической мощности (более 100Вт).

Задачи, решаемые с помощью данной системы, – это использование более простых систем в качестве импульсного источника освещения для фотосистем [2] подводных аппаратов, и источником заливающего света для видео систем [1]. Также возможно применение светодиодных модулей небольшой мощности в качестве системы индикации на подводных аппаратах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2019-0011) при поддержке экспедиционных исследований РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект №18-05-60070 «Арктика»).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Анисимов И.М., Белевитнев Я.И.** Буксируемый обитаемый подводный аппарат видеомодуль для обзорных и поисковых работ / Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции «МСОИ-2017». Том II. – М., 2017. ISBN Т. 2. С. 270–271.
2. **Михайлов Д.Н., Бабаев Р.А., Воронцов А.В.** Оценка возможности применения светодиодов в качестве источника импульсного света для фотосистемы подводного аппарата / Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции «МСОИ-2017». Том II. – М., 2017. ISBN Т. 2. С. 254–257.
3. **Бугров В.Е., Виноградова К.А.** Оптоэлектроника светодиодов. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 174 с.
4. **Стропцов Н.А., Груздев М.А.** Средства подводного освещения. – Л.: Судостроение, 1985. – 200 с.

УДК 629.58

### **ОПТОВОЛОКОННЫЕ ПОДВОДНЫЕ РАЗЪЕМЫ ДЛЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ**

**Белевитнев Я.И., Лежнин В.А.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, Yaroslav\_admin85@mail.ru*

Обсуждается технология использования герметичных оптоволоконных разъемов для оперативного подключения различных подводных устройств, работающих на больших глубинах.

Discusses the technology of using hermetic fiber optic connectors for the operational connection of various underwater devices operating at great depths.

Учеными и инженерами Лаборатории гидролокации дна Института океанологии РАН им. П.П.Ширшова был спроектирован и разработан буксируемый необитаемый подводный аппарат (БНПА) «ВИДЕОМОДУЛЬ» для проведения работ на глубинах до 6000 метров[1], способный передавать видео, фото, а также геофизические параметры в прямом эфире на пульт управления, а при необходимости и по спутниковому каналу в любую точку планеты. Передача данных происходит по волоконно оптическому кабель-тросу (ВОКТ) с уже имеющимся оптоволоконным гермовводом от производителя. Неудобство гермоввода заключается в отсутствии оперативного отключения БНПА «ВИДЕОМОДУЛЬ» без частичного вскрытия прочного корпуса электроники. Для решения данной задачи стала разработка оптоволоконного герметичного разъема на базе готового изделия.

Одним из таких решений стало использование готового оптического разъема (коннектора) Hyperline (Рис 1). Они производятся из высококачественных материалов в соответствии с международными стандартами [2]. Из наиболее популярного был выбран одномодовый (SM) коннектор типа FC. Для защиты коннектора от высокого давления был разработан и протестирован специальный миниатюрный корпус разъема (рис 2) способный выдерживать давление воды до 6000м. Данный разъем, возможно, использовать и в других подводных системах, которые используют в качестве передачи данных волоконно оптическую линию связи (ВОЛС).

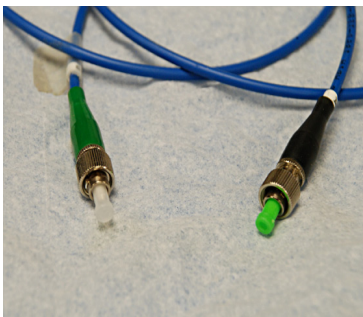


Рис 1. Коннектор Hyperline типа FC

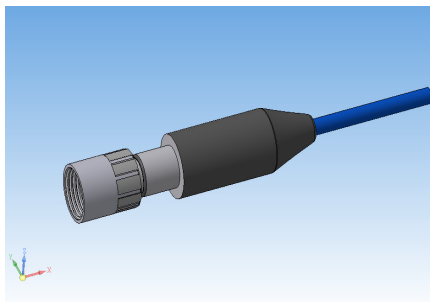


Рис 2. Трехмерная модель корпус разъема

Спроектированное решение позволяет оперативно использовать один ВОКТ с различными подводными устройствами, имеющимися в

Лаборатории Гидролокации Дна, таких, как локатор бокового обзора Мезоскан М-ОПТ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2019-0011) при поддержке экспедиционных исследований РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект №18-05-60070 «Арктика»).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Анисимов И.М., Белевитнев Я.И.** Буксируемый необитаемый подводный аппарат видеомодуль для обзорных и поисковых работ / Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции «МСОИ-2017». Том II. – М., 2017. ISBN Т. 2. С. 270–271.

2. **Бейли Д., Райт Э.** Волоконная оптика. Теория и практика М.: Кулиц-Образ, 2006. — 320 с. — ISBN 5-9579-0093-1.

УДК 551.46.08

### **ОЦЕНКА ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ИСКУССТВЕННОГО ЗАЛИВАЮЩЕГО СВЕТА ДЛЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ВИЗУАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**

**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*

В работе рассматривается использование светоизлучающих диодов в качестве источников искусственного заливающего света в составе глубоководного буксируемого аппарата, предназначенного для визуальных наблюдений естественных и техногенных объектов на дне моря. Предложен расчет, позволяющий оценить фотометрические и электрические характеристики источников света для решения задачи подводных наблюдений в режиме реального времени.

In the paper the use of light-emitting diodes as artificial light sources on deep-sea towed vehicle for visual surveillance system is discussed. We propose calculation to estimate light source pa-



rameters to perform underwater surveillance in real time with underwater towed camera.

Для маршрутных глубоководных наблюдений в ИО РАН был разработан буксируемый необитаемый подводный аппарат (БНПА) «Видеомодуль», предназначенный для осуществления наблюдения за подводными объектами в режиме реального времени с возможностью записи фото- и видеоизображений. Важным фактором для получения хорошо читаемого подводного изображения является правильный выбор конструкции и параметров источников искусственного заливающего света (ИЗС). БНПА «Видеомодуль» предназначен для работ на больших глубинах, куда не проникает естественный солнечный свет, поэтому ИЗС являются единственным источником освещения, обеспечивающим видимость в этих условиях [1].

В качестве излучающих элементов для подводных источников освещения были выбраны матричные светодиоды. Матричный светодиод представляет собой набор кристаллов, размещенных на общей подложке, залитый слоем люминофора). Большинство современных подводных аппаратов оснащены источниками освещения этого типа. Они обладают высокой светоотдачей (до 200 лм/Вт), а также конструктивно имеют более компактные размеры по сравнению с другими типами излучающих элементов, что существенно упрощает задачу проектирования герметичных корпусов для ИЗС. Основными характеристиками матричных диодов, которые были использованы при расчетах, являются номинальный световой поток источника  $\Phi_s$ , угол излучения  $\alpha_s$  и электрическая мощность источника  $P_s$ .

Основным параметром, на который следует опираться при выборе источников подводного освещения, является минимальная освещенность на сенсоре видеокамеры (чувствительность сенсора)  $E_{min}$ , при которой может сформироваться видимое изображение. Это значение связано с яркостью  $B_{CAM}$  области, видимой в кадре видеокамеры, соотношением  $E_{min} = Q_0 \cdot B_{CAM}$ , где  $Q_0$  – светосила объектива камеры [2].

Геометрическая схема расположения элементов на подводном аппарате показана на рис. 1. Источник освещения расположен под углом  $\varphi_s$  относительно вертикали так, чтобы центр освещенного участка исследуемого объекта совпадал с центром области площадью  $S_{CAM}$ , видимой в кадре. То есть оптические оси источника и камеры должны пересекаться в точке, лежащей на поверхности исследуемого объекта. В реальности эти два центра смещаются относительно друг друга, т.к. аппарат отклоняется от оптимальной высоты над дном при буксировке. Но при расчете будем считать их совпадающими. Источник освещения располо-

жен на расстоянии  $b$  от камеры высокого разрешения с целью уменьшения влияния помехи обратного рассеяния на полученное изображение.

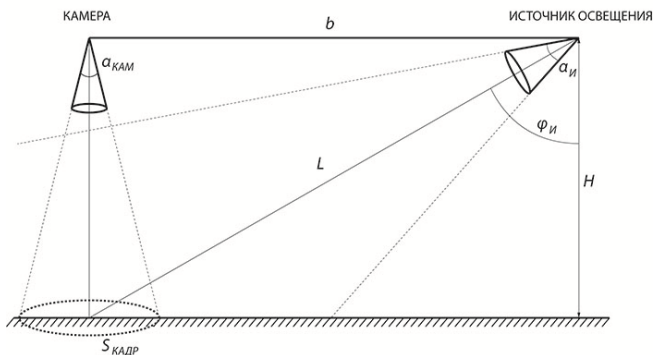


Рис. 1. Схема расположения элементов системы подводного видения БНПА «Видеомодуль»:

$b$  – расстояние от камеры до источника освещения;  $H$  – высота аппарата над объектом/дном;  $L$  – расстояние от источника до точки пересечения его оптической оси с оптической осью камеры;  $S_{КАДР}$  – площадь области объекта/дна, видимой в кадре;  $\alpha_{КАМ}$  – угол обзора камеры;  $\alpha_S$  – угол излучения источника;  $\varphi_S$  – угол наклона источника относительно вертикали

Для расчета яркости области, ограниченной площадью  $S_{КАМ}$ , найдем сначала световой поток  $\Phi_{КАМ}$ , падающий от источника в пределах телесного угла  $\Omega_{КАМ}$ , на область, ограниченную площадью  $S_{КАМ}$ .

Из геометрического расположения источника относительно дна находим телесный угол  $\Omega_{КАМ}$ :

$$\Omega_{КАМ} = \frac{S_{КАМ}}{L^2} \cos \varphi_S,$$

где  $L^2$  и  $\cos \varphi_S$  рассчитываются исходя из геометрического расположения элементов аппарата:  $L^2 = H^2 + b^2$ ,  $\cos \varphi_S = H/L$ .

Полный телесный угол источника  $\Omega_S$  рассчитываем через номинальный угол излучения:

$$\Omega_S = 2\pi \left( 1 - \cos \frac{\alpha_S}{2} \right).$$

Приняв во внимание, что сила света источника в пределах его полного телесного угла остается постоянной, находим световой поток, ограниченный телесным углом  $\Omega_{КАМ}$ :

$$\Phi_{\Omega_{CAM}} = \frac{\Phi_S}{2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha_S}{2}\right)} \cdot \frac{S_{CAM}}{L^2} \cos \varphi_S.$$

В водной среде световой поток ослабляется согласно закону Бугера  $\Phi' = \Phi_0 e^{-\varepsilon z}$ , где  $z$  – расстояние. Приняв это во внимание и учтя, что световой поток источника освещения ослабевает на расстоянии от источника до объекта  $L$ , получаем выражение для светового потока, падающего на объект:

$$\Phi_{CAM} = \frac{\Phi_S e^{-\varepsilon L}}{2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha_S}{2}\right)} \cdot \frac{S_{CAM}}{L^2} \cos \varphi_S.$$

Для упрощения расчетов будем полагать, что, падая на объект/дно, поток  $\Phi_{CAM}$  отражается равномерно по всей площади  $S_{CAM}$  как от диффузно отражающей поверхности с коэффициентом отражения  $R_{OBJ}$  в пределах телесного угла  $2\pi$  (верхняя полусфера). Используя классические формулы  $B=I/S$ ,  $I=\Phi/\Omega$ , и учитывая ослабление светового потока на расстоянии от объекта до камеры, находим яркость области, видимой в кадре:

$$B_{CAM} = \frac{\Phi_S e^{-\varepsilon(L+H)}}{4\pi^2 \left(1 - \cos \frac{\alpha_S}{2}\right)} \cdot \frac{1}{L^2} \cos \varphi_S.$$

Как упоминалось выше, минимальная освещенность на сенсоре видеокamеры (чувствительность сенсора)  $E_{min} = Q_0 B_{CAM}$ . В свою очередь, светосила связана с относительным отверстием объектива  $N_0$  соотношением  $Q_0 = N_0^2$ . Тогда находим условие для минимального светового потока источника освещения:

$$\Phi_S \geq 4(\pi L)^2 \frac{1}{N_0^2 \cdot R_{OBJ}} \cdot \frac{E_{min}}{\cos \varphi_S} (1 - \cos \frac{\alpha_S}{2}) e^{\varepsilon(L+H)}.$$

На основе проведенных расчетов в качестве источников освещения были выбраны матричные светодиоды Epistar XY-J45. Матричные светодиоды заключены в герметичный подводный корпус из нержавеющей стали, с рабочей глубиной 6000 м, соответствующей эксплуатационным параметрам БНПА «Видеомодуль». Иллюминаторы корпусов ИЗС выполнены из оптического органического стекла, которое обеспечивает пропускание светового потока, близкое к 100%. Для обеспечения регулировки необходимого освещения на аппарат установлено 6 таких ИЗС, которые могут включаться и выключаться по отдельности. Помимо ре-

гулировки интенсивности освещения, схема включения позволяет отключать электропитания аварийных ИЗС, в том числе вышедших из строя вследствие разгерметизации, не нарушая функционирования остальных ИЗС. Емкость аккумуляторной батареи БНПА составляет 50 А·ч, напряжение питания – 12 В. Энергопотребление остальных узлов (управляющие электронные блоки, видеокамера) составляет порядка 40 Вт. Таким образом, нетрудно рассчитать время работы аппарата при всех включенных осветительных приборах – оно составляет 2,7 часа. Если буксировка происходит со скоростью 0,5 узла, то за это время можно выполнить видеосъемку на разрезе длиной около 1,3 морских миль.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2019-0011) при поддержке РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект №18-05-60070 «Арктика»).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Пронин А.А.** Методика сбора и представления материалов видеосъемки поверхности дна с помощью необитаемого подводного буксируемого аппарата «Видеомодуль» / Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 12–1. С. 142–147.
2. **Стопцов Н.А., Груздев М.А.** Средства подводного освещения. Л.: Судостроение, 1985. 200 с.

УДК 551.46.07

### **СИНХРОННАЯ ГИДРОЛОКАЦИОННАЯ И ВИДЕОСЪЕМКА ПРИ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**Анисимов И.М., Тронза С.Н.**

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

В работе рассматривается способ представления гидролокационных и видео данных, позволяющий оценить состояние исследуемых объектов на морском дне в мезо- и микромасштабе.

In the paper the method of sonar and video images representation method is discussed, which allows to estimate state of submerged objects under study in meso and micro scale.

Методы гидролокации бокового обзора являются необходимым инструментом при исследовании геоморфологии рельефа морского дна, а также при поиске затопленных объектов естественного или техногенного происхождения. Интерпретация гидролокационных изображений осуществляется, главным образом, сравнением с изображениями известных форм рельефа или объектов. Однако, из-за многообразия форм рельефа и различных ракурсов съемки, изображения могут существенно отличаться друг от друга [1].

В качестве сопроводительных данных, которые могут значительно облегчить интерпретацию гидролокационных изображений, можно использовать видеоизображения, получаемые с подводной видеокамеры, установленной на том же носителе, на котором находятся излучатели и приемники гидролокатора бокового обзора (ГБО). Полученные таким образом данные позволяют судить как о мезомасштабной (съемка ГБО), так и о микромасштабной (видеосъемка) структуре исследуемого рельефа, либо объектов.

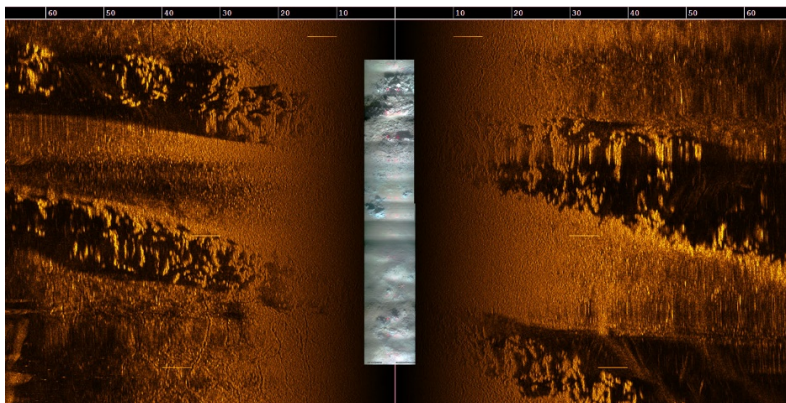


Рис. 1. Гидролокационное изображение борозды ледовой экзарации с наложенной «мозаикой», скомпонованной из отдельных кадров видеоизображения, полученного синхронно с гидролокационной съемкой

В докладе рассматривается способ совмещения гидролокационных и видеоизображений, заключающийся в следующем:

- Из видеофайла выбираются отдельные стоп-кадры таким образом, чтобы области, видимые в каждом следующем кадре, захватывали небольшой участок области предыдущего кадра.

- Выбранные кадры совмещаются в непрерывную «мозаику», которая представляет собой, фактически, временную развертку видеозаписи.

- Полученная «мозаика» накладывается на гидролокационное изображение, учитывая расположение видеокамеры относительно приемника ГБО.

На рис. 1 приведена реализация данного способа на примере материалов съемки борозды ледовой экзарации в море Лаптевых.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2018-0010) при поддержке РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект №18-05-60070 «Арктика»).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Белевитнев Я.И., Коротаев В.Н., Иванов В.В.** Синхронная гидролокационная и видео съёмка при геоморфологическом картировании дна водных объектов./ В сб. Современные методы и средства океанологических исследований // Москва. – 2013. – Т. 1. – С. 217–220.

УДК 551.46: 626.02: 331.45

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОЛАЗНЫХ СПУСКОВ ПРИ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**Яхонтов Б.О.**

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

Представлен материал по проблеме обеспечения безопасности водолазных погружений при океанологических исследованиях. Рассмотрены принципы и условия, на которых базируется система обеспечения безопасности.

The article presents the material on the problem of ensuring the safety of diving at oceanological research. The principles and conditions on which ensuring system the security is based are considered.

Проблема обеспечения безопасности водолазных спусков и работ при решении любых задач под водой (научных, производственных или конфиденциальных) является главной. При несоблюдении мер безопасности воздействие факторов водной среды (давление, температура, дыхание сжатым воздухом или газовой смесью и другие) неблагоприятно отражается на состоянии здоровья водолазов и может приводить к заболеваниям и несчастным случаям [1]. Очевидно, что при водолазных работах достичь абсолютной безопасности невозможно, доля риска остается всегда. Поэтому любые работы под водой относятся к категории опасных, вредных и тяжелых видов труда. При этом остается лишь согласиться с допустимым риском, который можно характеризовать как минимальная величина риска, которая достижима по техническим, экономическим и технологическим возможностям. Таким образом, приемлемый риск является компромиссом между уровнем безопасности и возможностями его достижения. При наличии допустимой степени риска должен быть и компромисс между этим риском и эффективностью использования водолазных методов подводных исследований. Последнее было показано работами специалистов ИО РАН в период с 1960-х годов [2]. В дальнейшем исследовательская практика подтвердила, что использование водолазных методов научной работы под водой эффективно, а потому необходимо при проведении океанологических исследований [3].

Выбор наиболее эффективных и безопасных методов погружений и водолазного снаряжения в значительной степени зависит от планируемых работ на грунте. Современные методы погружений обеспечивают высокую эффективность и относительную безопасность подводных исследований при изучении актуальных проблем океанологии. Но это возможно при наличии и соблюдении внутриведомственной нормативной документации, определяющей требования безопасности при проведении водолазных спусков и работ в научных целях. Эта документация является основой системы обеспечения безопасности и должна включать требования при проведении водолазных работ, типичных для океанологических исследований в прибрежной зоне и в экспедициях на судах.

Целью обеспечения безопасности водолазных спусков и работ при подводных океанологических исследованиях является сохранение здоровья научных водолазов, поддержание их жизнедеятельности и работоспособности под водой на относительно нормальном уровне.

Безопасность водолазных спусков и работ – это комплексная система мер защиты водолаза. Эта система базируется на нормативно-правовых, технических, организационных, медицинских, в том числе санитарно-гигиенических, и психофизиологических принципах.

Технические принципы: использование сертифицированного водолазного снаряжения, оборудования и легальных технологий, отвечающих требованиям безопасности.

Организационные принципы: рациональная организация спусков и работ в соответствии с действующей нормативной документацией (правилами, положениями, инструкциями).

Медицинские принципы: медицинское, санитарно-гигиеническое обеспечение водолазных спусков и работ в соответствии с действующей руководящей документацией.

Психофизиологические принципы: рациональный отбор водолазов к спускам, обеспечение оптимальных условий, режимов труда и отдыха, лечебно-профилактического обслуживания.

Несмотря на некоторую специфику океанологических исследовательских работ под водой, они должны соответствовать требованиям «Межотраслевых правил по охране труда при проведении водолазных работ – ПОТ РМ-030-2007» (Правила).

Безопасность научной работы под водой обеспечивается не только соблюдением правил спусков, надежностью технических средств (водолазное снаряжение, оборудование), но и квалификацией водолаза. Проблема состоит в разнице уровней квалификации профессионального водолаза и водолаза-исследователя, ученого. Естественно, что во втором случае риск при работе под водой существенно выше. 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 на малых и средних глубинах традиционным методом кратковременных погружений (КП). При соответствующем техническом оснащении и специальной подготовке водолаза метод КП может использоваться и для глубоководных спусков в определенных пределах.

Как показала сравнительная апробация и анализ методов и методик КП, для океанологических исследований наиболее безопасной, эффективной и экономичной является методика спусков в автономном режиме с применением водолазных дыхательных аппаратов с замкнутым циклом дыхания (ребризеры) и автоматической (электронной) регулировкой состава дыхательной газовой смеси по кислороду [4]. Для подводных научных исследований это новая, развивающаяся методика погружений, позволяющая водолазу-исследователю работать на глубинах свыше 60-ти метров, то есть в зоне глубоководных спусков [5].

Контроль безопасности водолазов должен осуществляться непрерывно, как в режиме реального времени, так и в режиме отсроченного



анализа состояния водолаза по данным регистрации основных физиологических параметров. Для этих целей наиболее надежными являются методы передачи информации по гидроакустическому каналу и регистрации параметров на твердотельном носителе с последующей обработкой данных на компьютере.

При недостаточной укомплектованности научных подразделений института водолазами и в целях обеспечения безопасности при проведении водолазных работ, предусмотренных программами научных экспедиций, водолазные спуски и работы следует проводить с привлечением специализированных организаций, имеющих допуск (свидетельство) к производству водолазных спусков и работ, квалифицированных водолазов и водолазную технику.

При любых формах организации водолажных работ к ним допускаются работники, имеющие документ о профессиональном образовании по водолажному делу и отвечающие требованиям Правил по состоянию здоровья.

При проведении водолажных спусков с борта научно-исследовательского судна капитан судна несет ответственность за организацию и обеспечение охраны труда работников, занятых выполнением водолажных спусков и работ независимо от целей спуска и работ (научные или судовые работы), в соответствии с Правилами. Общий контроль охраны труда и обеспечения безопасности при проведении водолажных спусков и работ в научных целях должен возлагаться на начальника экспедиции.

Вся организация, подготовка и проведение водолажных спусков и научных работ под водой направлены в первую очередь на обеспечение безопасности водолаза. В этой связи Правилами и руководством по медико-санитарному обеспечению водолажных спусков на средние глубины [1] установлены требования, которые должны соблюдаться независимо от целей водолажных спусков (научные, производственные или судовые) и предприятия-исполнителя водолажных работ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0011).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н.** Водолазные спуски до 60 метров и их медицинское обеспечение. – М.: Слово, 2003. – 696с.
2. **Айбулатов Н.А.** Океанологические исследования из обитаемых подводных лабораторий // Океанология. – 1972. –Т.12. – №1. – С. 144–154.
3. **Яхонтов Б.О., Римский-Корсаков Н.А.** Развитие гипербарических технологий океанологических исследований // Океанология. – 2016. – Т.56, №1. – С. 167-171.

4. **Яхонтов Б.О.** Оценка эффективности водолазных технологий изучения океана // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – №10. – Ч.1. – С. 111–115.

5. **Черкашин С.В.** Вопросы внедрения метода глубоководных погружений в автономном режиме в практику отечественных водолазных работ // Морские испытания. – 2008. – № 2. – С. 4–14.

УДК 55 1.46: 626.02: 574.2

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ И МИКРОКЛИМАТА БАРОКАМЕР 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*

Представлен анализ обеспечения условий пребывания водолазов в барокамерах водолазных комплексов. Обеспечение этих условий является функцией технической системы жизнеобеспечения. Рассмотрены основные требования к параметрам дыхательной газовой среды и микроклимата в барокамерах.

The analysis of providing conditions for divers staying in the pressure chambers of diving complexes is presented. Ensuring these conditions is a function of the technical life support system. The basic requirements for the parameters of the respiratory gas medium and microclimate in the pressure chambers are considered.

Оптимальные условия жизнедеятельности водолазов в барокамерах водолазных комплексов определяются в основном параметрами дыхательной газовой среды (ДГС) – давлением, газовым составом, температурой, влажностью и подвижностью газовой среды [1]. Эти условия создаются и поддерживаются технической системой жизнеобеспечения (СЖО) через подсистему регенерации, кондиционирования и очистки (РКО) газовой среды [2]. Величины параметров среды в барокамере, которые отражают технические возможности СЖО, определяются техническим заданием и проектом. Диапазон этих величин, как правило, превышает диапазон физиолого-гигиенических требований к этим параметрам для конкретных условий гипербарии в барокамере.

В современных водолазных комплексах параметры газовой среды и микроклимата в отсеках камер поддерживаются в ручном и автоматическом режимах при изопрессии и на остановках при декомпрессии на любом заданном значении каждого параметра. Давление поддерживается в диапазоне до  $31 \text{ кгс/см}^2$  с отклонением не более  $\pm 0,1 \text{ кгс/см}^2$ , в диапазоне давлений свыше  $31 \text{ кгс/см}^2$  с отклонением не более  $\pm 0,2 \text{ кгс/см}^2$  [3].

Важнейшим компонентом ДГС является кислород, парциальное давление которого в среде барокамеры практически во всех случаях превышает нормоксический уровень. Этот параметр должен поддерживаться на заданном допустимом для организма значении ( $0,25 - 0,30 \text{ кгс/см}^2$  с отклонением не более  $\pm 0,01 \text{ кгс/см}^2$ ) при различных давлениях и длительности пребывания в барокамере в пределах допустимого времени [4]. Парциальное давление кислорода поддерживается в соответствии с принципом по отклонению его от заданного уровня.

Парциальное давление азота в условиях длительного пребывания при повышенном давлении составляет  $1,0 \pm 0,2 \text{ кгс/см}^2$ , остальное – гелий. Такое давление азота в дыхательной среде барокамеры обусловлено в основном остаточным азотом воздуха, который остается в барокамере перед компрессией, и поддерживается в период пребывания водолазов на имитированной глубине. Физиологического значения он в данном случае практически не имеет, но за счет физических свойств (более высокая плотность и низкая теплопроводность) частично нивелирует действие гелия на организм (искажение голоса, охлаждающее действие) и в целом положительно влияет на теплообмен организма в гелиевой среде. Следует отметить, что при больших давлениях парциальное давление азота в дыхательной среде может быть значительно повышено (до 10% от общего давления), что не приводит к выраженному наркотическому эффекту азота и позволяет преодолеть проявления нервного синдрома высокого давления, обусловленные влиянием гелия. В этом состоит антагонизм действия на организм этих инертных газов [5]. Показано, что дыхательная газовая среда на основе гелия с повышенным содержанием азота позволяет достичь более высоких давлений в барокамере и при необходимости повысить скорость компрессии.

Температура газовой среды в отсеках камер должна поддерживаться подсистемами и средствами жизнеобеспечения в пределах  $20-35^\circ\text{C}$  с отклонением не более  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . Однако это относится к техническим характеристикам СЖО и не связано с допустимым для человека диапазоном температур и, тем более, температурным комфортом в условиях повышенного давления, зона которого находится внутри этого диапазона. При повышении давления зона теплового комфорта закономерно повышается. Это обусловлено необходимостью компенсации увеличе-

ния теплопотерь организма в связи с повышением теплопередающих свойств искусственной дыхательной среды. При этом зона теплового комфорта сужается. Это приводит к тому, что изменение комфортной температуры на имитированных в барокамере глубинах 250 – 300 м в кислородно-азотно-гелиевой среде всего лишь на 0,5°С в пределах диапазона допустимых значений (29,2 – 31,2°С [4]) приводит к нарушению теплового комфорта для человека.

Для обеспечения и поддержания необходимой температуры в барокамере, учитывая высокую теплоёмкость гелия и большую тепловую инерцию металла камеры, используется принцип нагрева либо металла камеры, либо подача воды с заданной в нагревателе температурой на водяные рубахи или внутренние устройства обогрева.

Относительная влажность в сухих отсеках барокамер поддерживается в автоматическом или ручном режимах при изопрессии и декомпрессии на остановках в диапазоне 40-80% с точностью  $\pm 2,5\%$ . Допустимо отклонение влажности на  $\pm 10\%$  от представительной точки в других зонах камер при местной подрегулировке температуры. На переходных режимах влажность может достигать 95% и более, но нормализуется системой кондиционирования при достижении стационарности среды по давлению и температуре. Понятно, что повышенная влажность в среде барокамеры приводит к дискомфорту, задерживает, а то и блокирует, выделение влаги из легких и с поверхности кожи, нарушая этим теплообмен организма, что в свою очередь затрудняет выполнение физической работы. При продолжительном действии влажности может развиваться и снижение сопротивляемости организма факторам гипербарической среды. Поэтому относительная влажность должна поддерживаться в диапазоне допустимых величин. Влажность в водолазных барокамерах поддерживается системами и средствами осушки с использованием в основном способов конденсации влаги с последующим сливом и адсорбции твердыми сорбентами в качестве второй ступени для более глубокой осушки.

Если уровни кислорода, температуры и влажности выражаются диапазоном допустимых величин, то вредные примеси в среде выражаются величинами ПДК. Система очистки газовой среды работает только на удержание примеси в пределах ПДК, что упрощает управление этим процессом. СЖО должна производить очистку газовой среды камер от углекислого газа и обеспечивать парциальное давление  $\text{CO}_2$  во всех отсеках не более  $0,005 \text{ кгс/см}^2$  независимо от давления и количества находящихся в камере водолазов. Система очистки должна удалять из газовой среды камер вредные микропримеси и обеспечивать их массовую концентрацию ( $\text{мг/м}^3$ ) независимо от давления и состава ДГС [3].

Важным параметром микроклимата в барокамере является и подвижность газовой среды, которая при давлениях до 30 кгс/см<sup>2</sup> поддерживается на уровне 0.1–0.15 м/с и снижается до 0,05 м/с при давлениях до 50 кгс/см<sup>2</sup>. Её влияние на теплообмен водолаза при повышенном давлении значительнее, чем в нормальных условиях, потому что в условиях барокамеры коэффициент теплопередачи конвекцией находится в большей зависимости от подвижности газовой среды, что позволяет использовать этот эффект для поддержания теплового комфорта водолаза. Кроме этого, подвижность газовой среды обеспечивает исключение стратификации дыхательной газовой среды по легким (гелий) и тяжелым компонентам.

Все параметры газовой среды и микроклимата в водолазных барокамерах контролируются подсистемой газового анализа и измерения физических параметров среды, которая обеспечивает непрерывный анализ основных газовых компонентов, давления, температуры и влажности.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2018-0011).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Яхонтов Б.О.** Физиологические аспекты обеспечения жизнедеятельности водолазов при повышенном давлении в барокамере // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 6. – С.135–139.

2. **Яхонтов Б.О.** Структура и функции систем жизнеобеспечения для водолазных барокамер // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 11. – С.34–39.

3. ПУБЭК-2007. Правила устройства и безопасной эксплуатации водолазных барокамер (утв. Минобороны России) Документ по состоянию на август 2014 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://lawtu.info/dok/2007/01/03/n298465.htm>. (дата обращения 20.12.2018).

4. **Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н.** Глубоководные водолазные спуски и их медицинское обеспечение. – М.: Слово, 2004. – Т.2. – 723 с.

5. **Зальцман Г.Л., Кучук Г.А., Гургенидзе А.Г.** Основы гипербарической физиологии. – Л.: Медицина, 1979. – 320 с.

## **НОВЫЙ ВИРТУАЛЬНО-ПОДВИЖНЫЙ GNOM-IP**

**Комаров В.С., Розман Б.Я.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова (ИОРАН)  
117851 Нахимовский пр-кт, 36, т 84991292045, kvs@ocean.ru*

В рассмотренном техническом решении сделана успешная попытка вывести силовое управление движением подводного аппарата из привычного линейного положения вектора упора, фиксированного относительно судна (аппарата) и придать ему свойство пространственно управляемого. Это должно позволить аппарату совершать значительно более свободные циркуляции и проникать в узкости сложных конфигураций.

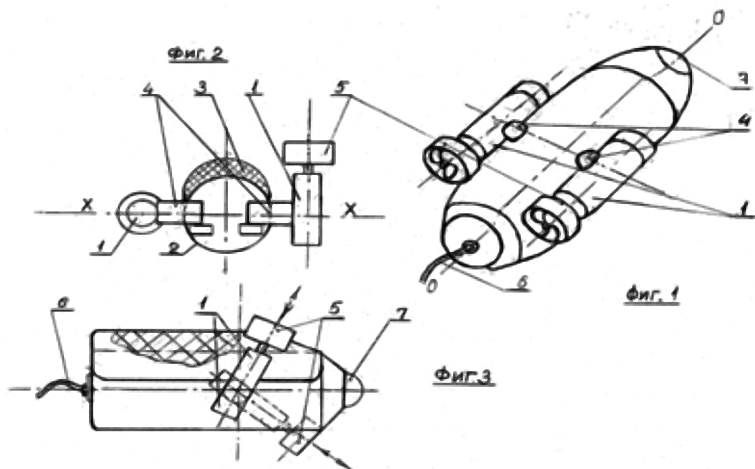
In the technical decision made successful attempt to withdraw the force traffic control submersible from the usual linear position vector it fixed relative to the vessel and give it a spatial property managed. This should allow the apparatus to perform significantly more free circulation and penetrate the extremely broad complex configurations.

В оперативной океанологии подводные телеуправляемые аппараты типа GNOM [1] в том числе дрейфующие, автоматические играют всё большую роль. Особенно, в решении тех задач, которые требуют непосредственной близости с донной поверхностью. И это тем более, когда требуется перемещаться внутри извилистых лавовых складок грунта для визуальной инспекции и забора химических образцов придонного «бульона». В этом случае аппарат должен иметь возможность двигаться как рыба, меняя свою ориентацию в поле сил тяжести по команде оператора в диапазоне близком к 180° в обеих перпендикулярных строительных плоскостях.

Авторы имеют опыт проектирования и эксплуатации телеуправляемого аппарата, снабженный четырьмя двигателями [2], телекамерой и блоком плавучести, рабочая глубина до 120 м, маршевая скорость до 3-х узлов. Совокупная мощность потребления 150 Вт, вес аппарата 3 кг. Недостатком данного аппарата является наличие 4-х реверсивных двигателей, которые увеличивают массу и потребляемую мощность, что уменьшает автономность аппарата, а также увеличивает сопротивление

воды движению аппарата. Наличие избыточности – четырёх двигателей позволяет управлять манёвром в плоскости и на небольшие угловые движения в вертикальной плоскости. Для движения в вертикальной плоскости используются два вертикальных реверсивных двигателя. В совокупности при маневрировании энергопотребление аппарата возрастает, что ограничивает автономность.

Целью настоящей работы является проект виртуально подвижного аппарата. Для достижения этой цели недостаточно одной реверсивности. Здесь нужно управлять вектором упора в пространстве. Следовательно, двигатель должен быть на оси перпендикулярной оси вращения ротора электродвигателя, но и этого недостаточно. Ось парного двигателя также должна быть перпендикулярна оси его ротора, т.е. конструкция привода движения аппарата – симметрична относительно его главной строительной оси. Каждая ось управления упором в пространстве должна иметь свой привод и свой канал управления не зависимый от управления и двигателем упора. Такая комбинация позволит управлять совокупным вектором упора по модулю и пространственным положением.



На рисунке приведена схематичная иллюстрация возможной конструкции виртуально подвижного и виртуально управляемого аппарата. Здесь 1-маршевые двигатели, в центральной части корпуса 2, с балансирующей плавучестью 3. Приводы 3 и редукторы управления вектором упора 4, на которые крепятся маршевые двигатели 1 с винтами в насадках 5. Управление аппаратом и электропитание производится по кабелю 6, а так же передачу изображения от телекамеры 7. В качестве марше-

вых двигателей используют двигатели фирмы «Максон» соответствующей мощности (20–55) Вт или аналоги [ 3].

Статья написана в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2018-0011).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Undererwater remotely operated vehicle “GNOM”, gnomrov.com.
2. **Ёлкин А.В., Комаров В.С., Розман Б.Я.** История развития телеуправляемого микро робота ГНОМ. ИОРАН им. П.П. Ширшова. Нахимовский пр-кт, д. 36, Москва РФ.
3. Katremre.com, Turnigy Trackstar, 12T 3300kv.

УДК 551.46.07

### **МЕТОД «КОНЕЧНОГО ПОВОРОТА И СМЕЩЕНИЯ» В РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ**

**Данилов А.В.<sup>1</sup>, Кропотов А.Н.<sup>2</sup>**

*ФГБОУ высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, с. 1  
<sup>1</sup>т. 8(916)903-86-12, E-mail: 157304@rambler.ru  
<sup>2</sup>т. 8(499)263-61-14, E-mail: alex.kropotov@bmstu.ru*

A new method of inverse kinematics for manipulators of a serial structure with an arbitrary number of ordinary and pantographic links connected by kinematic pairs of different classes with an arbitrary tilt of the axes.

В настоящее время актуальной задачей стало выполнение подводно-технических работ с помощью манипуляторов телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов рабочего класса в рабочих зонах, характеризующихся ограниченным пространством и наличием в нем препятствий [1]. Для успешного выполнения работ в таких условиях предлагается использовать манипуляторы с избыточной кинематикой, т. е. манипуляторы с числом степеней подвижности больше шести. Как известно,



при управлении схватом манипулятора необходимо постоянно решать прямую и обратную задачу кинематики (ОЗК) в режиме реального времени. Для избыточных манипуляторов аналитического решения ОЗК не существует и необходимо применение таких численных методов решения ОЗК, которые способны быстро решать ОЗК и обеспечивать управление манипулятором в режиме реального времени.

В докладе рассмотрен метод «конечного поворота и смещения» для решения ОЗК, удовлетворяющий требованиям по управлению избыточными манипуляторами последовательной структуры в режиме реального времени. Областью применения метода «конечного поворота и смещения» являются манипуляторы последовательной структуры с произвольным количеством обычных звеньев и звеньев пантографного типа, связанных кинематическими парами различных классов с произвольным наклоном осей.

Предлагаемый метод геометрический, использует только операции преобразования векторов, основан на свойствах каждого звена манипулятора в отдельности, а именно: тип звена, класс кинематической пары, вид соединения в паре, ориентация оси и звена в абсолютной системе координат в виде векторов единичного и равного длине звена соответственно. Для каждого звена по каждой степени подвижности поочередно за одну итерацию определяется однозначно величина конечного поворота или смещения звена соответствующая максимальному приближению схвата к заданным параметрам положения и ориентации [2, 3]. Другими словами, задача решается оптимально за одну итерацию для каждого звена, а результат получается для всего манипулятора. Поэтому окончательную формулу решения ОЗК для обобщенной координаты  $i$  – й степени подвижности можно записать в виде суммы:

$$q_i = q_{i0} + \sum_{j=1}^z \Delta q_{ij} + \sum_{k=1}^m \delta q_{ik},$$

где  $q_i = \theta_i$  для шарнира,  $q_i = d_i$  для призмы;  $i$  – номер степени подвижности манипулятора  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  – число степеней подвижности схвата манипулятора,  $z = z_0 + z_1 + z_2 + \dots + z_m$  – общее число конечных поворотов и смещений,  $z_0$  – число конечных поворотов и смещений до точки сингулярности,  $z_k$  – число конечных поворотов и смещений от  $k$ -ой сингулярности до  $(k+1)$ -ой,  $m$  – число сингулярных точек на пути решения ОЗК,  $\delta q_{ik}$  – малые значения обобщенных координат используемые для изменения конфигурации манипулятора при обходе  $k$ -ой сингулярной точки.

Рассматриваемый метод характеризуется следующими особенностями: однозначностью получения значений конечных поворотов и смеще-

ний звеньев, простыми вычислениями, связанными только с преобразованием координат векторов, инвариантностью метода по отношению к каждому звену манипулятора. Эти особенности позволили получить следующие важные свойства метода: однозначность решения ОЗК, высокая скорость решения ОЗК, универсальность алгоритма по отношению к количеству звеньев манипулятора, возможность использовать вычислители малой мощности, линейная зависимость времени решения ОЗК от количества звеньев манипулятора, возможность проектировать манипулятор оптимальной конфигурации для произвольного положения, например, компактность в сложенном состоянии. Из этих свойств вытекает и структура программы решения ОЗК, которая формируется из модулей универсальной части алгоритма в виде DLL библиотеки, содержащей все необходимые функции для организации управления манипулятором, и индивидуальной для конкретного манипулятора в виде исходных данных.

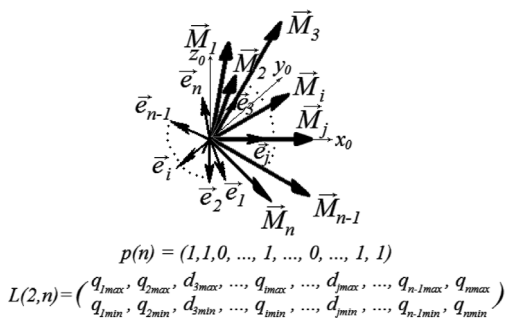


Рис. 1. Иллюстрация векторной математической модели манипулятора с  $n$  степенями свободы с кинематическими парами пятого класса

исходные данные входит массив значений классов кинематических пар  $kp(n)$ . Для манипуляторов при наличии звеньев пантографного типа в исходные данные входит массив  $zv(7)=(0,1,2,1,2,0,0)$ , который заполняется признаками звеньев, отображающих их вид (0 – обычное звено, 1 – звено пантографного типа, 2 – ведомое звено).

По результатам решений ОЗК для моделей манипуляторов последовательной структуры с числом звеньев от 6 до 60 получены значения времени решения ОЗК. С помощью аппроксимации по методу наименьших квадратов получен линейный график зависимости времени

Исходными данными для метода являются векторная модель манипулятора (векторы  $\vec{e}$  и  $\vec{M}$  для осей кинематических пар и звеньев манипулятора), значения конструктивных ограничений обобщенных координат (массив  $L(2,n)$ ) и признаки, отображающие свойства звеньев манипулятора, массив  $(p(n))$ , показанные на рис. 1.

Для манипуляторов с различными классами кинематических пар в

решения ОЗК от количества звеньев манипулятора (см. рис. 2). А также получена гистограмма распределения числа итераций при стократном решении ОЗК, показанная на рис. 3.

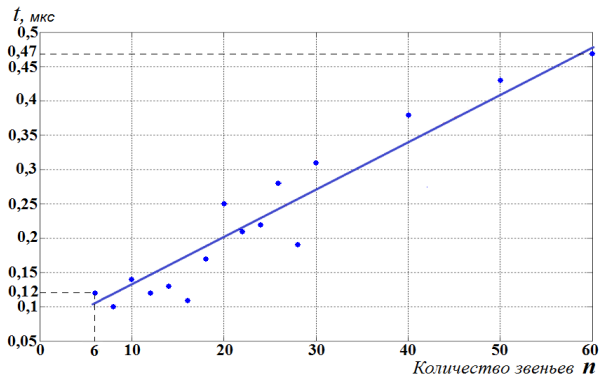


Рис. 2. График зависимости времени решения ОЗК от числа звеньев манипулятора

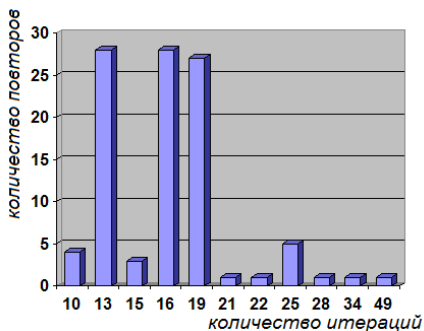


Рис. 3. Гистограмма распределения числа повторений итераций

Полученные результаты подтверждают эффективность метода и его быструю сходимость. Из рисунка 3 видно, что решение ОЗК достигается в основном за 13–20 итераций для заданной абсолютной точности равной 0,001 от величин положения и ориентации схвата.

Метод применим не только для подводных, но также для космических и наземных манипуляторов специального назначения, расширяя технологические возможности манипуляторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <https://pdfs.semanticscholar.org/ec2c/47757af47d7a559c6275d426182a773a9171.pdf> (Дата обращения: 21.12.2018)
2. **Данилов А.В.** Общий подход к решению обратной задачи кинематики для манипулятора последовательной структуры с помощью конечного поворота и смещения [Электронный ресурс] / А.В. Данилов, А.Н. Кропотов, О.В. Трифонов // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2018. – № 81. – Режим доступа: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-81>.
3. **Данилов А.В.** Применение метода конечного поворота и смещения для манипулятора последовательной структуры с кинематическими параметрами пятого класса [Электронный ресурс]
4. **Данилов А.В., Кропотов А.Н., Трифонов О.В.** Препринты ИПМ им. Келдыша. – 2018. – № 107. – Режим доступа: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2018-107>

УДК 551.46.08

### РАСПОЛОЖЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ НА РАМЕ БУКСИРУЕМОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА «ВИДЕОМОДУЛЬ»

**Лесин А.В., Белевитнев Я.И.**

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

В статье представлена конструкция глубоководного буксируемого аппарата «Видеомодуль» и конструкторское оснащение

Paper presents deep towed vehicle «Videomodule» construction and instrumentation kit design

Для решения задачи визуального осмотра поверхности дна и подводных объектов в глубоководных областях Мирового океана разработан буксируемый необитаемый подводный аппарат (БНПА) «Видеомодуль» [1] (рис.1), который позволяет наблюдать подводные объекты, расположенные непосредственно на маршруте движения (буксировки). В том случае, когда объект расположен в нескольких метрах и далее в

стороне от маршрута движения БНПА, его обнаружение и наблюдение осуществляется с использованием гидролокатора бокового обзора установленного в задней части БНПА.

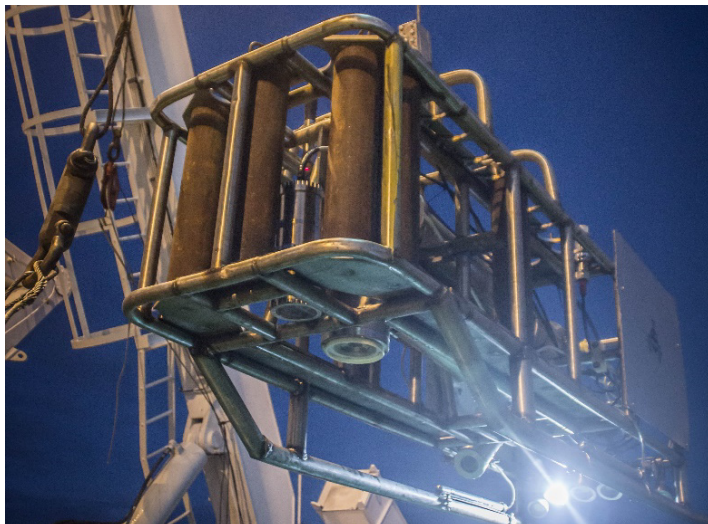


Рис.1 БНПА «Видеомодуль»

В режиме видеонаблюдения габариты объекта определяются по двум цветным пятнам, создаваемым двумя параллельными лазерными лучами двух указателей, установленных рядом с камерой высокого разрешения. Расстояние между указателями – 20 сантиметров. Для своевременного обнаружения препятствий на пути движения БНПА в носовой части аппарата установлена «перспективная» видео камера.

Управляющий электронный блок и блок аккумуляторных батарей размещены в прочных цилиндрических корпусах, которые продольно установлены на раме аппарата.

Расположение элементов оборудования аппарата удовлетворяет следующим требованиям.

**Функциональные требования.** Важную роль при видео наблюдениях объектов играет правильный выбор параметров размещения и характеристик источников заливающего света (ИЗС). Прибор оснащен шестью светодиодными ИЗС, расположенными в кормовой части аппарата, что позволяет подсвечивать объекты, попавшие в кадр видеокamеры, расположенной в носовой части аппарата.

**Весовые требования.** Для балансировки аппарата по крену и дифференту предусмотрены специальные грузы. Грузы установлены равномерно по периметру рамы БНПА и могут удаляться и перемещаться для устранения нежелательных отклонений продольной, вертикальной и поперечной осей аппарата от заданных значений. Дифферент БНПА может быть также отрегулирован пошаговым перемещением точки подвеса БНПА вдоль рейки подвеса.

**Парусные требования.** Для обеспечения курсовой устойчивости под водой в задней части аппарата установлены вертикальные стабилизаторы (кили) из композитного материала.

Анализ результатов применения БНПА «Видеомодуль» для научных исследований в экспедиции 72-го рейса нис «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море и море Лаптевых, в том числе на континентальном склоне до глубин 2500м позволил сформулировать новые требования к конструкции и элементной базе БНПА. В настоящее время ведется дооборудование и модернизация конструкции БНПА.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2019-0011) при поддержке экспедиционных исследований РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект №18-05-60070 «Арктика»).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Поярко́в С.Г., Римский-Корсаков Н.А., Флинт М.В.** Технические аспекты исследований окружающей среды западной части Карского моря. // *Океанологические исследования*, Том 45 № 1 (2017): с. 171–186. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).13.

УДК 634.67

### **СИСТЕМЫ ПИНГЕРНОГО КОНТРОЛЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ ПРИБОРОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ДНА**

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

*Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, E-mail: a\_v\_nos@mail.ru*

Пингерная система контроля возвышения погружаемого аппарата над дном была разработана примерно 10 лет назад. Опыт ее использования в океанологической практике позво-

ляет сделать некоторые выводы об эффективности и полезности данной разработки.

Development of some new pinger control system has about ten years of testing in real sea works. The experiences obtained during these works provides possibility to make some conclusions about usefulness and affectivity of this work.

Система пингерного контроля возвышения погружаемого прибора над дном была разработана и испытана в Лаборатории акустики океана Института океанологии примерно десять лет назад, и опыт ее использования за прошедший период позволяет сделать некоторые выводы о качестве разработки и ее эффективности [1–4].

Следует напомнить, что идеология использования пингерной системы контроля не предполагает создания измерительной системы. Суть использования пингера состоит в оценке оператором визуальных данных, отображаемых в виде растрового изображения на каком либо устройстве, включающем как прямой сигнал от пингера, так и отраженный от дна. Результат такой оценки зависит от опыта оператора и от его представления о процессе распространения и переизлучения звука, то есть в известном смысле от субъективных условий. Задача пингерной системы при этом состоит в обеспечении максимального качества отображаемой информации, достаточной точности синхронизации излучения сигналов пингера и регистрации пришедших из воды сигналов, и возможных доступных оператору способов оптимизации изображения и получения возможных подсказок.

С учетом имевшегося у авторов опыта использования штатного судового оборудования для пингерного контроля, в начале разработки было решено изготовить и испытать микроконтроллерный модуль оцифровки и синхронизации, соединенный с персональным компьютером через стандартный интерфейс типа СОМ – порт. Оцифровку сигнала и его синхронизацию можно осуществить и другим способом – путем установки специализированных плат в системный блок компьютера. Однако, с учетом того, что старые компьютеры выходят из строя, а новые со старыми зачастую аппаратно не совместимы, особенно в условиях быстрого развития вычислительной техники и математического обеспечения, устройство оцифровки и синхронизации на базе микроконтроллера оказалось более универсальным и удобным в эксплуатации, поскольку использует только стандартный цифровой интерфейс. Это обстоятельство было подтверждено опытом многолетней эксплуатации системы пингерного контроля с использованием различных системных блоков компьютеров, моноблоков, ноутбуков и т.д.

Важным преимуществом новой системы по сравнению с традиционными (доступными на судах Института океанологии) является тот факт, что она использует в качестве управляющего прибора не жесткую конструкцию, а современный компьютер. Достаточно сравнить стандартную систему отображения на электрохимической бумаге, вредную для здоровья, и монитор компьютера с 256-ю градациями серого, который можно расположить в любом удобном для оператора месте, вплоть до расположения возле оператора лебедки. К тому же программное обеспечение системы контроля позволяет оптимально настраивать характерную черноту изображения для обеспечения оптимальной контрастности. Более того, использование компьютера позволяет одновременно получать изображение с разной скоростью горизонтальной развертки для уверенного контроля перехода изображения через верхнюю или нижнюю границу экрана, вызванную превышением времени распространения звука, кратного 1-й секунде (характерная длительность вертикальной развертки растрового изображения пинггерного сигнала). Также оказалось возможным оперативное архивирование данных измерений с использованием жесткого диска компьютера, постановка меток на записи для введения необходимых комментариев, и просмотр ранее сделанных записей. Совершенно очевидно, что ничего из перечисленного выше и близко невозможно при работе на штатном судовом оборудовании.

Что касается микроконтроллера блока оцифровки и синхронизации, в последней версии базирующегося на высокопроизводительном микроконтроллере семейства STM F103, то он не только обеспечивает высокую стабильность синхронизации с возможностью настройки точной частоты следования посылок пингера с началом каждого цикла оцифровки для каждого пингера индивидуально, но и производства в реальном времени цифровой узкополосной фильтрации сигналов, увеличивая отношение сигнал/шум. Важным полезным свойством последней версии системы оцифровки является также включение в ее структуру аналогового усилителя с диапазоном регулируемого усиления 0–50 дБ. В ряде случаев, это свойство аппаратура системы пинггерного контроля дает возможность уверенной работы с использованием только собственно акусто-электрического преобразователя, без дополнительных приборов.

Микроконтроллерная система оцифровки и синхронизации Лаборатории акустики океана за годы эксплуатации продемонстрировала высокую надежность. За все годы не было отмечено ни одного случая ее отказа. Опираясь на традицию Института океанологии, система по умолчанию рассчитана на частоту работы пингера 12 кГц, однако в ней зара-



нее предусмотрена возможность перестройки частоты приема в разумных пределах.

Входящий в систему контроля собственно пингер также продемонстрировал высокую надежность, при условии выполнения рекомендаций по его эксплуатации. В числе преимуществ данного пингера следует отнести некоторые особенности его конструкции, в числе которых следует упомянуть отсутствие жесткой связи между пьезокерамическим излучателем и прочным корпусом электроники. При размещении пингера на конструкциях погружаемых приборов это дает возможность оптимизировать способ крепления пингера к конструкции, для облегчения обслуживания и эксплуатации. Преимуществом конструкции пингера также является наличие специального кольца на его крышке, предназначенного для облегчения вскрытия корпуса при зарядке аккумуляторной батареи. Преимуществом пингера также является использование стандартных литий-полимерных батарей и, соответственно, стандартных зарядных устройств к ним. Программное обеспечение контроллера пингера позволяет оперативно влиять на его функциональные возможности. В частности, относительно недавно была добавлена возможность производить излучение с прореживанием, что позволяет увеличить при необходимости время функционирования пингера без дозаправки аккумулятора и уменьшить количество потенциально опасных вскрытий прочного корпуса с электронной.

К сожалению, в настоящее время система контроля не является абсолютно самодостаточной, поскольку для ее функционирования необходимо наличие собственно электро-акустического преобразователя. Часть судов института располагает такими приемниками, размещенными в днище судна и имеющими необходимую направленность и частотный диапазон, а другая – не располагает. В этой связи предполагается целесообразным продолжить усовершенствования системы пингерного контроля, имея целью создание полностью автономного комплекса для обеспечения проведения глубоководных работ с пингерным сопровождением с борта любого судна.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № 0149-2019-0011) при поддержке экспедиционных исследований РФФИ (проект №18-05-60070 «Арктика»)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Демидова Т.А., Носов А.В., Тихонова Н.Ф. Цифровая система пингерного контроля глубоководных приборов. // Сборник трудов XIII Международной конференции МСОИ-2013. (Современные методы и

средства океанологических исследований): Том I, Институт океанологии РАН – Москва, 2013. – С. 158-162.

2. **Носов А.В., Демидова Т.А., Тихонова Н.Ф., Юрицын В.В.** Развитие аппаратуры для обслуживания пингеров. // Сборник трудов XIII Международной конференции МСОИ-2013. (Современные методы и средства океанологических исследований): Том I, Институт океанологии РАН – Москва, 2013. – С. 162-166.

3. **Носов А.В., Демидова Т.А., Тихонова Н.Ф.** О повышении эффективности использования пингера.

МСОИ 2015, том 2, сс 215-217.

4. **А.В. Носов, Н.Ф. Тихонова.** Сравнительный анализ различных способов увеличения продолжительности работы пингеров без подзарядки. Электронный журнал «Океанологические исследования». ТОМ 45 № 2 с. 47-52. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2018.46(2).5

УДК 626/627.03.059

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ТРАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

<sup>1</sup> Дунчевская С.В., <sup>1</sup> Сторожев П.П., <sup>1</sup> Дьяконов М.В., <sup>1</sup> Шавырин И.А.,  
<sup>1</sup> Видихин С.В., <sup>1</sup> Колесников А.В., <sup>2</sup> Исмагилов М.И.

<sup>1</sup> ООО НПП «Форт XXI», 141074, г. Королев, ул. Пионерская, 4  
Тел./факс +7-495-789-9019, mail@fort21.ru

<sup>2</sup> АО «Кронштадт Технологии», 199178, город Санкт-Петербург, Малый  
проспект В.О., 54/5, лит. П, office@kronshtadt.ru

В статье рассматривается автоматизированный гидрографический комплекс, предназначенный для выполнения гидроакустического траления и гидрографической съемки акваторий морских портов и внутренних водных путей с получением цифровой информации в масштабе времени, близком к реальному в рамках глобальной концепции «е-Навигации».

The article considers automatic hydrography complex desined for hydroacoustic trawling and hydrography observation of marine port's water area and internal waterways, which provides getting digital information in almost real time within the global concept “e – Navigation”.

Целью создания автоматизированного гидрографического трального комплекса (АГТК) является повышение безопасности мореплавания и судоходства за счет выполнения работ по гидрографическому тралению дна с применением АГТК с получением достоверной цифровой информации в масштабе времени, близком к реальному, путем использования современного гидроакустического оборудования, спутниковых навигационных технологий ГЛОНАСС/GPS, web-технологий и беспроводных каналов передачи данных. АГТК был создан специалистами НПП «Форт XXI» и Группы «Кронштадт» в рамках ОКР «е-Море» по заказу Минтранса России.

Разрабатываемый АГТК предназначен для решения задачи оперативного получения достоверной информации о состоянии дна акватории и его изменении с получением всей информации в единой системе в цифровой форме. Формируемая в процессе выполнения гидрографического траления дна с применением АГТК информация должна стать неотъемлемой частью единой информационной системы тестовой акватории, формируемой Группой «Кронштадт» в рамках глобальной концепции «е-Навигации».

В настоящее время гидрографическое траление т.е. обнаружение препятствий на заданной глубине, производится механическим способом с помощью опускаемого на тросах рельса, что не позволяет с требуемой скоростью обследовать фарватеры морских акваторий, судовые хода внутренних водных путей и акватории портов. АГТК предназначен для проведения гидрографического траления бесконтактным способом в широкой полосе (рис. 1). Кроме того, в ходе траления комплекс позволяет проводить площадную гидрографическую съемку поверхности дна водоема.

Основой комплекса является компактная тральная платформа, опускаемая с катера на требуемую глубину траления. На платформе установлен гидролокатора бокового обзора (ГБО), плоскость сканирования которого расположена в горизонтальной плоскости влево и вправо от оси судна. Учитывая высокую чувствительность ГБО и непрерывность сканирования толщи воды в заданной плоскости, можно говорить о высокой вероятности обнаружения небольших препятствий на заданной глубине.

Функционально комплекс состоит из блоков, установленных непосредственно на борту плавсредства, трального устройства и тральной платформы, размещенной на тральном устройстве, опускаемой с борта судна на заданную глубину траления. Элементы Комплекса, установленные на плавсредстве (гидрографическом катере) включают в себя:

- навигационный блок для определения координат судна с использованием современных ГЛОНАСС/GPS технологий с сантиметровой точностью в режиме реального времени;
- комплект датчиков Системы измерения параметров перемещений для получения информации о параметрах движения судна (крен, дифферент, курс) в режиме реального времени;
- комплекс для получения цифровой модели рельефа дна на базе многолучевого эхолота (МЛЭ);
- комплекс для получения гидроакустического изображения поверхности дна на базе гидролокатора бокового обзора судового (ГБОС);
- АРМ оператора с установленным специализированным программным обеспечением.

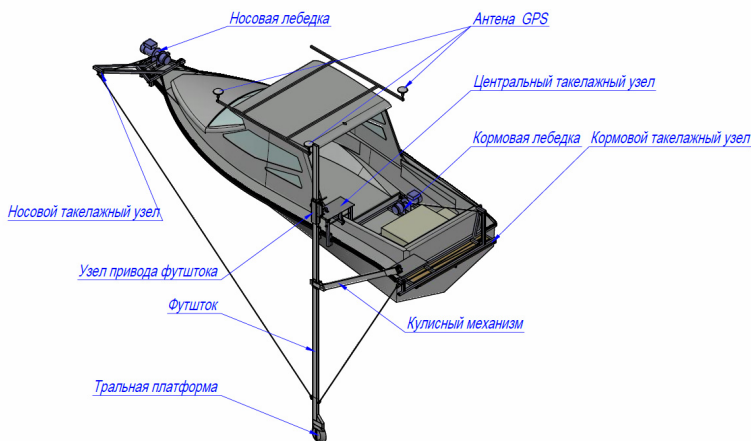


Рис. 1. Схема АГТК

Тральное устройство, установленное на плавсредстве (гидрографическом катере) включает в себя: футшток; узел крепления, фиксации и определения параметров перемещения футштока; тральную платформу; силовой трос; трос-оттяжку; лебедку; лебедку подъема и спуска платформы траления; фрикционную лебедку (рис. 2).

Элементы Комплекса, установленные на тральной платформе, включают в себя:

- Комплекс для получения гидроакустического изображения поверхности дна с определением местоположения и размеров объектов,

находящихся над линией гарантированной безопасной глубины на базе гидролокатора бокового обзора трального (ГБОТ).

- Комплект дополнительных датчиков для определения параметров перемещения футштока при взаимодействии с препятствиями для определения их высоты и координат.



Рис. 2 Предварительные испытания АГТК на моторной яхте

Элементы АГТК, аппаратные средства и программные средства, устанавливаемые на специализированном судне, предназначенном для выполнения гидрографического траления, решают следующие задачи:

- определение глубин акватории при проведении съемки с МЛЭ в режиме реального времени;
- получение цифровой модели рельефа дна в полосе съемки МЛЭ в режиме постобработки с оценкой точности;
- получение информации о параметрах движения судна (крен, дифферент, курс) в режиме реального времени;
- определение координат судна с использованием современных ГЛОНАСС/GPS технологий с сантиметровой точностью в режиме реального времени;
- получение информации о параметрах трального устройства в процессе траления (крен, дифферент, курс);
- обеспечение регулировки заглубления погружаемой части трального устройства;
- обеспечение защиты трального устройства от повреждений в результате столкновений с подводными препятствиями путем установки

специализированных устройств с одновременной автоматической сигнализацией и фиксацией на АРМ оператора фактов столкновения, координат точек столкновений;

- получение гидроакустического полутонного изображения дна с использованием ГБОС в режиме реального времени;
- получение гидроакустического полутонного изображения сектора сканирования ГБОТ на глубине траления в режиме реального времени;
- определение координат и размеров обнаруженных с использованием ГБОС и ГБОЛ объектов и автоматическое вынесение соответствующих отметок на карту в режиме реального времени и в режиме постобработки.

Специальное программное обеспечение АГТК в режиме постобработки решает следующие задачи:

- формирование уточненной цифровой модели рельефа (ЦМР) дна обследуемого участка акватории в режиме постобработки;
- формирование гидроакустического изображения поверхности обследованного участка дна акватории с выделением обнаруженных объектов;
- формирование каталога обнаруженных объектов с определением их размеров и характеристики опасности/безопасности для судоходства и мореплавания;
- формирование выходной информации в форматах, обеспечивающих ее интеграцию в информационную систему тестовой акватории.

УДК 626/627

## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ДЕТАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ.**

**Дунчевская С.В., Сторожев П.П., Дьяконов М. В.**

*ООО НПП «Форт XXI», 141074, г. Королев, ул. Пионерская, 4  
Тел./факс +7-495-789-9019, mail@fort21.ru*

Статья рассматривает эффективность новой технологии для проведения подводно-технических обследований ГТС, основанной на перемещении ТНПА по вертикальному тросу

вблизи стенки ГТС. Рассматриваются особенности конструктивного решения, позволяющего существенно улучшить качество обследования ГТС.

The article considers the efficiency of new technology for hydrotechnical construction investigation, which is based on ROV moving along the vertical rope near hydrotechnical construction wall. In addition, article considers characteristics of new technology, which give essential improvement in quality of hydrotechnical construction investigation.

В действующем стандарте СТО РусГидро 02.01.109 3013 подробно изложены требования к выполнению подводно-технического обследования ГТС. Стандарт устанавливает высокие требования к проведению подводно-технического обследования состояния поверхностей гидротехнических сооружений гидроэлектрических станций и примыкающих к ним со стороны верхнего и нижнего бьефов участков неукрепленных русел, к объему и качеству информации, получаемой в результате обследования, а также к составу и организации работ по проведению подводно-технического обследования. Главной задачей подводного обследования является своевременное обнаружение дефектов и повреждений элементов конструкции ГТС, а также наличие посторонних предметов, влияющих на снижение эксплуатационной надежности сооружений. В существующей практике обследованию применяются два метода: гидроакустический и визуальный. Исследованиям технологий в данной области посвящены ряд работ [1, 2]. Особый интерес в обследовании ГТС представляют элементы вертикальных конструкций и участков сопряжения вертикальных и горизонтальных элементов ГТС. В работе [2] показана эффективность применения многолучевого эхолота (МЛЭ) с функцией УНР и фокусировки лучей для получения детальной численной информации как о пространственной конфигурации элементов ГТС, так и об объектах, находящихся на дне. Следует отметить существующие высокие требования к обнаружению малоразмерных дефектов (размерами от 0.05 м на поверхностном слое бетонных конструкций, п 4.3.3 СТО), что в свою очередь накладывает требование на повышение рабочей частоты гидроакустических излучателей для вышеуказанных целей.

Рассмотрим существующие способы проведения обследований ГТС. Стандартным способом проведения обследований является использование специализированного водного транспортного средства, оснащенного гидроакустической аппаратурой. Однако, данный метод обладает двумя существенными недостатками: детализация съемки падает с глубиной из-за расходимости акустического луча и точность привязки к

объекту уменьшается с глубиной из-за рефракции акустического луча на температурных градиентах среды. Ярким примером является ситуация с обследованием Саяно-Шушенской ГЭС (глубина > 200 м) [2]. На глубине верхнего бьефа современные гидролокационные средства с лучом  $0.3 - 0.5^\circ$  способны обнаружить дефект подводной конструкции, если его линейный размер превосходит 2 метра. Другим способом проведения обследования ГТС является съемки с применением донного штатива (ВМТ). Недостатками данного метода являются: ограниченная область съемки, техническая сложность выполнения, низкая производительность, вероятность зацепов, низкая точность позиционирования донного штатива. Существует способ гидролокационной съемки с применением подводных телеуправляемых аппаратов (ROV). Недостатками данного метода является низкая эффективность, высокая вероятность зацепов ТНПА, требование к высокой квалификации телеоператора ROV, невозможность точной привязки изображения к объекту.

В предлагаемой технологии устранение вышеуказанных проблем при обследовании вертикальных конструкция ГТС предлагается решить путем разработки универсального гидроакустического модуля (УГМ), перемещаемого специальным носителем по тросовой опоре вдоль поверхности исследуемого объекта. Для проведения обследования УГМ оборудован гидролокатором высокого разрешения и системой позиционирования для привязки изображений к объекту. УГМ располагается на подводной платформе – носителе, которая оснащена приводом для вертикального перемещения и системой осевой стабилизации. Преимуществами данной технологии являются: высокая детализация изображения при выполнении съемки на глубине, а также высокая точность позиционирования носителя и привязки изображения к объекту. Принцип работы УГМ представлен на рис. 2. Высокая степень детализация изображений в полосе захвата шириной 10-80 м и высокая (субдециметровая) точность привязки изображения к объекту во всем диапазоне глубин обеспечивается использованием гидролокатора с высоким разрешением, а также работой систем позиционирования и осевой стабилизации при перемещении носителя (скорость движения 0.5 м/с) по тросовой опоре на близком (5-10 м) расстоянии от обследуемой поверхности ГТС, рис. 1.

Комплекс оборудования для обследования ГТС включает в себя следующие основные компоненты:

- Универсальный гидроакустический модуль (УГМ), включающий в себя: гидролокатор бокового (вертикального) обзора, датчики ориентации и перемещения, дополнительные датчики относительного положения;



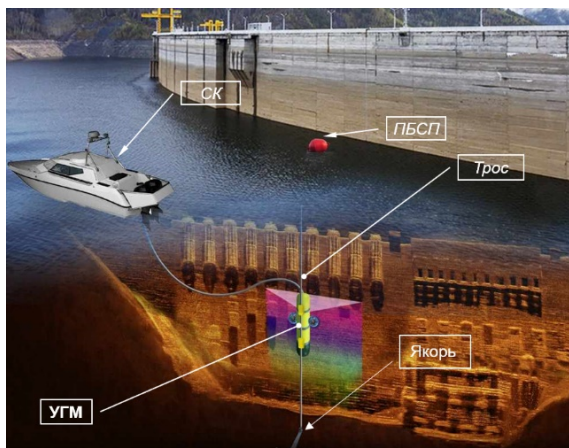


Рис. 1. Комплекс обследования ГТС

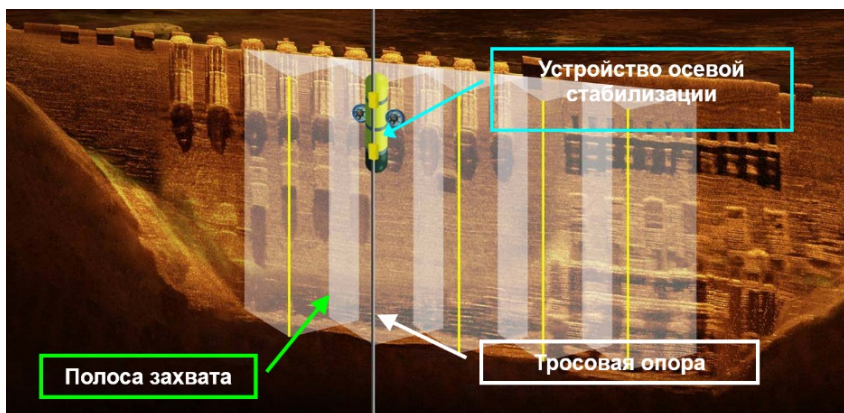


Рис. 2. Универсальный гидроакустический модуль, принцип работы

- Специализированный носитель для вертикального перемещения (СНВП), представляющий собой подводную платформу, перемещающуюся в вертикальном направлении по тросовой опоре, на которой размещены УГМ, вспомогательные гидроакустические датчики, датчики позиционирования и перемещения, система корректировки положения платформы в пространстве, блок гидрофизических и гидрохимических датчиков, подводная видеокамера с осветителем.

- Плавающий буй с системой позиционирования (ПБСП).
- Судовой комплекс (СК).

Использование данного комплекса должно существенно повысить качество, информативность и скорость обследования вертикальных конструкций ГТС, особенно при глубинах более 100 м.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Дунчевская С.В.** Возможности выполнения подводно-технических обследований ГТС в соответствии со стандартом СТО Рус-Гидро с применением современных технических средств. // Гидротехника, 2015. № 8.

2. **Дунчевская С.В., Иванов Л.А., Шабалин Ю.В., Шумаев Р.В.** Реализация комплексного подхода к подводно-техническому обследованию ГТС с применением современных технических и программных средств // Гидротехника, 2015. № 11.

УДК 626.02

### СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВОДОЛАЗОВ

**Дунчевская С.В.<sup>1</sup>, Сторожев П.П.<sup>1</sup>, Большаков Е.Н.<sup>1</sup>, Сагитов И.М.<sup>1</sup>**

*1000 НПП «Форт XXI», 141074, г. Королев, ул. Пионерская, 4  
Тел./факс +7-495-789-9019, mail@fort21.ru*

В статье рассматривается комплекс «Система контроля водолазов», предназначенный для контроля координат, глубины, скорости передвижения и физического состояния водолазов при проведении тренировочных и рабочих спусков.

The article considers complex «Diver control system» destined for coordinate, depth, speed and physical state of diver control during moving underwater for training and underwater works.

При проведении тренировочных и рабочих спусков, во время которых водолазам для решения поставленных задач необходимо удаляться на значительное расстояние от судна обеспечения или от береговой базы, наличие информации о местонахождении водолазов, глубине и скорости их перемещения, а так же их физическом состоянии является существенным фактором, повышающим безопасность выполнения спус-

ков. Система контроля водолазов (СКВ) представляет собой набор водолазных комплектов (до 8-16 шт.) и базовый комплект. Каждый водолазный комплект крепится на снаряжении водолаза, для обмена данными с АРМ руководителя спусков используется либо буюк с радиоканалом, перемещающийся за водолазом на тонком кабель-тросе, либо гидроакустический модем (если наличие находящегося на поверхности элемента является нежелательным). На базе находится комплект навигационного и приемо-передающего оборудования и АРМ руководителя спусков, который позволяет в реальном времени на карте акватории отслеживать положение, глубину, траекторию и скорость перемещения каждого из группы водолазов. Параметры, определяющие граничные значения показателей конкретного водолаза, задаются на АРМ руководителя, что позволяет получать автоматические извещения о возникновении нештатных ситуаций. Во время работы вся информация сохраняется и может быть использована для анализа результатов спусков. При возникновении ситуации, требующей оказания помощи, весьма важной является возможность незамедлительно сообщить руководителю спусков всю требуемую информацию – координаты водолаза, глубину, на которой он находится, его физиологические параметры.

Система контроля водолазов включает в себя следующие элементы:

- Буй водолаза
  - подводная часть, крепится на снаряжении водолаза – датчики глубины, температуры воды, физиологических параметров водолаза (ЧСС, температура тела), аварийная кнопка;
  - надводная часть (поверхностный буй) – ГНСС-приемник, мультиплексор, модем, световой маяк, сменная АКБ, аварийная кнопка);
- Приемная часть на базовом судне – АРМ оператора (моноблок в кейсе), ГНСС-приемник, приемо-передающий комплект, встроенная АКБ, программное обеспечение отображения и записи информации;
- Гидроакустическая система позиционирования RedWave (не обязательно);
- Дополнительная возможность – использование системы в режиме односторонней связи для передачи водолазам речевых сигналов (как всей группе одновременно, так и выбранным отдельным водолазам).

Схема работы СКВ с системой позиционирования с длинной базой показана на рис.1.

Комплекс «Система контроля водолазов» обладает рядом существенных достоинств:

- гибкая архитектура;

- использование различных комплектов оборудования;
- позволяет одновременно контролировать работу до 8 (опционально 16) водолазов;
- позволяет в реальном времени отслеживать работу и физиологическое состояние водолазов с выдачей сигнальных сообщений при нештатных ситуациях;
- позволяет просматривать параметры работы водолазов в пост-обработке;
- позволяет контролировать положение на акватории базовых буев системы навигации с длинной базой RedBase.

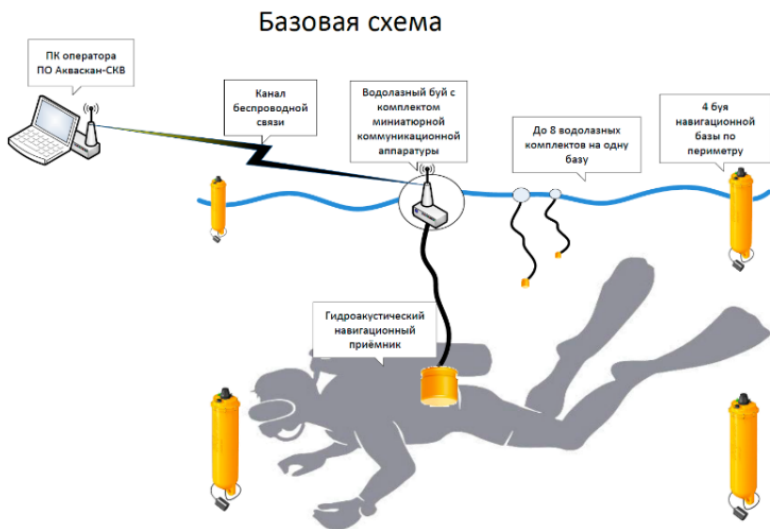


Рис.1. Схема работы СКВ с системой позиционирования с длинной базой

Система обладает тремя вариантами исполнения: подводный вариант, подводно-надводный вариант и надводный вариант. Подводный вариант включает в себя следующее оборудование:

- Комплект водолаза;
- Гидроакустическая система позиционирования RedWave;
- Акустический модем;
- Комплект связи и навигации на базовом судне;
- АРМ руководителя спусков

Подводно-надводный вариант включает в себя следующее оборудование:

- Комплект водолаза;
- Буй водолаза;
- Гидроакустическая система позиционирования RedWave;
- Комплект связи и навигации на базовом судне;
- АРМ руководителя спусков.

Надводный вариант включает в себя следующее оборудование:

- Комплект водолаза;
- Буй водолаза;
- Комплект связи и навигации на базовом судне;
- АРМ руководителя спусков.

Рабочее окно АРМ руководителя спусков показано на рис.2.

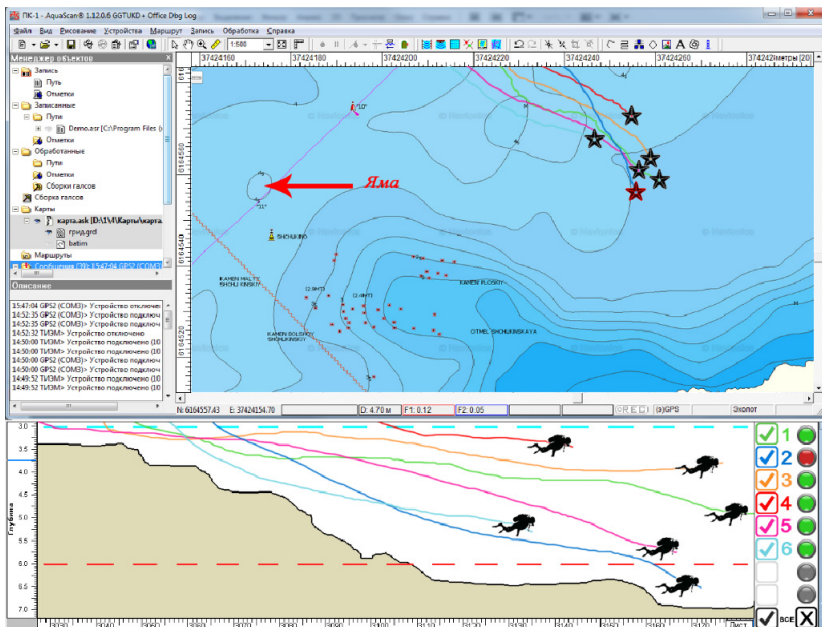


Рис. 2. Интерфейс программного обеспечения системы контроля водолаза

## **АВТОНОМНЫЙ ПРИВЯЗНОЙ ПРОФИЛОГРАФ «ВИНЧИ» ДЛЯ МОРСКОГО ШЕЛЬФА, ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ**

**Островский А.Г.<sup>1</sup>, Волков С.В.<sup>1,2</sup>, Зацепин А.Г.<sup>1</sup>, Кочетов О.Ю.<sup>1</sup>, Швоев Д.А.<sup>1</sup>, Ольшанский В.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,*

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

<sup>2</sup>*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Ленинский пр., 33, 8(495)1359745, vmolsh@yandex.ru*

Представлена разработка подводного аппарата лебедочно-го типа для автоматического зондирования водной толщи до поверхности моря с системой передачи данных измерений в реальном времени.

This presentation concerns with the new shallow-water winch-type tethered apparatus Winchi that serves as a full-water-column observational platform for collecting vertical profiles of environmental data in the sea coastal zone as well as in a lake. The profiler cylindrical body that consists of two parts as follows hermetically sealed, and operating in the water. The pressure-proof part of the profiler houses the winch motor drive, the microcontroller powered by ARM processor, the data logger, and the rechargeable battery. Profiler's exterior equipment includes a winch spool, a sampling sensor suite with pressure gauge, and a positioning-communication module. The latter includes a GSM communication modem with inbuilt GPS capability with antenna, LED beacon, and a sensor for air-sea interface. The outer buoyancy members help to stabilize the profiler and to pop the positioning-communication module up the sea surface for the data transmission. The profiler winch is tethered by the low stretch rope to bottom anchor or a submersible floatation. Two unique innovations of Winchi are as follows: (i) the compact and light-weight winch system capable of handling a load up to 150 N, (ii) the suspension with the rope guide rollers that allows for alignment of the profiler horizontally with the current.

Автономные «привязные профилографы» (англ. tethered profilers), которые с помощью гибкого троса соединены с донными якорями или другими подводными опорами, предназначены для измерений верти-

кальных профилей физических, биологических, химических и оптических параметров в фиксированных точках акватории в течение длительного времени. Важно, что привязной профилограф может периодически всплывать к поверхности водоема, чтобы провести измерения в самом верхнем слое воды и передать данные измерений в оперативном режиме, что повышает ценность его применения в задачах мониторинга водной среды и оперативной океанографии. Профилографы, оборудованные датчиками среды, стабильно работающими в автономном режиме, как правило, используются для мониторинга шельфовых вод от дна до поверхности моря, а также могут найти применение в лимнологии.

В автономных привязных профилографах, работающих на мелководье, применяются лебедки. Некоторые такие профилирующие комплексы включают два электронных управляющих устройства: одно – непосредственно на лебедке, второе – на подвижном носителе для управления процессом измерений параметров морской среды, в том числе с помощью датчика давления. Обе системы взаимодействуют по несущему кабелю, так как информация о глубине погружения измерительных датчиков является определяющей для управляющего устройства лебедки. В лебедке [1] используются кабель и токосъемник на валу лебедки. Уязвимость такого подхода очевидна, поскольку применение токосъемников ведет к увеличению габаритов лебедок и снижает надежность работы системы в целом.

Другой класс привязных профилографов составляют аппараты, имеющие только одним модуль управления, а на барабан лебедки намотан синтетический трос, второй конец которого закреплен на донном якорю. Такие привязные профилографы состоят не из двух или более частей, соединенных под водой кабелем, а из одного самодостаточного аппарата, в составе лебедки, блока батарей, электронного модуля управления, датчиков окружающей среды, модема связи. К таким профилографам относятся Thetis (<https://www.seabird.com/thetis-profiler/product?id=54627925754>) и Underwater Winch [2] ([https://www.nichigi.co.jp/en/en\\_products/en\\_ocean.html](https://www.nichigi.co.jp/en/en_products/en_ocean.html)). Эти аппараты имеют внушительные размеры и большую массу в воздухе. Их конструкция – рамная под установку модулей, включая плавучести, в разногабаритных корпусах Строгих требований к размерам модулей не предъявляется, поэтому свободная компоновка профилирующего аппарата в целом, и как результат – большие габариты и масса, например, для профилографа Thetis это: диаметр почти 0.8 м, длина 2.1 м, масса в воздухе от 100 до 160 кг. Постановка и выборка такого аппарата возможна только с помощью грузо-подъемных механизмов с борта судна,

которое далеко не всегда доступно для малобюджетных исследований в особенности в акваториях небольших водохранилищ и озер.

В данном докладе представлена разработка малогабаритного привязного профилографа лебедочного типа. Разработчики поставили себе задачу минимизации гидродинамического сопротивления и повышения устойчивости профилографа в потоке воды. В результате был разработан, изготовлен и испытан принципиально новый аппарат, названный «Винчи» (рис. 1), существенно отличающийся от зарубежных образцов. Этот мелководный аппарат между циклами погружения/всплытия базируется в метровом придонном слое для укрытия от траления и воздействия волн. Он имеет небольшие габариты (1.2x0.2x0.5 м) и массу (примерно 40 кг вместе с океанологическими датчиками), что делает его удобным для постановок с небольших лодок. Малые габариты аппарата достигнуты благодаря запатентованной конструкции лебедки с барабаном соосным прочному цилиндрическому корпусу [3]. Аппарат имеет поисково-коммуникационный модуль, включая GSM модем и радиоантенну, GPS/Глонасс модем спутниковой навигации, светодиодный маяк, и датчик поверхности раздела вода-воздух.

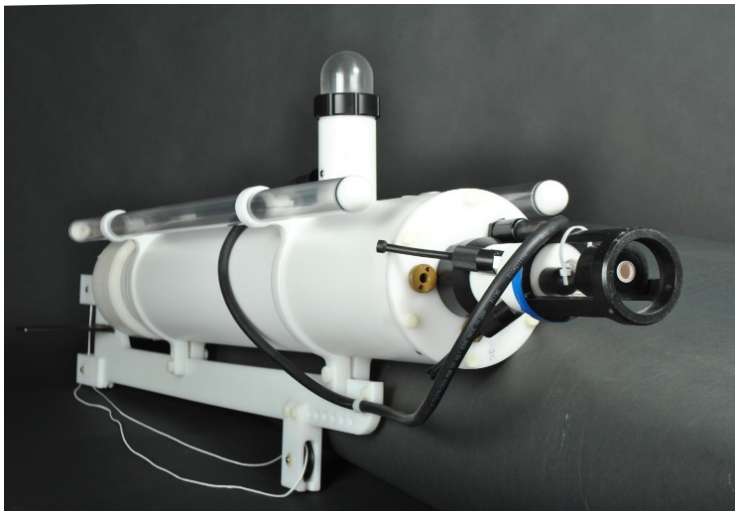


Рис. 1. Профилограф «Винчи» с СТД зондом RBRconcerto

В результате был создан малогабаритный и удобный аппарат с ресурсом аккумуляторной батареи для профилирования от горизонта 60 м



до поверхности моря 4 раза в сутки в течение как минимум 1 месяца. Профилограф предназначен для контактных измерений в автоматическом режиме вертикальных распределений гидрофизических и биооптических параметров водной среды (например, солености, температуры, давления, взмученности, флуоресценции хлорофилла-а) в заданной точке исследуемой акватории морского шельфа или внутреннего водоема и для передачи оперативно данные измерений потребителю.

Управление профилографом «Винчи» осуществляется с помощью аппаратно-программной платформы, разработанной специально для автономных подводных профилирующих аппаратов [4]. Аппаратная часть платформы представляет собой комплект электронных плат, на которых размещены 32-разрядный ARM-микроконтроллер и драйверы для работы с исполнительными механизмами, такими как двигатель постоянного тока. Программное обеспечение контроллера основано на модульном фреймворке в операционной системе реального времени. Постановка аппарата может осуществляться 2 специалистами с надувной лодки. Батарея питания – литий-ионная на элементах типоразмера 18650. Номинальное количество циклов профилирования составляет 200 до глубины 50 м (в зависимости от скорости течения). Стандартное оснащение профилографа – датчики производства RBR Ltd., Канада и Sea & Sun Technology GmbH, Германия.

Работа выполнена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН № 1.2.50 при частичной поддержке гранта РФФИ № 19-05-00459.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

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.

3. **Островский А. Г., Швоев Д. А.** Подводный лебедочный зонд // Пат. РФ № 2642677. – Заявл. 31.01.2017. – Оpubл. 25.01.2018. – Бюл. № 3.

4. **Кочетов О. Ю., Островский А. Г., Волков С. В., Ольшанский В. М.** Унифицированная аппаратно-программная платформа системы управления автономных подводных аппаратов // Подводные исследования и робототехника. – 2018. – №1. – С.59–69.

**ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНАХ ПОДВОДНОЙ РАЗГРУЗКИ  
ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ С  
ПОМОЩЬЮ БУКСИРУЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА  
«ВИДЕОМОДУЛЬ»**

**<sup>1</sup> Пронин А.А., <sup>1,2</sup> Римский-Корсаков Н.А., <sup>1</sup> Анисимов И.М.,  
<sup>1</sup>Белевитнев Я.И., <sup>1</sup>Тронза С.Н., <sup>1</sup>Лесин А.В.**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Москва, nrk@ocean.ru*  
<sup>2</sup> *МГТУ им.Н.Э.Баумана, Москва*

Описаны экспедиционные исследования ряда рейсов нис «Академик Мстислав Келдыш» в море Лаптевых в местах разгрузки газообразных углеводородов с использованием необитаемого буксируемого аппарата «Видеомодуль» и ГБО.

«Expeditionary work performed on a number of cruises on the R/V “Akademik Mstislav Keldysh” on the fields of methane seeps into the Laptev Sea using a towed uninhabited underwater vehicle (UTSI) “Video module”, towed locators and echo sounder are described.

В 2015-2018 гг в рейсах НИС « Академик Мстислав Келдыш» были проведены работы в районах разгрузки газообразных углеводородов в море Лаптевых с использованием буксируемого необитаемого подводного аппарата (БНПА) «Видеомодуль».

На схеме обозначено: красная пунктирная линия – маршрут эхолотного промера и гидролокационной съемки (ГБО «Мезоскан») в экспедиции АМК в 2017 году; синяя пунктирная линия – маршрут эхолотного промера в экспедиции АМК в 2018 году; красные точки – места локальных выделений газа по данным эхолотного промера и гидролокационной съемки, выполненных в 2017 году; синие точки – места локальных выделений газа по данным эхолотного промера, выполненного в 2018 году; красная сплошная линия – маршрут видеосъемки поверхности дна, выполненный с помощью БНПА «Видеомодуль» в 2017 году; синяя сплошная линия с временными метками – маршрут видеосъемки дна, выполненный с помощью БНПА «Видеомодуль» в 2018 году.

В ходе выполнения работ на полигонах были неоднократно зафиксированы газовые «факелы», установлены участки наиболее активной раз-

грузки углеводородов. Также определенный интерес вызвали проявления ледовой экзарации, обнаруженные на этих полигонах. На рис.2 представлено гидролокационное изображение дна («мозаика») построенная по результатам гидролокационной съёмки гидролокатором бокового обзора (ГБО) «Мезоскан» на полигоне Один в 2017 г. В северо-восточной части полигона видна крупная борозда ледовой экзарации, которая заканчивается характерной ямой выдавливания.

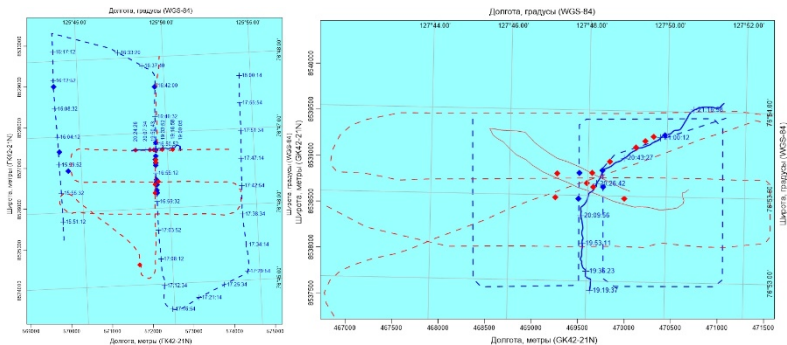


Рис. 1. Схема исследований на полигонах С-15 (слева) и «ОДИН» (справа)

При выполнении разреза с помощью БНПА «Видеомодуль» в 2018 г впервые использовался высокоразрешающий гидролокатор бокового обзора, установленный на подводном аппарате. С его помощью были зафиксированы ряд газовых «факелов», а также крупная борозда ледовой экзарации (ЛЭ), обнаруженная в 2017 г во время работ 69 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Траектория движения БНПА пересекла эту борозду, что позволило получить не только гидролокационное изображение высокого разрешения борозды но и соответствующие ему видео изображения самой борозды и отвалов донного грунта, образующих ее борта (рис.3-4). Существует мнение [Огородов 2011; Лобковский 2015 и др.], что на шельфе морей Российской Арктики наибольшая глубина моря, при которой возможно экзарационное воздействие на дно морского льда не превышает 60м. Поэтому борозды ЛЭ расположенные на больших глубинах принято считать реликтовыми, образовавшимися в эпохи регрессий [Лобковский и др. 2015]. По видео записи погружения на полигоне Один видно, что отвалы грунта по бортам борозды ЛЭ практически не сглажены. Возможно, что в данном случае мы наблюдали современную борозду ЛЭ, расположенную на глубине 67-68 м.

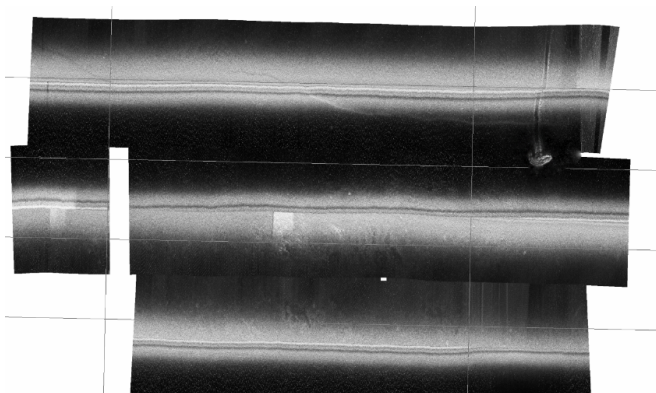


Рис. 2. Гидролокационное изображение поверхности дна (мозаика) на полигоне Один

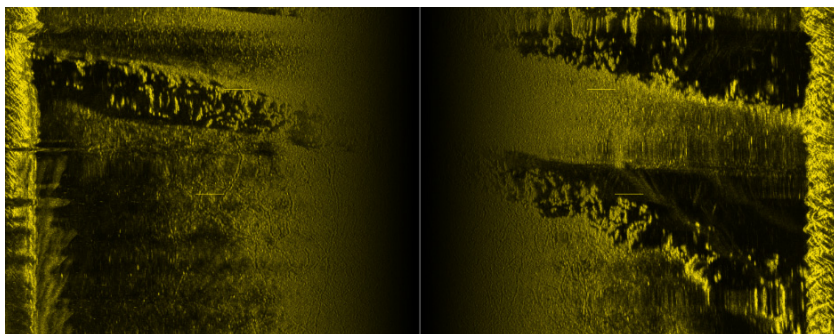


Рис. 3. Крупная борозда ледовой экскарации, изображение получено с помощью высокочастотного ГБО БНПА «Видеомодуль»



Рис. 4. Отвалы грунта на бортах и дно борозды ледовой экскарации

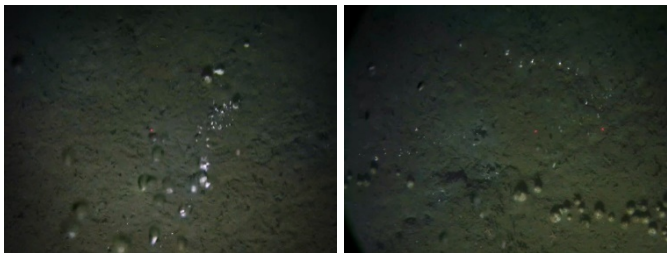


Рис. 5. Выход пузырьков свободного газа на поле С-15

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2019-0011) при поддержке РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект №18-05-60070 «Арктика»).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Поярко**в С.Г., **Римский-Корсаков** Н.А., **Флинт** М.В. Технические аспекты исследований окружающей среды западной части Карского моря // *Океанологические исследования*. 2017. Т. 45. № 6. С. 171–186.
2. **Огородов** С.А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. М.: Изд-во МГУ, 2011. 171 с.
3. **Лобковский** Л.И., **Никифоров** С.Л., **Дмитревский** Н.Н. и др. О процессах газовой выделения и деградации подводных многолетнемерзлых пород на шельфе моря Лаптевых // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 2. С. 312–320.
4. **Лобковский** Л.И., **Никифоров** С. Л., **Ананьев** Р. А., **Хортов** А. В., **Семилетов** И. П., **Якобссон** М., **Дмитревский** Н. Н. – Современные геолого-геоморфологические процессы на восточно – арктическом шельфе по результатам экспедиции на ледоколе «Оден» в 2014 г. // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 6. С. 1023–1027.
5. **Пронин** А.А. Методика сбора и представления материалов видеосъемки дна с помощью необитаемого подводного аппарата «Видеомодуль» // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017. № 12-1, С. 142–147.
6. **Римский-Корсаков** Н.А., **Пронин** А.А., **Белевитнев** Я.И., **Кортаев** В.Н., **Иванов** В.В. Синхронная гидролокационная и видеосъемка при геоморфологическом картировании дна водных объектов. В сб. «Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013». – М.: АПР, 2013. ISBN 978-5-904761-35-6. Т. 1. С. 216–219.

## **МЕТОДИКА ТИПИЗАЦИИ ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ В РАЙОНАХ ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

**Удалов А.А.<sup>1</sup>, Анисимов И.М.<sup>1</sup>, Белевитнев Я.И.<sup>1</sup>**

*1 Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, aludal@mail.ru*

Для мониторинга состояния донных сообществ районов захоронения радиоактивных отходов у архипелага Новая Земля предложен метод картирования подводных ландшафтов. Он основан на сочетании видеонаблюдения БНПА «Видеомодуль» с традиционными методами отбора проб бентоса.

A method for mapping underwater landscapes has been proposed for monitoring the benthic communities in radioactive waste disposal areas near the Novaya Zemlya archipelago. It is based on a combination of video surveillance of the "Videomodule" towed camera system with the traditional sampling methods of bottom fauna.

Помимо научного интереса к экосистемам краевых водоемов Арктики в исследовании прибрежной зоны архипелага Новая Земля существенную роль играет прагматический аспект, связанный с высокими рисками, обусловленными захоронением на этой акватории большого количества техногенных объектов – контейнеров с отработанным или не выгруженным ядерным топливом, судов и деталей судов различных типов, как подводных, так и надводных. Последствия этих рисков не всегда предсказуемы, в связи с чем остро встает необходимость экологической оценки состояния сообществ в местах захоронений.

Начиная с 2007 г во внутренних частях заливов Новой Земли в рамках комплексных экспедиций ИО РАН были проведены исследования донных сообществ заливов Благополучия, Степового, Абросимова, Цивольки, Седова, Ога, а также прилежащего склона и дна Новоземельской впадины, проведена оценка их экологического состояния. Впервые описаны донные сообщества ряда заливов [1, 2].

Тем не менее, стандартные методы исследования донных сообществ с использованием пространственной сетки станций и стандартных методов сбора зачастую крайне трудоемки, особенно при долговременном

мониторинге. При этом подходе на заранее выбранной сетке станций проводится бентосная съемка стандартными орудиями лова (дночерпатель и трал), а затем происходит выделение соответствующих сообществ донной фауны. Нами, напротив, предложен подход, основанный на изначальном выделении донных ландшафтов с помощью дистанционных методов исследования, их последующей типизации и сопоставлении количественных характеристик донной фауны с соответствующими выделами. Подобный подход удачно применялся в частности для Белого моря [3].

В рамках наших исследований осуществление данного подхода стало возможным после ввода в эксплуатацию БНПА «Видеомодуль», разработанного в институте океанологии для осуществления глубоководных визуальных наблюдений [4].

В первом приближении для исследуемого района выявляется характер распределения донных осадков и батиметрии дна с помощью акустических методов. На основе реконструкции дна полигона для полученных выделов проводится подводная видеосъемка с борта судна с помощью БНПА «Видеомодуль». При анализе видеоматериала учитываются тип и структура грунта, массовые виды флоры и фауны, выявляются характерные (устойчиво встречающиеся в конкретном ландшафте) виды мегафауны (крупные иглокожие, крабы, скопления двусторчатых моллюсков и т.д.). На основании данного анализа строится карта донных ландшафтов полигона. При этом конкретный ландшафт может оказываться как однородным по своей структуре, так и достаточно гетерогенным, например объединять мозаики нескольких грунтов (песчаные грунты со скальными выходами, т.д.) с различной фауной. Затем для каждого конкретного ландшафта в выбранных характерных точках (зависящих от его протяженности и гетерогенности) закладываются комплексные станции с целью описания таксономического состава, видовой структуры, количественных характеристик донных сообществ а также факторов среды (гидрологическая и гидрохимическая структура водных масс, тип и характеристики грунта). На этих станциях проводится прямой отбор проб макро- и мейобентоса с помощью стандартных орудий лова (дночерпатели «Океан» и «Ван-Вин», трубка Неймисто, боксорер и трал Сигсби). Совместное использование этих орудий лова позволяет получить данные о фауне, видовом и количественном составе практически всех основных размерных групп донного населения – мейо-, макро- и мегабентоса. Также проводится учет крупных животных вдоль видеотрека.

Предварительные прямые видеонаблюдения позволяют избежать ошибок, связанных с высокой степенью пространственной гетерогенно-





должительностью более 20 часов с помощью БНПА «Видеомодуль» на дне заливов и Новоземельской впадины. Выделено и описано 6 типов ландшафтов для заливов Ога, Седова, Благополучия и Абросимова на глубинах 30-100 м. В выделенных ландшафтах проведены траления и выполнены дночерпательные станции. В качестве примера подобного описания мы приводим результаты для одного из характерных донных ландшафтов залива Седова (рис. 1).

Данная методика с использованием БНПА «Видеомодуль» позволяет получать достоверную информацию о донных сообществах и картировать их на больших площадях дна, при этом минимизируя усилия по сбору и обработке количественных проб донной фауны.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0149-2019-0008 при поддержке РФФИ (проекты № 18-05-60070, работы с борта судна, получение видеоматериалов и 18-05-60053, камеральная обработка и определение организмов донной фауны).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Удалов А.А.** Донная фауна залива Благополучия (Новая Земля, Карское море) / А.А. Веденин, М.И. Симаков // *Океанология*. – 2016. – Т. 56. – № 5. – С. 720–730.

2. **Чава А.И.** Донная фауна залива Цивольки (архипелаг Новая Земля, Карское море) / А. А. Удалов, А. А. Веденин, С. А. Шука, В. О. Мокиевский // *Океанология*. – 2017. – Т. 57. – № 1. – С. 160–170.

3. Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов (труды Беломорской биостанции МГУ, т. 11) / В.О. Мокиевский, В.А. Спиридонов, А.Б. Цетлин, Е.Д. Краснова (ред.). М.: Т-во научных изданий КМК. – 2012. – 173 с.

4. **Пронин А.А.** Методика сбора и представления материалов видеосъёмки поверхности дна с помощью необитаемого подводного буксируемого аппарата «Видеомодуль» // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2017. – № 12 (часть 1) – С. 142–147.

## У. ЭКОЛОГИЯ ОКЕАНА

УДК 551.464.621 (261)

### ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ БПК В ПРОБАХ ВОДЫ В ДЛИТЕЛЬНЫХ ОПЫТАХ

Леонов А.В.<sup>1</sup>, Чичерина О.В.<sup>1</sup>, Икко О.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-58-29,  
E-mail: leonov@ocean.ru

<sup>2</sup>Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН  
просп. А. Невского, 50, г. Петрозаводск, Республика Карелия,  
E-mail: vos-olga-zenia@yandex.ru

Свыше 230 экспериментов по БПК (продолжительностью 84–126 сут.) было выполнено в воде, отобранной в Белом море и в водоемах Карелии в разные сезоны 2012–2017 гг. Проведен анализ изменений типов кривых БПК и оцененных значений их кинетических параметров. Изменение параметров БПК оценено по сезонам года и особенностям органического вещества в исследуемых водах.

More than 230 BOD experiments (lasting 84–126 days) were carried out in the water from Karelian Reservoirs in different seasons of 2012–2017. The analysis of changes in the types of BOD curves and their kinetic parameters were performed. The variability of BOD parameters are estimated for seasons, as well as types of OM in water environment.

Новая информация по БПК или серия долгосрочных наблюдений по кинетике БПК (за 84–126 сут.) в воде, отобранной из Белого моря и из >30 различных водоемов Карелии (всего 231 эксперимент) [3]. Для описания встречаемых в этих экспериментах БПК-кривых использовались уравнения: экспоненциальное (E), автокаталитическое (A), экспоненциально-автокаталитическое (EA), полиавтокаталитическое (AA), экспоненциально-линейное (EL), автокаталитически-линейное (AL), экспоненциально-автокаталитически-линейное (EAL), полиавтокаталитически-линейное (AAL) [1]. В этих уравнениях использованы следующие кинетические параметры, описывающие динамику БПК в экс-

периментах:  $k$  – константа скорости БПК I-го порядка,  $\text{сут}^{-1}$ ;  $k_k$ ,  $w_1$ ,  $w_2$  – константы скорости БПК II-го порядка, ( $\text{л} \times \text{мг O}_2^{-1} \times \text{сут}^{-1}$ );  $v_1$ ,  $\omega_S$  – соответственно скорости БПК на I-й стадии и на линейном участке БПК,  $\text{мг O}_2/(\text{л} \times \text{сут})$ ;  $[\text{O}_2]^I$ ,  $[\text{O}_2]^{II}$  – предельные значения БПК соответственно на I-й и II-й стадиях,  $\text{мг O}_2/\text{л}$ ;  $B_{01}$ ,  $B_{02}$ ,  $\eta_{01}$ ,  $\eta_{02}$  – параметры, определяемые при обработке БПК-кривых ( $[B_0]=k/k_k$ ;  $[\eta_0]=[B_0]/[\text{O}_2]$ ).

ОВ в воде водоемов Карелии подразделяется на **автохтонное** (создается в воде водоемов фитопланктоном) и **аллохтонное** (привносится в водоемы с территории водосборов с речным стоком и со сточными водами). За последние 10 лет в водах гумидной зоны на разных водоемах Карелии были исследованы значения косвенных показателей ОВ (ПО, ХПК, Цв, Линт) и разрабатывались методы измерения ОВ (автохтонных и аллохтонных фракций). Значения косвенных показателей содержания автохтонных и аллохтонных ОВ составляют: ПО/ХПК – 0.16–0.32 и 0.40–0.63; C/N –  $< 15$  и  $> 30$ ; Линт /ХПК – 1–4 и 6–9. Значение светопоглощения  $I_{\text{инт}}$  аллохтонного ОВ значительно выше, чем у автохтонного ОВ (в видимой части спектра – 20 и 1, а в ультрафиолетовой – 425 и  $56 \text{ л} \times (\text{мг O})^{-1} \times \text{см}^{-2}$ ).

Содержание **автохтонного ОВ** в водах Карелии: меняется мало: от 1.7 до 4.4 (среднее  $3.2 \pm 0.8$ ) мг С/л; наименьшие – в олиготрофных озерах (Урос, Урозеро, Вендюрское, Каменное, Онежское – центральный плес). При цветении воды в евтрофных озерах возрастает растворенное автохтонное ОВ за счет взвешенной формы. Углеводы (У), липиды (Л) и белки (Б) – основные формы автохтонного ОВ. Среднегодовые концентрации У в олиго- и мезотрофных озерах близки (в среднем 3.7 мг/л, или 1.5 мг С/л), а в евтрофных – выше (4.8 мг/л, или 1.9 мг С/л). Доля У в ОВ в среднем 21%. Содержание Л (по С) – в ~6 раз ниже (всего 2.1–5.0%), зимой наименьшее, весной – наибольшее, летом и осенью – 3.5%. Наименьшая доля Л отмечена в высокогумусных озерах, наибольшая – в олигогумусных олиготрофных озерах с высоким содержанием автохтонного ОВ (до 6–14% с наибольшим весной при активной вегетации диатомовых). Содержание Б в малых озерах – 0.1–0.92 (среднее 0.27) мг/л, а в больших стратифицированных (например, в Ладожском и Онежском) при вегетации планктона – 0.02–0.21 (0.09) мг/л. На долю Б приходится 1.4% общего ОВ (по ХПК) в озерах Карелии.

Концентрации аллохтонного ОВ в поверхностных водах водоемов Карелии озерах (Верхнее, Вегарус, Салонъярви, Шотозеро), а наименьшее – в ультра- олигогумусных озерах (Урос, Урозеро). В высокогумусных озерах при высоком аллохтонном ОВ (до 83%) содержание в нем гумусовых веществ (фульвовых и гуминовых кислот) достигало в сред-

нем 89% (на долю фульво- и гуминовых кислот приходилось соответственно 76 и 24%). Содержание С в фульвокислотах менялось в разные сезоны в пределах 11.6–14.4 (среднее  $13.5 \pm 1.5$ ) мг/л, а в гуминовых кислотах – 1.0–7.7 ( $4.6 \pm 3.4$ ) мг/л.

Для выяснения общих закономерностей динамики БПК в природных водах Карелии были проведены эксперименты по БПК с водой, сохраняемой параллельно при 10 и 20°C: наибольшее их число проведено в 2013 г.

Наибольшее количество параллельных экспериментов по БПК при 10 и 20°C было проведено в 2013 г. – 34 или 32.1% всех опытов; за 2012–2014 гг. выполнено наибольшее количество опытов (всего 79, или 74.5–70% всех экспериментов при 10°C). Почти одинаковое число опытов по БПК при 10 и 20°C проведено весной, летом и осенью (27–34, или 25.5–32%), зимой – опытов меньше (18, или 17.0%).

Анализ экспериментальных данных по БПК показывает, что на I-й стадии процесса за ~15–20 сут происходит окисление лабильных фракций ОВ, а на последующих стадиях (развиваются либо с ускорением, либо линейно) – более «стойких» к биоокислению фракций ОВ. Автохтонное ОВ относится к лабильным, а аллохтонное – к более «стойким» к биоокислению фракциям ОВ. Развитие только одной I-й стадии БПК за 15–20 сут фиксировалось только один раз: при 20°C в пробе воды из устья р. Шуя (лето, 2013 г.) – результат полного исчерпания растворенного О<sub>2</sub> в пробе воды за 20 сут. В большинстве экспериментов отмечено мультистадийное развитие БПК.

Классическое развитие БПК выявлено в воде из Белого моря (пример развития БПК в речной воде, разбавленной в естественных условиях морской водой). Данные эксперимента с водой из Белого моря показывают, что в поверхностной морской воде при 20 и 10°C условия окисления ОВ, фиксируемые БПК, на I-й стадии описываются уравнениями А-типа; II-я стадия при 20°C также описывается уравнением А-типа, а при 10°C эта стадия не фиксируется. Развитие БПК на линейном участке при двух температурах идет с близкими скоростями (рис.). БПК в морской воде в длительных тестах описывается EL- и AL-типами уравнений со значениями [O<sub>2</sub>]<sub>I</sub>, близкими наблюдаемым в тестах с водой из Белого моря (0.66–1.14 мг O<sub>2</sub>/л) [2].

В целом в экспериментах 2012–2017 гг. выявлены разнообразные типы характерного развития БПК в водах из водоемов Карелии. Есть много примеров формирования отдельных типов мультистадийного развития БПК (типы EL, AL, EAL, AAL) при 20 и 10°C. Для ряда водоемов установлена сезонная смена типов БПК-кривых, которая имеет свои отличия при выдерживании проб воды при разных температурах. В

ряде экспериментов выявлены следующие особенности развития БПК в воде водоемов Карелии:

– I-я стадия БПК одинаково активна при 20 и 10°C (например, в воде из Онежского оз., весна 2013 г.; и др.);

– развитие БПК по длительной (30–80 сут) экспоненте (названа условно «кажущейся экспонентой», КЭ). Значения параметров БПК для КЭ для разных сезонов меняются в пределах:  $k_1$  –0.012–0.028 сут<sup>-1</sup>,  $[O_2]^I$  = 6.7–8.1 мг О<sub>2</sub>/л, и  $v_1$  = 0.065–0.250 мг О<sub>2</sub>/(л × сут) (наименьшие – для зимы, наибольшие – для лета).

Эти параметры не характеризуют условия окисления автохтонного ОВ на I-й стадии, их значения не оценивают затраты О<sub>2</sub> на окисление лабильного ОВ. Образование КЭ – итог одновременного развития не завершенной I-й стадии и начавшегося развития II-й стадии, плато между стадиями нет. Совместные эксперименты при 10 и 20°C позволяют надежно выявлять стадии процесса и оценивать отдельно их кинетические параметры.

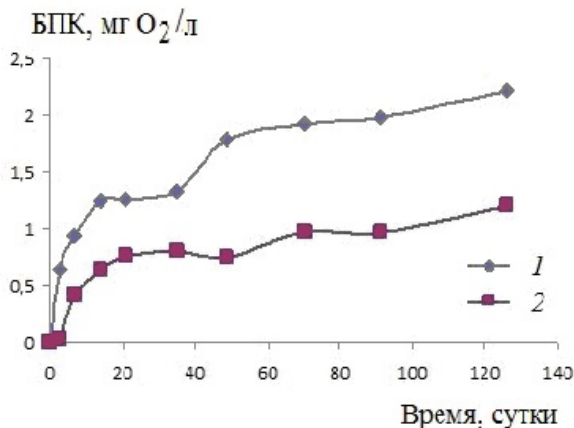


Рис. Развитие БПК в экспериментах при 20°C (1) и 10° С (2) в воде из Белого моря (лето 2013 г.)

$$(1): \text{AAL-тип БПК} = \frac{0.357(e^{0.436t} - 1)}{(1 + 0.313 e^{0.436t}) + 4.87 \cdot 10^{-10} \cdot (e^{0.493t} - 1)} / \frac{1}{(1 + 1.32 \cdot 10^{-9} e^{0.493t}) + 0.0056 t}$$

$$[O_2]^I = 1.14; w_1 = 0.436; B_{01} = 0.357; v_1 = 0.1774; w_2 = 0.493; B_{01} = 4.87 \cdot 10^{-10}; [O_2]^{II} = 0.37; \omega_S = \mathbf{0.0056}$$

$$(2): \text{AL-тип БПК} = \frac{0.0506(e^{0.338t} - 1)}{(1 + 0.0767 e^{0.338t})} + 0.0042 t$$

$$[O_2]^I = 0.660; w_1 = 0.338; B_{01} = 0.0506; v_1 = 0.0113; \omega_S = \mathbf{0.0090}.$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Леонов А.В.** Особенности кинетики биохимического потребления кислорода в природных и сточных водах: Дисс. канд. хим. наук. М.: ГОИН, 1974. 240 с.
2. **Леонов А.В.** Изучение кинетики биохимического потребления кислорода в пробах атлантической воды // *Океанология*. 1977. Т. 17. Вып. 2. С. 243–252.
3. **Леонов А.В., Лозовик П.А., Икко О.И.** Использование экспериментальных данных по биохимическому потреблению кислорода для корректной оценки состояния водных объектов и качества природных вод // *Труды Карельского НЦ РАН*. 2018. № 3. С. 11–30.

УДК 639.2.053.7(28)

### **ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ПОЛЕЙ ЛАМИНАРИИ (*SACCHARINA JAPONICA*) У ПОБЕРЕЖЬЯ ПРИМОРЬЯ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

**Крупнова Т.Н., Матвеев В.И., Зуенко Ю.И., Цыпышева И.Л.**

*Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,  
пер. Шевченко, 4, 690091, г. Владивосток, 8(423)2407146  
tatyana.krupnova@tinro-center.ru*

Представлены результаты исследований прибрежных течений и их влияния на распространение зооспор промыслового вида бурых водорослей ламинарии японской (*Saccharina japonica*) при проведении работ по восстановлению полей этой водоросли.

The results of studies of coastal currents and their influence on the distribution of zoospores of commercial species of Japanese kelp (*Saccharina japonica*) during the restoration of the fields of this algae are presented.

Бурые водоросли, наряду с диатомовыми, являются главными продуцентами первичной продукции в гидросфере, играют важную роль в глобальном цикле углекислого газа за счет фиксации углекислоты и связывания растворенной органики для последующего перевода ее в глубинные слои водной толщи. Также они являются ценным сырьем для

производства продуктов питания, фармацевции, служат основой биоценозов в прибрежье.

В настоящее время у берегов многих стран, в том числе и в Японском море, происходит деградация полей крупных бурых водорослей. Освободившиеся площади дна занимают конкурентами ламинарии за субстрат, в первую очередь известковыми корковыми водорослями, которые из-за особенностей своего жизненного цикла представляют значительную угрозу для самовосстановления полей этой водоросли.

В ТИПРО разрабатывается и совершенствуется биотехнология восстановления полей ламинарии в местах ее бывшего произрастания. Наиболее успешно применение этой технологии в закрытых и полужакрытых бухтах, где в условиях слабой динамики вод обеспечиваются высокие концентрации зооспор на участках оспоривания и, соответственно, высокая плотность проростков. Вышедшие из маточных слоевищ зооспоры обладают собственной двигательной активностью и могут преодолевать расстояние в 3, 5 в спокойной воде в аквариуме. В море зооспоры могут передвигаться на более значительные расстояния благодаря течениям. Для побережья Приморья характерны открытые бухты и обширные участки побережья, полностью открытые волнению. Активная гидродинамика и хороший водообмен способствуют росту ламинарии, поэтому именно такие участки могли бы обеспечить наиболее эффективное товарное выращивание водоросли.

В условиях повышенной динамики среды мариводы сталкиваются с большими трудностями при искусственном воспроизводстве ламинарии, в связи с чем в настоящее время проводятся исследования влияния волнения и течений на процесс искусственного оспоривания природных субстратов в открытых бухтах и на полностью открытых участках побережья Приморья. В ходе исследования особое внимание уделяется определению характера и локации оседания зооспор ламинарии относительно мест оспоривания и выработке приёмов оспоривания, обеспечивающих наилучшее прорастание зооспор.

Оценка влияния течений на двигательную активность зооспор проводится путем выполнения гидрологических съемок в местах восстановления полей ламинарии от уреза воды и до глубины 20 м и сопоставления направленности течений с местом прорастания спорофитов после размещения простимулированных для массового выхода зооспор маточных слоевищ на дно. Течения рассчитывались динамическим методом, которые на поверхности характеризовались следующими особенностями. У полуостровов экспериментальных полигонов поток водной массы был направлен в сторону берега, что вероятно является следстви-

ем взаимодействия Приморского течения с дном. Затем по мере влияния берега эта ветвь отклонялась на юг, разворачивалась и двигалась в море. Причем такой характер движения вод наблюдался во всем обследованном слое. Схема течений в придонном слое практически повторяла поверхностную направленность.

Циркуляция выявленных прибрежных локальных течений хорошо согласуется с местом появления рассады после оспоривания дна в этом районе. Обильное появление рассады (около 5 тыс. экз./м<sup>2</sup>) отмечено у берегов полуостровов на расстоянии около 30–50 м от места размещения простимулированных маточных слоевищ. Затем, плотность рассады снижалась – у южной оконечности полуострова она составляла около 2–3 тыс. экз./м<sup>2</sup>, в следующих бухтах за полуостровами плотность рассады была единичной, несмотря на одинаковое исходное количество размещенных маточных слоевищ на дно. Видимо, часть вышедших зооспор из маточных слоевищ на этом участке была вместе с течением перенесена в открытое море.

Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии местных локальных течений на направление движения зооспор и их оседание на донный субстрат. Для гарантированного получения рассады ламинарии на открытых участках побережья необходимо проводить мониторинг гидрологической ситуации, что будет способствовать более эффективному использованию биотехнологии восстановления полей водоросли.

УДК 574.583(26)

## **МЕЗОПЛАНКТОННЫЕ СООБЩЕСТВА ПРИБРЕЖНЫХ ВОД АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ АКВАТОРИИ СРЕДНЕГО КАСПИЯ**

**Джалилов А.Г.**

*Институт Зоологии Национальной Академии Наук Азербайджана, AZ1073,  
г. Баку, ул. Аббасзаде, проезд 1128, квартал 504,  
тел. +994 12 539-73-71, + 994 12 539-73-53, anvarj@mail.ru*

В статье рассмотрена сезонная динамика, численность и биомасса мезопланктона. Охарактеризованы аспекты воздействия биотических и абиотических факторов на мезопланктона. Оценили пространственно-временную изменчивость, качественные и количественные характеристики мезопланктонных сообществ.



Mesoplankton seasonal dynamics, the number of and biomass have been considered in the text. Biotic and abiotic have been defining aspects of mesoplankton influence of the factors. Changeability on place and tense of the features of species composition of the mesoplankton unities and quantity has been valued.

Каспийское море – крупнейший бессточный водоем. Он не имеет связи с мировым океаном, поэтому по географическому определению является озером [4], но при этом сохраняет унаследованные особенности моря, проявляющиеся в характере гидрологического режима, а также составе флоры и фауны. Зоопланктон Каспийского моря не отличается высоким видовым богатством. В нем присутствует около 120 разновидностей мезопланктеров (коловраток, ветвистоусых и веслоногих рачков) и 70 видов инфузорий [1, 6]. Фауна Каспия, формировавшаяся в условиях длительной изоляции, оказалась очень неустойчивой к появлению новых видов, вызывавших в XX веке сильные изменения в экосистеме. Количество вселенцев невелико, но они занимали доминирующее положение, вызывают перестройку всего сообщества [5]. Проникновение экзотических видов в Каспийскую экосистему привело к перестройке видового и количественного состава Каспийской фауны [2]. Эндемики Каспия, основные кормовые объекты рыб планктофагов в исследованных разрезах уже не встречались. Несмотря на колебания численности отдельных, в том числе доминирующих видов общая структура современного планктонного сообщества Азербайджанской акватории Каспийского моря остается более или менее постоянной [3].

Съемка мезопланктона проводилась в прибрежных водах, Азербайджанской акватории Среднего Каспия в 2011–2015 гг. Мезопланктонные пробы собраны сеткой Джеди изготовленные из сита №38 и образотаны общепринятой гидробиологии методами [7]. Подготовлены список видов встреченных в исследуемой части моря. Уточнено пространственное распределение, плотность и биомасса этих видов. Параллельно проводилось гидрологические исследования. Измерялся прозрачность и вертикальные изменения температуры.

2011 г. в прибрежных водах, Азербайджанской акватории Среднего Каспия численность мезопланктона изменялась в пределах от 2380 до 6700 экз/м<sup>3</sup>, а биомасса от 59 до 139,42 мг/м<sup>3</sup>. В 2011 г. в мезопланктоне обнаружены 16 видов и личинки других беспозвоночных из трех групп (*Mnemiopsis*, *Balanus* и Mollusca). По численности и биомассе преобладали ветвистоусые. Их доля из общей численности мезопланктона составляла; весной–61% (4100 экз/м<sup>3</sup>), летом – 47% (3358 экз/м<sup>3</sup>), осенью

63,87% (1520 экз/м<sup>3</sup>). Доля ветвистоусых с общей биомассу мезопланктона была; весной – 54% (75,45 мг/м<sup>3</sup>), летом – 47% (63,59 мг/м<sup>3</sup>), осенью 50,37% (29,72 мг/м<sup>3</sup>) (рис. 1). Высокая численность и биомасса ветвистоусых наблюдаются весной. Биомасса ветвистоусых находится в прямой зависимости от их численности, поэтому изменения биомассы носило тот же характер, что и общей численности. Доля веслоногих рачков с общей численности мезопланктона была; весной 21% (1417 экз/м<sup>3</sup>), летом – 25% (1775 экз/м<sup>3</sup>), а осенью 25,63% (610 экз/м<sup>3</sup>). Биомасса веслоногих рачков составляла; весной 41% (57,09 мг/м<sup>3</sup>), летом – 46% (62,41 мг/м<sup>3</sup>), а осенью 49,2% (29,03). В мезопланктоне по биомассе преобладают веслоногих и ветвистоусых рачков. Непосредственно в прибрежной зоне с повышением температуры воды активно развивались личинки прочих беспозвоночных животных.

В 2012 году в мезопланктоне отмечено 18 видов и личинки прочих беспозвоночных (*Mnemiopsis*, *Balanus* вт Mollusca). В прибрежных водах, коловратки составляли незначительную часть (9,26%) численности и биомассы (0,43%) мезопланктона. Доля ветвистоусых из общей биомассу мезопланктона составила; весной – 44,9%, летом – 49,75%, осенью – 49,07% (рис. 2). В сравнении прошлым годом здесь количества Сорепода 2 раза увеличилась. Доля Сорепода с общей биомассу мезопланктона составляла весной – 52,75%, летом – 44,3, а осенью – 50,63% (рис. 2). В 2012 г. численность мезопланктона изменялось от 4544 до 14414 экз/м<sup>3</sup>, а биомасса от 127,8 до 302,77 мг/м<sup>3</sup>.

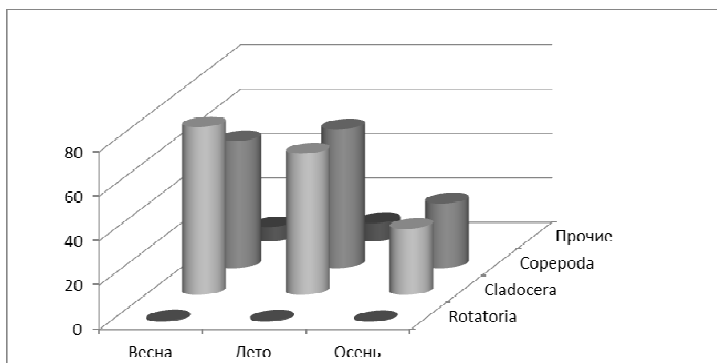


Рис.1. Сезонная динамика основных групп мезопланктона в прибрежных водах, Азербайджанской акватории Среднего Каспия в 2011 г. (мг/м<sup>3</sup>)

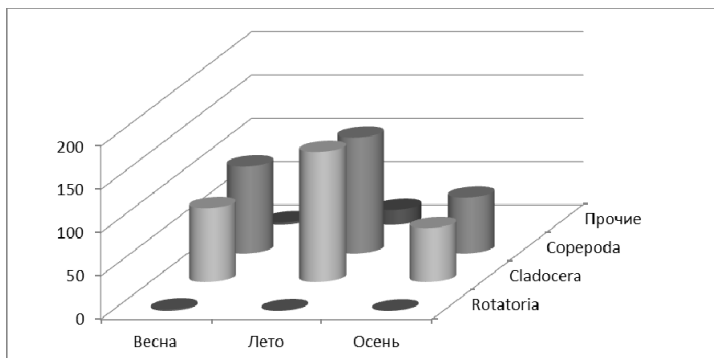


Рис. 2. Сезонная динамика основных групп мезопланктона в прибрежных водах, Азербайджанской акватории Среднего Каспия в 2012 г. ( $\text{мг}/\text{м}^3$ )

В 2013 году в видовом составе мезопланктона обнаружены 16 видов и личинки других беспозвоночных из трех групп. В мезопланктоне доминировали коловратки; *Asplanchna priodonta priodonta*, ветвистоусые – *Pleopis polyphemoides*, *Evadne anonyx typica*, *Ev.anonyx producta*, *Podonoevadne trigona typica* и веслоногий рачок – *Acartia clausi*. Биомасса ветвистоусых рачков составляла: весной –  $155,85 \text{ мг}/\text{м}^3$  (52,44%), летом –  $111,14 \text{ мг}/\text{м}^3$  (42,09%) (рис. 3). Как и прошлые годы, веслоногие рачки были представлены преимущественно веслоногим рачком *Acartia clausi*. Доля веслоногих ракообразных в общем биомассе мезопланктона составила: весной – 41,44%, летом – 50,64%. Доля личинок прочих беспозвоночных из общей биомассы мезопланктона составила: весной – 5,67%, летом – 6,9%. Значения биомассы мезопланктона изменялась в пределах  $264,07 - 297,18 \text{ мг}/\text{м}^3$ , численности от  $14209$  до  $15676 \text{ экз}/\text{м}^3$ .

В 2014 г. было отмечено 19 видов мезопланктона (8 видов коловраток, 8 – клadoцер и 3 – копепод) и личинки прочих 3 групп. Средние показатели численности и биомассы мезопланктона за период исследований составили по численности  $1557$  и  $5157 \text{ экз}/\text{м}^3$ , по биомассы  $45,66$  и  $89,35 \text{ мг}/\text{м}^3$ , соответственно. Во все сезоны по численности доминировал, коловратка *Asplanchna priodonta priodonta* Gosse, 1850 и по биомассе веслоногий рачок *Acartia clausi* Giesbrecht, 1889, причем последний вид составлял 9,11% численности и 33,58 % биомассы сообщества. Веслоногий рачок *Acartia clausi* по численности и биомассе доминирует во всем мезопланктоне. Учет всех групп и организмов мезопланктона, которых мы здесь рассматриваем, позволяет судить о ведущей роли вес-

лоногих ракообразных. *Keratella cochlearis* (Gosse,1851), *Pleopsis polyphemoides* (Leuckart,1859) и *Acartia tonsa* Dana,1849 были субдоминантами мезопланктонного сообщества. Доля коловраток из общего биомассу мезопланктона составила; весной – 4,03%, летом – 2,41 %, осенью – 1,58 (рис. 4). Биомасса ветвистоусых составила весной – 19,09 мг/м<sup>3</sup> (31,43%), летом – 29 мг/м<sup>3</sup> (32,46%), осенью 12,2 мг/м<sup>3</sup> (26,72%). Доля веслоногих из общего биомассу мезопланктона составила; весной – 60,31 %, летом – 63,45%, осенью – 70,08%. В 2014 году численность мезопланктона изменялась от 1557 до 5157 экз/м<sup>3</sup>, при биомассе 45,66 и 89,35 мг/м<sup>3</sup>.

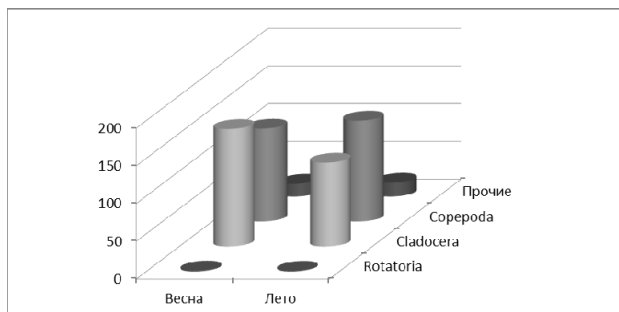


Рис. 3. Сезонная динамика основных групп мезопланктона в прибрежных водах, Азербайджанской акватории Среднего Каспия в 2013 г. (мг/м<sup>3</sup>)

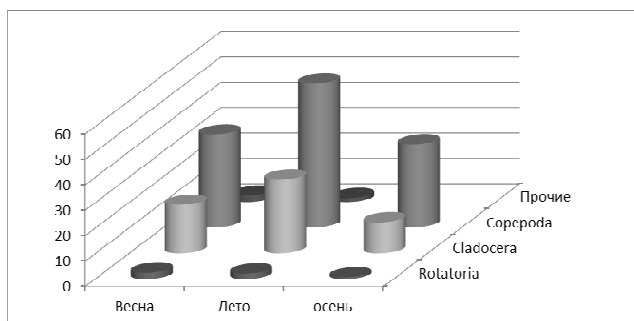


Рис. 4. Сезонная динамика основных групп мезопланктона в прибрежных водах, Азербайджанской акватории Среднего Каспия в 2014 г. (мг/м<sup>3</sup>)

Численность и биомасса зоопланктона в 2015 г. были чуть выше средних показателей 2014 г.: 3929 экз/м<sup>3</sup>, 67,18 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Мезопланктонные организмы были представлены коловратками: *Brachionus plicatilis rotindiformis* Müller, 1786, *Keratella tropica* (Apstein, 1907), *K. cochlearis* (Gosse, 1851) *Synchaeta stylata* Wierzejski, 1893, *S. vorax* Rousselet, 1902, *S. neapolitana* Rousselet, 1902, *Asplanchna priodonta priodonta* Gosse, 1850; ветвистоусыми – *Polyphemus exiguus* Sars, 1897, *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891), *C. socialis* (Grimm, 1877), *Pleopsis polyphemoides* (Leuckart, 1859), *Evadne anonyx typica* Sars, 1897, *Podonevadne camptonyx typica* (Sars, 1897); веслоногими – *Calanipeda aquae dulcis* Kritschagin, 1873, *Heterocope caspia* Sars, 1897, *Acartia tonsa* Dana, 1849, *Acartia clausi* Giesbrecht, 1889 и личинками прочих беспозвоночных – *Mnemiopsis*, *Balanus* и Mollusca. Коловратки – *Synchaeta cecilia* Rousselet, 1902, *Testudinella patina patina* (Hermann, 1783); ветвистоусые – *Cercopagis prolongata* Sars, 1897, *Evadne anonyx producta* Sars, 1897, *Podonevadne trigona typica* Sars, 1897 в составе зоопланктона отсутствовали. Среди коловраток по численности и биомассе доминирует *Asplanchna priodonta priodonta* и *Keratella cochlearis*. Средняя численность коловраток была 1558 экз/м<sup>3</sup>, а биомасса соответственно, 1,61 мг/м<sup>3</sup>. Доля ветвистоусых рачков из общего биомасс мезопланктона составляла весной – 27,57%, летом – 24,16%, осенью – 24,15% (рис.5). Среди ветвистоусых ракообразных доминировал *Pleopsis polyphemoides* (Leuckart, 1859). Доля веслоногих рачков из общей средней численности мезопланктона достигала до 20,87%, а биомасса 69%. Весной численность веслоногих составила 730 экз/м<sup>3</sup> (13,96%), а биомасса 38,92 мг/м<sup>3</sup> (63,61%). Летом количество веслоногих немного увеличилась и достигла по численности 1183 экз/м<sup>3</sup> (24,32%), а по биомассу 65,7 мг/м<sup>3</sup> (70,03%). Осенью, количества веслоногих снизилось, и составил: численность – 546 экз/м<sup>3</sup> (32,25%), а биомасса – 34,47 мг/м<sup>3</sup> (51,31%). В прибрежных водах, Азербайджанской акватории Среднего Каспия, основу биомассы мезопланктона практически круглогодично создавали веслоногие рачки. В зоопланктоне по биомассе доминирует веслоногий рачок *Acartia clausi* Giesbrecht, 1889. Доля личинок прочих беспозвоночных из общего биомассу мезопланктона составила; весной – 4,66%, летом – 1,5%. В 2015 г. пик численности приходится на весенний период, а биомассы мезопланктона на летний период.

Проведенные исследования показали, что наибольшее разнообразие в мезопланктонном сообществе наблюдалось в группе ветвистоусые ракообразные. Основу биомассы 2011–2013 гг. формировали ветвистоусые, а в 2014–2016 гг. веслоногие рачки. В многолетней динамике раз-

витие мезопланктонного сообщества отмечалось максимальное развитие мезопланктона 2013 году. В результате многолетних наблюдений показано, что колебания обилия зоопланктона носят неравномерный характер. Таким образом, в течение года отмечены колебания основных показателей обилия, что связано с изменением участия отдельных видов. Говоря о влиянии приливно-отливных циклов на прибрежный зоопланктон, надо отметить, что это связано с изменением участия отдельных видов и колебаниям обилия зоопланктона.

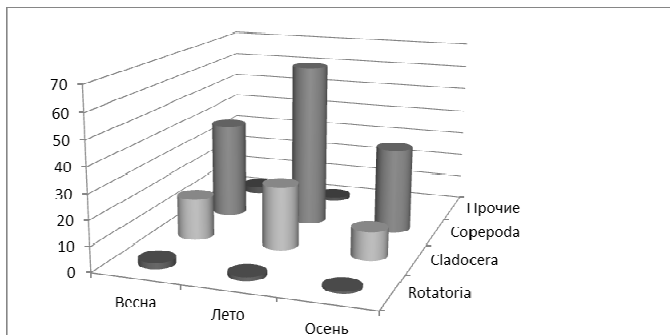


Рис. 5. Сезонная динамика основных групп мезопланктона в прибрежных водах Азербайджанской акватории Среднего Каспия в 2015 г. ( $\text{мг}/\text{м}^3$ )

В целом средняя биомасса мезопланктона в прибрежных водах, Азербайджанской акватории Среднего Каспия, варьировала в пределах от  $65,25 \text{ мг}/\text{м}^3$  до  $280,62 \text{ мг}/\text{м}^3$ , что позволяет характеризовать условия нагула планктоноядных рыб как удовлетворительные. Мезопланктонное сообщество формировали организмы 6 таксонов: коловратки, ветвистых ракообразные, веслоногие рачки, а также личинки мнемипсиса, балянуса и моллюсков. Количество встречаемых видов на исследуемых станциях варьировало от 11 до 19. Наиболее благоприятные условия для нагула планктоноядных рыб формировались в акватории весной и летом 2013 г.

Результаты исследований показали, что в пределах рассмотренной акватории численность и биомасса мезопланктона широко варьируют в пространстве и во времени.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас беспозвоночных Каспийского моря. – М.: Пищевая промышленность, 1968. – 415 с.
2. **Джалилов А.Г.** Распределение мезопланктона Азербайджанской акватории Среднего Каспия в новых экологических условиях. // Мат. VII межд. науч. конф. «Наука и образование», Ч.1 – Ярославль, 2008. С.550–552.
3. **Джалилов А.Г.** Зоопланктон Пирсагатского и Бяндованского разрезов Азербайджанской акватории Южного Каспия. 2008.  
Зонн И.С. Каспий: Иллюзии и реальность. – Москва: ТОО «Коркис», 1999. 468 с.
4. **Карпинский М. Г.** Изменения в экосистеме Каспия при вселении одного бентосного и двух планктонных видов // Тез. докл. II межд. конф. «Актуальные проблемы планктонологии». – Калининград, 2015. – С.13–15.
5. Каспийское море. Фауна и биологическая продуктивность. – М., 1985. – 267 с.
6. Методы мониторинга в Каспийском море. / Под ред. А.Г. Касимова. – Баку, 2000. 57 с.

УДК 574.24

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

**Черкашин С.А.<sup>1</sup>, Пряжевская Т.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, пер. Шевченко, 4, 690091, г. Владивосток, 8(914)6950828, [sergey.cherkashin@tinro-center.ru](mailto:sergey.cherkashin@tinro-center.ru)

<sup>2</sup> Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, ул. Луговая, 52Б, 690095, г. Владивосток, 8(914)2996198

Представлены современные методы оценки экотоксикологического состояния прибрежной зоны Японского моря с использованием видов, которые распространены в северо-западной части Тихого океана – мизид *Neomysis mirabilis* и *Paracanthomysis shikhotaniensis* и предличинок промысловых рыб (анчоуса *Engraulis japonicus*).

Modern methods to evaluate the ecotoxicological state of the

coastal waters in the Japan Sea are presented, as biotesting with common species for the North-West Pacific – misids *Neomysis mirabilis* and *Paracanthomysis shikhotaniensis* and prelarvae of commercial fish (anchovy *Engraulis japonicus*).

На современном этапе развития исследований экотоксикологического состояния прибрежных морских акваторий очевидна недостаточность использования лишь физико-химических методов. Лишь с помощью биологического мониторинга можно выявить наличие таких нерегулярных воздействий или токсикантов, которые могли бы быть упущены при стандартном химическом анализе. Гидробионты тесно связаны со средой обитания и поэтому реагируют на изменения абиотических и биотических характеристик водоемов. Известно много случаев, когда содержание измеряемых поллютантов намного ниже ПДК, а вода проявляет значительную токсичность для части организмов, вследствие их синергетического эффекта или наличия неучтенных ингредиентов. Поэтому наряду с физико-химическими методами широко используются методы биологического мониторинга, например экспериментальные (биотестирование), дающие интегральную оценку качества среды и состояния биоты в период исследований. Эффективность биотестирования и обоснованность выводов определяется, прежде всего, правильным выбором тест-организмов. Наиболее верное решение состоит в использовании нескольких тест-объектов, отвечающих определенным требованиям [1]. Использование местных видов повышает объективность биодиагностики. Вследствие низких концентраций большинства поллютантов в морских водах для биотестирования особенно необходимы высокочувствительные тест-организмы.

Опыт многочисленных исследований показывает, что рыбы и мелко-размерные ракообразные оказываются обычно более чувствительными или менее устойчивыми к загрязнению по сравнению с другими группами водных организмов. Влияние токсикантов на выживаемость предличинок рыб в экспериментальных условиях наиболее детально изучали на двух промысловых видах – длиннорылой камбале *Pleuronectes punctatissimus* и японском анчоусе *Engraulis japonicus*, широко распространенных в Японском море и ряде других акваторий северо-западной части Тихого океана. Эмбрионы и личинки этих массовых видов многочисленны в поверхностном слое прибрежных вод, легко содержатся в лабораторных условиях и весьма уязвимы к воздействию различных токсикантов.



Предличинки длиннорылой камбалы, учитывая медианные летальные концентрации (96 ч ЛК<sub>50</sub>), менее устойчивы к воздействию кадмия и цинка, чем предличинки анчоуса, которые в свою очередь менее резистентны к свинцу. В зоне минимальных летальных концентраций одного и того же металла отмечено сближение токсикорезистентности этих тест-объектов и разница в значениях ЛК<sub>1</sub> становится менее выраженной, чем для величин ЛК<sub>50</sub>. Минимальные летальные концентрации (96 ч ЛК<sub>1</sub>) составили: для предличинок камбалы – 0,3 мкг/л кадмия и свинца; 6,0 мкг/л цинка; для предличинок анчоуса – 0,005-0,007; 0,3; 0,4-0,5; 1,2 и 3,0 мкг/л бенз(а)пирена, свинца, меди, кадмия и цинка соответственно. Эти значения ниже утвержденных ПДК металлов для морской воды объектов, имеющих рыбохозяйственное значение во много раз. Следовательно, предличинок исследованных видов рыб целесообразно использовать для оценки токсичности загрязняющих веществ [2, 3] и для биодиагностики последствий загрязнения морских вод. Впервые оценка влияния вод зал. Петра Великого на выживаемость предличинок японского анчоуса вылупившихся в лаборатории проведена в июле 2003 г. В воде, отобранной в Амурском заливе у центральной части г. Владивосток, отмечали их ускоренную смертность уже в первые 12 ч экспозиции, даже при двукратном разведении проб. По результатам многолетних исследований экотоксикологического состояния вод залива для определения и сравнения качества морских вод за 96 ч, а также для получения оперативных данных о токсичности среды обитания для предличинок анчоуса рекомендованы эти низкоустойчивые тест-организмы.

По мнению ряда ученых среди морских беспозвоночных, наименее устойчивыми и весьма чувствительными к воздействию загрязнения по сравнению с другими группами водных организмов являются мелко-размерные ракообразные [1, 4-7], которые поэтому часто используются для биодиагностики качества вод. Некоторые виды таких ракообразных, как мизиды (Crustacea: Mysidacea) менее устойчивы к тяжелым металлам, дизельному топливу, фенолу и другим поллютантам по сравнению с копеподами веслоногих ракообразных трех видов, молодью креветок *Pandalus kessleri* и молодью 7 видов рыб [1, 6]. Так, оценка токсичности цинка для двух видов мизид, веслоногих ракообразных и одного вида креветок выявила наименьшую токсикорезистентность мизид, особенно *Paracanthomysis shikhotaniensis*.

Состояние прибрежных вод изменчиво в пространстве и времени, поэтому большое значение имеет оперативная экспериментальная биодиагностика (биотестирование) качества этих вод, подверженных комплексному загрязнению. Исходя из того, что токсические уровни за-

грязнения обычно встречаются в прибрежной зоне, в качестве тест-объектов использовали широко распространенных и многочисленных здесь мизид *P. shikhotaniensis* и *N. mirabilis*, личинок краба *Dorippe granulata* и предличинок японского анчоуса. Показано, что, по сравнению с личинками краба *D. granulata*, мизиды и предличинки рыб являются более перспективными тест-организмами.

В кратковременных опытах удалось выявить негативное влияние загрязненных вод зал. Петра Великого на выживаемость мизид и предличинок анчоуса преимущественно во внутренних районах залива. В этих районах определяемые концентрации ряда металлов и нефтяных углеводородов способны существенно снизить выживаемость исследованных нами видов. В большинстве случаев наиболее уязвимыми оказались предличинки. Однако дополнительные физиологические нагрузки, такие как преждевременный нерест под влиянием загрязнения и резкое изменение температуры воды, значительно увеличивают смертность даже эврибионтных видов, например мизид *N. mirabilis*.

Выполненное исследование позволяет считать, что мизиды и предличинки японского анчоуса являются перспективными объектами для оценки пригодности отдельных морских акваторий для данных видов. Они оказались очень низкоустойчивыми к исследованным поллютантам, что позволяет рекомендовать их для оценки экотоксикологического состояния прибрежных морских акваторий в 96-часовых опытах.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Черкашин С. А.** Биотестирование: терминология, задачи, основные требования и применение в рыбохозяйственной токсикологии / С. А. Черкашин // Изв. ТИНРО. – 2001. – Т. 128. – С. 1020–1035.

2. Способ оценки токсичности загрязнителей вод дальневосточных морей: пат. 2215290 РФ: 7 МПК G01 №33/18, A01 K61/00/ Черкашин С.А., Никифоров М.В.; заявитель и патентообладатель ТИНРО-Центр – №2001135011; заявлено 19.12.2001; опубл. 27.10.2003, Бюл. №30. – 12 с.

3. Способ оценки токсичности загрязнителей вод дальневосточных морей: пат. 2220415 РФ: 7 МПК G01 №33/18, A01 K61/00/ Черкашин С.А., Щеглов В.В., Никифоров М.В. – №2001135010; заявл. 19.12.2001; опубл. 27.12.2003, Бюл. №36. – 14 с.

4. **Cripe G. M.** Comparative acute toxicities of several pesticides and metals to *Mysidopsis bahia* and postlarval *Penaeus duorarum* / G.M. Cripe // Environ. Toxicol. and Chemistry. – 1994. – Vol. 13, № 11. – P. 1867–1872.

5. **Черкашин С. А.** Отдельные аспекты влияния углеводов нефти на рыб и ракообразных / С. А. Черкашин // Вестн. ДВО РАН. – 2005. – № 3. – С. 83–91.

6. **Пряжевская Т. С.** Экспериментальная оценка влияния загрязнения залива Петра Великого на ракообразных / Т. С. Пряжевская, С. А. Черкашин // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: Материалы 2-й Международной науч.-техн. конф. 2 ч. – г. Владивосток. 22-24 мая 2012 г., Владивосток: Дальрыбвтуз. – Ч. 1 – С. 262–266.

7. **Черкашин С. А.** Влияние углеводов нефти на морских ракообразных / С. А. Черкашин, Т. С. Пряжевская // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2016. – № 12. – С. 40–44.

УДК 551.463.6:639.2.053.1:629.78

## **СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ В ПРОМЫСЛОВЫХ АКВАТОРИЯХ МИРОВОГО ОКЕАНА**

**Булатова Т.В., Царева В.А., Барканова Т.Б., Ванюшин Г.П., Кружалов М.Ю., Трошков А.А., Сапунова Е.В., Анисова И.М.**

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»*

*107140 Москва, ул. В.Красносельская, 17, тел. 8(499)264-01-33,  
fax: 8(499)264-91-87, e-mail: ladimon@mail.ru*

ФГБНУ «ВНИРО» осуществляет на основе спутниковой информации оперативный мониторинг динамики температурных условий в основных промысловых районах Мирового океана. Создан непрерывный многолетний банк карт температуры поверхности океана (ТПО) недельной, месячной, сезонной и межгодовой дискретности с целью оценки влияния ТПО на формирование биопродуктивности и условия промысла гидробионтов.

VNIRO carries out the operational satellite monitoring of sea surface temperature (SST) for the major fishing areas of the World ocean. A continuous long-time information database of the SST maps (weekly, monthly, seasonal and interannual discreteness) has been created to appreciate the impact of SST on the formation of bioproductivity and on the fishery of hydrobionts.

Более тридцати лет ФГБНУ «ВНИРО» развивает и совершенствует технологии комплексного анализа спутниковых и судовых данных о

температуре поверхности океана (ТПО) в промысловых районах морей России и Мирового океана [1]. Начиная с 1986 года Институт продолжает создавать непрерывную базу данных о распределении ТПО в основных промысловых районах Мирового океана в виде цифровых и аналоговых карт на основе комплексного анализа цифровых материалов ежесуточной инфракрасной съемки с метеорологических искусственных спутников Земли серий «NOAA», «GOES» (США), «Meteosat» (Европейское Космическое Агентство) и «HIMAWARI» (Япония) и квазисинхронных данных «in situ» о ТПО с судов, буев и береговых станций, поступающие из Центра Мировых данных (г. Москва).

В оперативном режиме выполняется построение аналоговых и цифровых карт ТПО недельной (базовой) дискретности для промысловых районов, представленных в табл. 1.

Таблица 1. Районы Мирового океана, представленные в базе данных всех видов карт ТПО

Районы	Год начала построения	Координаты
Северо-Восточная Атлантика	1987	50–76° с.ш./42° з.д.–59° в.д.
Северо-Западная часть Тихого океана	1990	30–66° с.ш./136° в.д.–165° з.д.
Центрально-Восточная Атлантика	2004	15–30,5° с.ш./21–9,5° з.д.
Юго-Западная Атлантика	1987	34–56° ю.ш./70–48° з.д.
Акватория острова Южная Георгия	1999	45–60° ю.ш./50–30° з.д.
Северо-Западная часть Индийского океана	1990	15° с.ш.–10° ю.ш./45–75° в.д.
Юго-Восточная Атлантика	1988	0–36° ю.ш./6° з.д.–21° в.д.
Юго-Восточная часть Тихого океана	1986	0–50° ю.ш./100–68° з.д.

Последовательность этапов создания оперативных карт ТПО промысловых районов:

– накопление и выборка обработанных спутниковых данных для каждой акватории производится за семидневный период, в конце срока составляются «спутниковые» матрицы ТПО с разрешением от 0,3° до 1,0° географического градуса;

– накопление, выборка и составление матриц ТПО на соответствующую акваторию на основе анализа измерений температуры воды с су-

дов, буев и береговых станций, полученных за аналогичный семидневный период;

– составление интегральных цифровых матриц спутниковых и судовых измерений ТПО после введения поправок за влияние атмосферы на дистанционные измерения температуры морской воды в “спутниковую” матрицу, и последующее проведение изотерм.

На основе карт недельной дискретности выпускаются следующие карты анализа ТПО: среднемесячные карты ТПО промрайонов; карты тенденций ТПО (сравнение с предыдущим месяцем); карты разницы ТПО (сравнение с аналогичным месяцем или сезоном прошедшего года (или других лет в пределах базы данных)); карты аномалий ТПО (сравнение с климатическими данными ТПО за аналогичный месяц), которые по запросу передаются потребителям отрасли.

В целях изучения влияния температурных условий водной среды на жизненные циклы различных гидробионтов осуществляется построение долгопериодных карт ТПО различной дискретности (сезонной, годовой, многолетней). После математической обработки цифровые карты ТПО за различные периоды использовались для сравнительного анализа температурных характеристик водной среды в долгопериодных масштабах времени и поиска годов-аналогов.

Так, для анализа влияния ТПО на продуктивность азиатской горбуши анализируются карты ТПО и аномалий ТПО в акваториях Северо-Западной Пацифики для периода ската (май-июль), зимовки (январь-март) и подхода на нерест (июль-октябрь) [2].

При изучении влияния температурных условий на нерест и нагул северо-восточной арктической трески используются карты ТПО Северо-Восточной Атлантики соответственно за периоды март-апрель и май-октябрь [3].

Для выявления влияния ТПО на начало и дальнейшие условия промысла кальмара (*Shex argentinus*) в районе Юго-Западной Атлантики и установления доминантных факторов, связанных с конкретной гидрологической ситуацией, проводился сравнительный межгодовой анализ ТПО, а также величин градиентов ТПО и положения стрежня Фолклендского течения для января [4].

В целом, аналоговые и цифровые картографические материалы мониторинга температурных условий основных промысловых районов, создаваемые сотрудниками ВНИРО, представляют собой многолетнее непрерывное информационное поле, позволяющее осуществлять:

– оперативный мониторинг изменчивости полей температуры основных промысловых районов Мирового океана;

– оценку тренда температуры поверхности морской воды (в синоптическом масштабе времени) и, соответственно, его влияние на состояние и перспективу оперативной промысловой обстановки в районах работы рыболовных судов;

– ретроспективный анализ синоптической, месячной, сезонной и межгодовой изменчивости гидрологической обстановки в промысловых районах с целью поиска сезонов и годов – аналогов по температурным условиям для использования в качестве дополнительного прогностического информационного ресурса;

– сравнительный анализ влияния среды на условия нереста, выживаемость и развитие молоди в различные периоды их жизненных циклов и условия промысла объектов в зонах действия рыболовных судов Российской Федерации.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Ванюшин Г.П., Котенев Б.Н., Кружалов М.Ю., Трошков А.А., Барканова Т.Б., Булатова Т.В., Коробочка А.А., Анисова И.М., Сапунова Е.В.** Трехуровневый мониторинг температурных условий промысловых районов Мирового океана. Сб.: Вопросы промысловой океанологии, вып.3. Москва, изд. ВНИРО, 2006. С. 205–215.

2. **Царева В. А., Ванюшин Г. П., Кружалов М. Ю., Сапунова Е.В.** Температурные условия в прибрежных акваториях Восточного Сахалина и острова Итуруп в период подхода горбуши и кеты на нерест в 2001–2017 гг. (нечетные годы). Петропавловск-Камчатский, «Вестник КамчатГТУ». №44. Июнь 2018. С. 114–119.

3. **Булатова Т.В., Ванюшин Г.П.** Температурные условия 1998–2012 гг. в зонах раннего онтогенеза северо-восточной арктической трески – оценка влияния на промысловое пополнение в возрасте 3+. Материалы IV Международной научно-технической конференции «Научно-практические вопросы регулирования рыболовства» (Владивосток, 18–19 мая 2017 года). Владивосток: Дальрыбвтуз, 2017. – С. 85–90.

4. **Барканова Т.Б.** Использование систем дистанционного зондирования Земли как технических средств промысловой разведки (на примере района Юго-Западной Атлантики). Научные труды Дальрыбвтуза, 2018. №1 (т.44). С. 60–66.

## **МОНИТОРИНГ МИКРОПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЛЯЖЕЙ СЕВАСТОПОЛЯ С РАЗЛИЧНОЙ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКОЙ**

**Сибирцова Е.Н.<sup>1</sup>, Агаркова-Лях И.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*ФГБУН «Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН», пл. Нахимова, 2, 299011, г. Севастополь, elenasibircova@yandex.ru*

<sup>2</sup>*ФГБНУ «Институт природно-технических систем», ул. Ленина, 28, 299011, г. Севастополь, iva\_crimea@mail.ru*

В статье представлены результаты ежемесячного мониторинга микропластикового загрязнения севастопольских пляжей «Омега» и «Учкуевка» в 2016–2018 гг. Полученные данные отражают взаимосвязь микропластикового загрязнения с рекреационной нагрузкой на пляжи и годовым режимом гидродинамической активности в береговой зоне.

The article presents the results of the monthly monitoring of microplastic pollution on Sevastopol beaches «Omega» and «Uchkuevka» in 2016-2018. The data obtained reflects relationship of microplastic pollution with recreational load on the beaches and with an annual regime of hydrodynamic activity in the coastal zone.

Одной из актуальных проблем современной экологии является загрязнение пластиковым материалом природной среды в целом и Мирового океана в частности. Неразлагаемый в природе, пластик поступает в береговую зону из двух основных источников: наземного и морского. Сохраняясь в песке или гальке на морском берегу и испытывая воздействие внешних факторов (температуры, ультрафиолета, кислорода, воды, механического трения), пластиковые частицы со временем эродируют и измельчаются. В результате, «крупный микропластик» (1–5 мм) и мезопластик (5–25 мм) [1] превращаются в «мелкий микропластик» (20 мкм–1 мм) [2, 3]. По сравнению с макропластиком (25–100 мм и более), который регулярно удаляется с пляжей при уборке, микропластик (МП) не заметен среди отложений и таит в себе угрозу многолетнего накопления. Поступив в морскую воду, МП способен аккумулировать токсические органические соединения (хлорорганические пестициды,

бисфенол А и др.), которые, попав в организм морских животных, склонны откладываться в жировых тканях и оказывать канцерогенное, тератогенное и мутагенное действие.

Цель работы – по данным проведенного в 2016–2018 гг. мониторинга пляжных отложений сделать сравнительный анализ загрязнения мезо- и микропластиком пляжей Севастополя с разной рекреационной нагрузкой. В качестве объекта исследования выбраны два популярных городских пляжа, расположенных на западном берегу бухты Круглая (пляж «Омега») и открытом побережье (пляж «Учкуевка»).

За время мониторинга были взяты более 300 проб пляжных отложений. Отбор и анализ проб велся в соответствии с методикой, подробно изложенной в работе [4].

Исследуемые пляжи сложены песком с примесью гальки и имеют ширину 20–30 м. Протяженность пляжа «Омега» составляет около 0,7 км, «Учкуевка» – 0,8 км. Исходя из морфометрических характеристик, площади пляжей, практически, совпадают (табл.). Однако плотность рекреантов на пляже «Омега» в 2,6–5,3 раза, а максимальная единовременная численность – в 1,5 раза выше, чем на пляже «Учкуевка» вследствие удаленности последнего от центра города. Эти особенности рекреационной нагрузки влияют на уровень загрязнения пляжей МП.

Таблица. Рекреационные характеристики пляжей

Пляж	Площадь, га	Плотность рекреантов, чел./га [5]	Максимальная единовременная численность рекреантов, тыс. чел. [5]
«Учкуевка»	2,4	1500–3000	20,1–30
«Омега»	2,65	более 8000	30,1–50

В ходе мониторинга пляжей была изучена сезонная и межгодовая динамика микропластикового загрязнения (МЗ) пляжных отложений (рис. 1). Установлено, что в течение года на обоих пляжах наблюдается два «пика» МЗ: первый – в апреле-мае, второй – в августе. Также отмечено, что в осенний период показатели МЗ продолжают оставаться высокими (на уровне сентября) за счёт поступления мезо- и микропластика из моря во время штормов в октябре-ноябре. Особенно ярко это выражено на пляже «Учкуевка», где МЗ заносится до середины пляжа на расстояние 10–12 м от уреза воды. В этот период много МП отмечается в средней части пляжа. При этом в его нижней части выявлен мезопластик, а в верхней уровень МЗ сравним с таковым в июле-августе, что



позволяет предположить здесь ведущую роль наземных источников загрязнения.

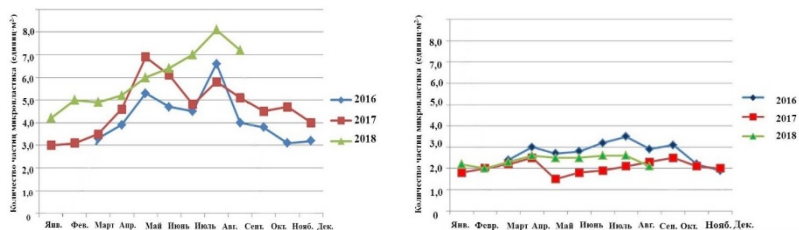


Рис. 1. Среднемесячные показатели количества частиц МП на пляжах «Омега» (слева) и «Учкуевка» (справа) за 2016–2018 гг.

Выявлено, что на пляже «Омега» средние показатели МЗ в высокий сезон (май–сентябрь) 2018 г. были выше, чем в 2017 и 2016 гг. (рис. 2). Этот факт подтверждает предположение о том, что на пляже «Омега» происходит многолетняя аккумуляция МП из-за его нахождения в изолированной от открытого моря бухте, где происходит довольно быстрое его накопление. Кроме того, пляж «Омега» испытывает существенно большую рекреационную нагрузку в высокий сезон, нежели пляж «Учкуевка».

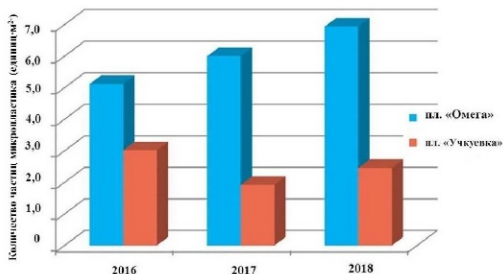


Рис. 2. Среднее количество микропластика (единиц·м<sup>-2</sup>) в высокий сезон (май–сентябрь) 2016–2018 гг.

Таким образом, наземный и морской источники поступления пластика на пляжи четко дифференцированы в течение года и определяются сезонностью купально-пляжной рекреации и штормовой активности. Наземный источник доминирует в высокий сезон, на конец которого

(август-сентябрь) приходится эффект кумуляции МП и «пик» МЗ пляжей. Поступление пластика из моря преобладает вне сезона рекреации, с октября по апрель, когда усиливаются шторма. Здесь «пик» МЗ отмечается в апреле-мае. Корректировки в такой «ход» МЗ вносит уборка пляжных территорий, которая, как правило, происходит в мае, перед началом высокого сезона, и в сентябре, с его завершением.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ по теме «Создание методов и технологий оперативного контроля экологического состояния биоты, оценки и прогноза качества морской среды» (№ 1001-2014-0016), ФГБНУ ИПТС по теме «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера-криосфера и антропогенного воздействия» (№ 0012-2016-0005) и при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта № 18-44-920014 p\_a.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., Barlaz, M.** Accumulation and fragmentation of plastic in global environments / D. K. A. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson, M. Barlaz // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London.* – 2009. – Series B, 364 (1526). P.: 1985–1998.

2. **Hanke, G., Galgani, F., Werner, S., Oosterbaan, L. et al.** MSFD GES technical subgroup on marine litter. Guidance on monitoring of marine litter in European Seas / G. Hanke, F. Galgani, S. Werner, L. Oosterbaan et al. // – 2013. – Luxembourg: Joint Research Centre-Institute of Environment and Sustainability, Publications office of the European Union.

3. **Imhof, H. K., Schmid, J., Niessner, R., Ivleva, N. P., Laforsch, C.** A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments / H. K. Imhof., J. Schmid, R. Niessner, N. P. Ivleva, C. Laforsch // *Limnology and Oceanology.* – 2012. – Methods 10. – P.: 524–537.

4. **Сибирцова Е. Н.** Микропластиковое загрязнение грунтов пляжей г. Севастополя в летний период 2016-2017 гг. / *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.* – 2018. – № 1. – С. 64–73.

5. **Лазницкая Н. Ф.** Общественно-географическое обоснование развития рекреационного водопользования в г. Севастополь: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Симферополь, 2014. – 23 с.

УДК 639.2.053.(268.43)

## ТЕМПЕРАТУРНО-АКУСТИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ КАК НОВЫЙ МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕЛАГИЧЕСКИХ РЫБ

**Сентябов Е.В.**

*Полярный научно-исследовательский институт морского  
рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича,  
ул. Академика Книповича, 6, 183038, г. Мурманск,  
8(8152)40-26-21, sentyab@pinro.ru*

В докладе показан результат совместного анализа вертикальных разрезов температуры воды и распределения акустических коэффициентов рассеяния для пелагических рыб в Норвежском море. Выявлены некоторые закономерности и особенности распределения сельди и путассу в зависимости от термических условий.

The paper presents the results of a joint analysis of vertical sections of water temperature and the distribution of acoustic nautical area scattering coefficients for pelagic fish in the Norwegian Sea. Some climatic patterns and features of the distribution of herring and blue whiting depending on thermal conditions are revealed.

Представлены результаты анализа комбинированных вертикальных графиков распределения температуры воды и гидроакустических коэффициентов обратного поверхностного рассеяния (акустических значений,  $S_A$ ) для сельди и путассу на условных разрезах в ходе международных съемок пелагических рыб в Норвежском море в 2011–2018 гг.

Ранее на акватории Норвежского моря с середины 50-х гг. XX века ПИНРО ежегодно проводил комплексные летние промыслово-океанографические съемки на стандартных разрезах, охватывая практически все море сначала в рамках национальной программы, а затем и в ходе международных экосистемных исследований [1]. К сожалению, в середине 2000-х гг. исследования ПИНРО в Норвежском море значительно сократились [2], а затем и полностью прекратились, и вся информация об океанографическом состоянии вод и распределении рыб в Норвежском море в летний период, поступала лишь с иностранных судов, участвующих в международных съемках. С 2011 г. по настоящее

время автор данной работы принимал участие в таких международных экосистемных съемках северных морей (International ecosystem survey in the Nordic Seas, IESNS) на борту норвежского научно-исследовательского судна выполняющихся в мае-июне.

Традиционно, в ходе этих исследований ведется гидроакустическая съемка пелагических рыб с последующим расчетом акустических значений для каждого вида рыб по 10-метровым слоям для каждой морской мили движения судна. Одновременно по выбранной сетке станций ведутся глубоководные океанографические исследования, преимущественно на широтных разрезах, случайно расположенных на акватории моря [3]. По завершении съемки акустические данные суммируются по всей водной толще и картируются по акватории для оценки индексов численности и биомассы того или иного вида рыб, а по океанографическим данным строятся карты на различных горизонтах для описания общих условий обитания и распределения объектов промысла.

Новизна представленного в докладе подхода, в отличие от традиционной оценки пространственного распределения акустических значений по интегрированным величинам по слою, заключается в возможности совместного анализа квази-трехмерного распределения рыбы по акустическим значениям и температуры воды как в пространственном, так и в вертикальном масштабах. Первоначально подобные температурно-акустические разрезы были использованы непосредственно на борту научно-исследовательских судов для оперативного анализа вертикального распределения пелагических рыб в зависимости от термических условий. В ходе каждой из съемок на протяжении 9 лет было построено от 5 до 10 таких разрезов. Часть из этих условных разрезов в близких координатах повторялась из года в год и могла быть использована для описания общих закономерностей распределения рыбы, некоторые разрезы охватывали все море от берегов Норвегии до Исландии (рис. 1) и были наиболее информативными с точки зрения распределения рыбы в различных водных массах.

Накопленный за указанные годы опыт позволил провести сравнение пространственного и вертикального распределения пелагических рыб при различных океанографических условиях и выявить климатические особенности концентрации рыбы различных возрастных групп. Выявлено, что путассу концентрируется в восточной части Норвежского моря преимущественно над континентальным шельфовым склоном и в высокоградиентной термической зоне в слое 200-300 м с теплой стороны фронтальных разделов между теплыми и холодными водами при температуре 2–6 °С (см. рис. 1). Наибольшие скопления сельди старших

возрастов в летний нагульный период отмечаются в западной части моря в широком диапазоне глубины и температуры (см. рис. 1), достигая глубины 450 м и температуры близкой к 0 °С. Часть сельди, преимущественно младших возрастов (4–5 лет), распределяется в восточной и северо-восточной частях моря в верхнем 50-метровом слое при температуре 6–8 °С.

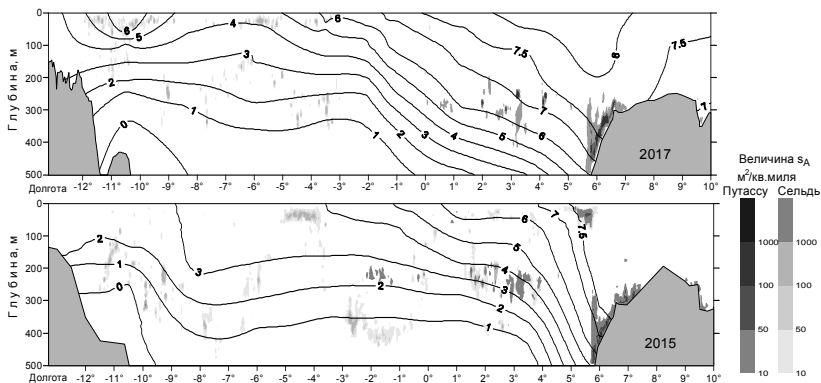


Рис. 1. Вертикальное распределение температуры воды (°С) в слое 0–500 м и значений коэффициентов обратного поверхностного рассеяния ( $S_A$ , м<sup>2</sup>/кв. мили) для сельди и путассу в мае 2015 и 2017 гг. на разрезах вдоль 64°50′–65°00′ с.ш. в Норвежском море

От года к году наблюдается смещение фронтальных зон в восточном или западном направлении, что весьма ощутимо влияет на распределение путассу. Для сельди, в отличие от путассу, более важны не смещение фронтальных зон, а крупномасштабные процессы, формирующие миграционные пути, связанные с условиями среды, возрастной структурой рыбы и наличием корма [4].

В настоящее время, как указывалось выше, полученные комбинированные вертикальные разрезы используются только в оперативной работе в научных съемках для более детального представления распределения рыбы в том или ином районе в зависимости от условий среды. В будущем возможно использование подобных комбинированных разрезов в 3D-моделях распределения рыбы не только в Норвежском, но и других морях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Карсаков А. Л.** Температура поверхности Северной Атлантики и долгосрочное прогнозирование абиотических и биотических параметров экосистемы Северного бассейна / А. Л. Карсаков, Е. В. Сентябов, Ю. А. Бочков // Материалы отчетной сессии ПИНРО по итогам научно-исслед. работ в 1998–1999 гг. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2000. – Ч. 1. – С. 188–199.

2. **Педченко А. П.** Пространственно-временные изменения абиотических факторов и их влияние на биолого-промысловые показатели Северного бассейна в 2003–2004 гг. / А. П. Педченко, В. А. Боровков, В. В. Гузенко, А. Л. Карсаков, С. Е. Лободенко, Е. В. Сентябов // Вопросы промысловой океанологии. – М.: Изд-во ВНИРО, 2005. – Вып. 2. – С. 101–126.

3. Manual for International Pelagic Surveys (IPS). Series of ICES Survey Protocols SISP 9. – IPS, 2015. – 92 pp.

4. Атлас промысла сельди в Норвежском море в 1995–2001 гг. / Сост. Г.Н. Морозова, Е.В. Сентябов. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. – 127 с.

УДК 634.67

## **ВЕРТИКАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЦВЕТЕНИЙ КОККОЛИТОФОРИД И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА РАСТВОРЕННУЮ ОРГАНИКУ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ БУЕВ БИО-АРГО**

**Кубряков А.А.<sup>1</sup>, Микаелян А.С.<sup>2</sup>, Станичный С.В.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,*

*Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, resty@mail.ru*

*<sup>2</sup> Морской Гидрофизический Институт Севастополь, ул. Капитанская, 2,  
arskubr@ya.ru*

На основе измерений буев био-Арго и спутниковых данных исследована изменчивость и эволюция летнего и зимнего цветения кокколиитофорид в Черном море, их влияние на образование растворенной органики.

The variability of summer and winter bloom of coccolithophores in the Black Sea and their influence on the formation of dissolved organics is investigated on the base of bio-Argo and satellite data.

Кокколитофориды являются одним из доминирующих типов фитопланктона в Черном море (1,2). Известняковые чешуйки-кокколиты, покрывающие клетки этих водорослей, вызывают сильное рассеяние света, позволяя исследовать динамику их цветения по оптическим данным.

В настоящей работе на основе измерений обратного рассеяния  $b_{bp}$  четырех буев био-Арго в Черном море за 2014-2018 гг. и спутниковых данных MODIS исследуется изменчивость цветений кокколитофорид в Черном море. Обратное рассеяние в слое 0-70 метров имеет два пика (рис. 1а). Мощный пик наблюдается в мае-июле на глубинах 0-30 м. Он связан с летним цветением кокколитофорид, которое наблюдается на достаточно больших глубинах до 30 метров. Кокколиты значительно ослабляют фотоингибирование, что способствует развитию кокколитофорид в теплый период года в условиях значительного солнечного прогрева. Летнее цветение в мае-июне наблюдается в верхнем квазиоднородном слое и в сезонном термоклине, занимая верхний 20-м слой. В июне-июле нижняя граница пика максимума  $b_{bp}$  начинает заглубляться и в августе он наблюдается только в подповерхностном слое 20-35 м. Положение нижней границы зоны высокого рассеяния совпадает с положением изопикны  $1014 \text{ кг/м}^3$ , которая опускается из-за прогрева верхних слоев. Достигнув в августе глубины 30-35 м, пик рассеяния резко пропадает. В это же время на этих глубинах наблюдается значительное увеличение коэффициент поглощения света в коротковолновом диапазоне, свидетельствующий о выбросе большого количества растворенного органического вещества (РОВ) (рис. 1б). Данные о коэффициенте поглощения, полученные по буям Арго, были использованы для восстановления сезонной изменчивости РОВ. Эти данные показали, что пик образования РОВ во все годы (2014-2018) был связан с окончанием цветения кокколитофорид. Возможной причиной прекращения цветения и выброса РОВ является вирусный лизис, который способствуют резкой смертностью клеток (3). Это сопровождается также резким выбросом ТЕР (*transparent exopolymer particles*) – клейкого вещества, способствующее формированию агрегатов и быстрому оседанию кокколит из верхнего слоя моря (4).

Второй пик  $b_{bp}$  наблюдается во всей 0-50 метровом слое вод в зимний период. Совместный анализ спутниковых данных о концентрации хлорофилла А и отражательной способности показал, что этот пик также связан с зимним цветением кокколитофорид, фиксируемом ранее в ряде экспедиционных работ (5, 6). Зимнее цветение наблюдается с ноября по март, достигая максимума в январе. Цветение характеризуются более низкими значениями  $b_{bp}$ , однако, охватывает больший слой, по-

этому интегрально интенсивность зимнего и летнего цветения сопоставима. В отличие от летнего цветения, выброса РОВ после зимнего цветения не наблюдается и оседание частиц происходит медленнее. В работе предложен способ оценки скорости оседания частиц (кокколлит)  $w$  на основе измерений Био-Арго, который позволил, впервые, определить сезонную изменчивость  $w$  на различных горизонтах. Отмечено значительное уменьшение скорости оседания на границе аэробной зоны, что возможно связано с коагуляцией легких взвешенных веществ на кокколлитах.

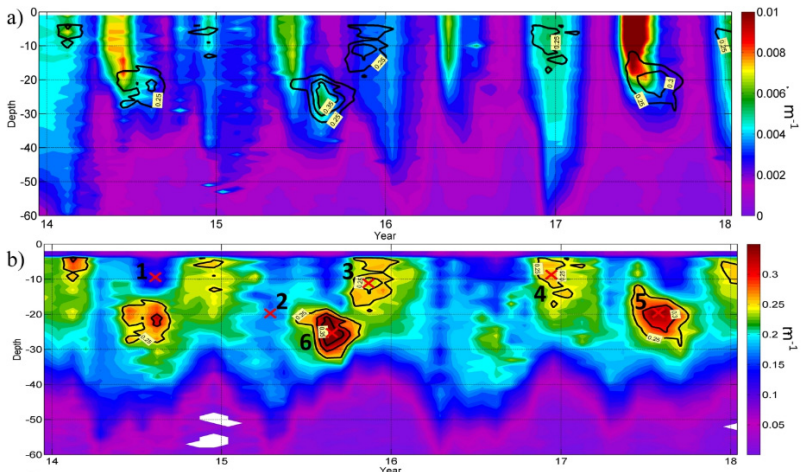


Рис. 1. Межгодовая изменчивость bbp (а) и коэффициента ослабления света  $k_d$  (412) (б) по данным Био-Арго. Контурами нанесены изолинии с высокими значениями  $k_d$  (412) – 0.25, 0.3 и 0.35  $m^{-1}$

Исследование сезонной эволюции цветения кокколитофорид поддержано грантом РФФ 19-77-20025, определение межгодовой изменчивости цветения кокколитофорид и выделение аномальных ситуаций выполнено при поддержке гранта РФФИ 17-05-41102 РГО\_a.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Mikaelyan A. S.** et al. Summer bloom of coccolithophorids in the northeastern Black Sea //Oceanology. – 2005. – Т. 45. – С. S127.
2. **Mikaelyan A. S., Silkin V. A., Pautova L. A.** Coccolithophorids in the Black Sea: their interannual and long-term changes //Oceanology. – 2011. – Т. 51. – №. 1. – С. 39–48.



3. **Bratbak G., Wilson W., Haldal M.** Viral control of *Emiliania huxleyi* blooms? //Journal of Marine Systems. – 1996. – Т. 9. – №. 1-2. – С. 75–81.

4. **Vardi A. et al.** Host–virus dynamics and subcellular controls of cell fate in a natural coccolithophore population //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2012. – Т. 109. – №. 47. – С. 19327–19332.

5. **Stelmakh L. V. et al.** Microzooplankton grazing impact on phytoplankton blooms in the coastal seawater of the southern Crimea (Black Sea) //International Journal of Marine Science. – 2013. – Т. 3.

6. **Yasakova O. N., Okolodkov Y. B., Chasovnikov V. K.** Increasing contribution of coccolithophorids to the phytoplankton in the northeastern Black Sea //Marine pollution bulletin. – 2017. – Т. 124. – №. 1. – С. 526а–534.

УДК 551.46.07:629.7(268.45)

## **ОБ ОПЫТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВИАИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ**

**Забавников В.Б.**

*ФГБНУ «Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича»  
(ФГБНУ «ПИНРО»), ул. Академика Книповича, 6,  
183038, г. Мурманск, 8(815)-240-26-11, ltei@pinro.ru*

В статье представлены сведения об опыте использования авиационных наблюдений за морскими млекопитающими, осуществляющихся с борта специально оборудованного самолёта, подготовленного на базе пассажирского воздушного судна Л-410. В качестве примера представлены результаты работ, проведённых в мае 2017 г. в Печорском море.

This paper presents information about experience of marine mammals aerial sightings using which carried out onboard specially equipped aircraft prepared on base passenger aircraft L-410. As example, this paper considers results of works made in of May 2017 in the Pechora Sea area.

ФГБНУ «ПИНРО» (ПИНРО) имеет многолетний опыт использования авиационных исследований при мониторинге морских млекопитающих (ки-тообразных и ластоногих), основная цель которого получение сведений

об их распределении и количестве (встречаемости) с учётом видовой принадлежности как важного элемента морских экосистем, где они, с одной стороны, являются хищниками высшего трофического уровня по отношению к промысловым видам рыб, а с другой, подвержены определённому влиянию со стороны происходящих климатических изменений и антропогенному воздействию во всём его проявлении.

По нашему мнению, в результате накопленного опыта и полученных результатов, использование авиаисследований при осуществлении рассматриваемого направления работ представляется более целесообразным по сравнению с традиционными судовыми наблюдениями, при котором основное преимущество использования воздушных судов (ВС) состоит в том, что их применение позволяет получить более репрезентативные данные с больших по площади акваторий за короткий промежуток времени, по своему качеству и надёжности не уступающие судовым, и, как показали выполненные нами расчёты, стоимость единицы информации при этом в три раза меньше судовой.

Для этих целей специалистами ПИНРО используются два типа двухмоторных самолётов, Ан-26 (в основном применялся на первоначальном этапе) и Л-410. В связи с тем, что в течение ряда последних лет авиаисследования морских млекопитающих осуществляются с борта специально оборудованного ВС Л-410 ниже приведены его следующие основные характеристики:

- крейсерская скорость, км/ч – 380;
- средняя скорость во время проведения авиаисследований, км/ч – до 265;
- высота осуществления авиаисследований, м – 50–300 (в зависимости от высоты нижней границы облачности – НГО);
- общая продолжительность полёта от момента взлёта до момента посадки, ч – до 6;
- эксплуатационный потолок (максимально возможная высота полёта), м – 6460;
- взлетная масса, т – 6,6;
- запас топлива, т – 2,6;
- численный состав экипажа, чел. – 2;
- состав научной группы, чел. – до 6.

На борту ВС Л-410 установлено и эксплуатируется оборудование, состав которого является наиболее оптимальным для осуществления авиаисследований по наблюдению за морскими млекопитающими:

- цифровые фотокамеры Nikon D90 и/или Nikon 5100, предназначенные для фотографирования обнаруженных морских млекопитающих

как непосредственно под ВС вдоль трассы его полёта (галсы или трансекты), так и в стороне, в полосе обзора под углом не более  $45^\circ$ , а также с целью выборочного документирования различных, наиболее ярких и характерных явлений, объектов и эффектов на морской поверхности (вихри, меандры и другие гидродинамические неоднородности, загрязнения различного происхождения, цветение и др.), включая ледовые условия, регистрируемых в процессе визуальных наблюдений;

- инфракрасный (ИК) сканер «Малахит», который предназначен для формирования тепловой картины подстилающей морской поверхности под ВС в полосе 144 м в ИК-диапазоне длин электромагнитных волн и обнаружения на поверхности льдов теплокровных морских млекопитающих, которых сложно идентифицировать при фотографировании;

- спутниковые навигационные системы GPS и Glonass, обеспечивающие точное самолётовождение и осуществляющие координатную (географическую) «привязку» обнаруженных морских млекопитающих, а также наиболее ярких и характерных явлений, объектов и эффектов на морской поверхности, включая ледовые условия, зарегистрированных в процессе визуальных наблюдений;

- персональный компьютер (ПК) для комплексного сбора всей первичной информации, её первоначальной фильтрации, предварительной обработки и накопления с целью дальнейшего хранения.

Для осуществления визуальных наблюдений с обоих бортов ВС, взамен стандартных иллюминаторов устанавливаются «блистеры», выпуклые иллюминаторы (2 – в передней части самолёта и 1 – в хвостовой), через которые также проводится фотографирование. Визуальные наблюдения выполняются в той же полосе обзора, что и фотографирование.

Также на борту ВС организована внутрисамолетная связь с целью обмена информацией между всеми специалистами-исследователями и для связи с экипажем самолета, которая возможна только с места ответственного за проведение авиаисследований, которые необходимо проводить при следующих метеорологических условиях:

- нижняя граница облачности – не ниже 50 м, ограничений по количеству облаков нет;

- скорость ветра – не более 7 м/с независимо от направления;

- отсутствие интенсивных осадков и атмосферных явлений (туманы, дымка, морось и т.п.), при горизонтальной видимости не менее 10 км.

Указанные метеорологические условия должны наблюдаться одновременно на не менее чем 75 % площади акватории авиаисследований. Только при соблюдении этого условия принимается окончательное решение о проведении рассматриваемых работ с учётом погодных условий в аэропорту вылета и посадки.

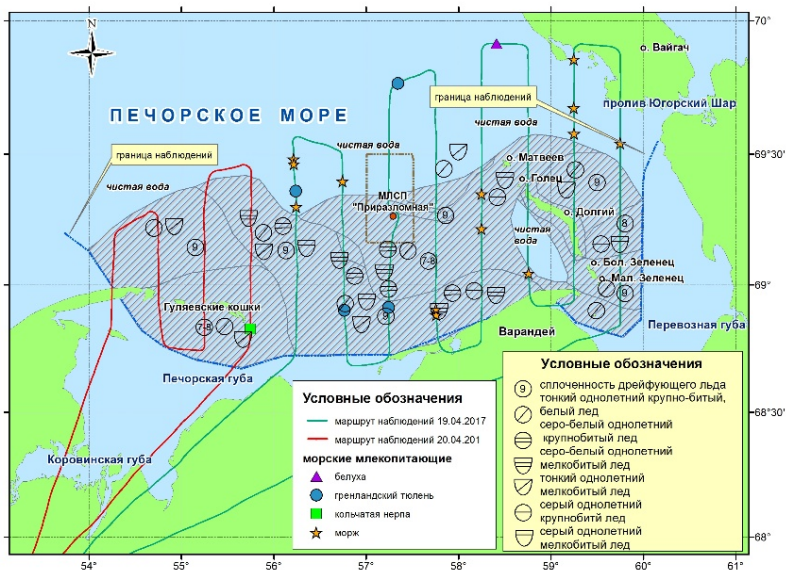


Рис. 1. Общее распределение морских млекопитающих и ледовые условия 19–20 апреля 2017 г. в Печорском море

Авиаисследования выполняются по параллельным галсам, вдоль широт или долгот, оптимальная скорость при этом должна составлять в среднем 250 км/ч, а высота полёта – не выше 250 м, наиболее приемлемая – 200 м, однако возможно и ниже, но не менее 50 м.

Визуальные наблюдения осуществляют два борт-наблюдателя с левого и правого бортов ВС через «блистеры», а третий координирует их действия и выполняет регистрацию и ввод поступающей от двух первых наблюдателей информации, в ПК в реальном времени и координатах.

Визуальные наблюдения включают сведения о зарегистрированных животных, описание ледовых условий, если они наблюдаются, а также явлений и эффектов на морской поверхности. По возможности, если позволяют условия, через «блистеры», осуществляется фотографирование, обнаруженных китообразных и ластоногих с целью их документирования.

Зондирование ИК-сканером «Малахит» проводится непрерывно вдоль трансект, а «подсамолетная» фотосъемка выполняется одновременно с этим, но не постоянно, а когда это необходимо.

В ПК с момента набора ВС эксплуатационной высоты полёта и до его окончания формируется «Протокол полета» включающий сведения о параметрах и условиях авиационных исследований и результатах визуальных наблюдений. Всё это, в дальнейшем сводится в единую таблицу.

Ниже, в качестве примера, представлена итоговая карта-схема результатов авиационных исследований морских млекопитающих, выполненных 19-20 апреля в Печорского море.

УДК 551.465:597.5(265.5)

## **ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ГОРИЗОНТАХ ОБИТАНИЯ СКУМБРИИ И САРДИНЫ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ТИХОГО ОКЕАНА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД**

**Устинова Е.И., Кузнецов М.Ю., Басюк Е.О., Сыроваткин Е.В.**

*Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный Центр (ТИНРО-Центр), пер. Шевченко, 4, 690091 Владивосток,  
8(423)2604530, elena.ustinova@tinro-center.ru*

Были проанализированы океанографические условия в горизонтах обитания сардины и скумбрии восточнее Курильских о-вов по данным съемок ТИНРО-Центра. Распределение этих видов зависит от положения мезомасштабных фронтов и топографии сезонного термоклина. Границей распространения является изотермическая поверхность 8°C.

Oceanographic conditions in the horizons of sardine and mackerels habitat were analyzed using the data of complex surveys conducted by TINRO-Center east of the Kuril Islands. The distribution of the species is substantially affected by mesoscale fronts and seasonal thermocline topography. Isothermal surface of 8°C is their habitat limit.

В работе анализировалось влияние мезомасштабных и крупномасштабных океанографических условий на пространственное распределение сардины (*Sardinops melanostictus*) и скумбрии (*Scomber japonicus* и *Scomber australasicus*). Были использованы базы данных на основе комплексных (океанографических, акустических, траловых и планктонных) съемок, проведенных в последние годы научно-исследовательскими

судами ТИНРО-Центра в начале и конце лета в северо-западной части Тихого океана (СЗТО) к востоку от Курильских островов. Начиная с 2014 г. на обследованной акватории СЗТО были зарегистрированы массовые нагульные скопления субтропических видов – дальневосточной сардины и скумбрии (японской и пятнистой). Исследования показали, что в нектонном сообществе верхней эпипелагиали прикурильских вод СЗТО произошла смена доминирующих видов рыб на субтропических мигрантов в летне-осенний период [1].

Важными определяющими факторами пространственного распределения этих видов рыб во время пищевых миграций являются крупномасштабные течения, мезомасштабные неоднородности и фронты разного масштаба [2]. Летние океанографические съемки ТИНРО-Центра позволили оценить в общих чертах состояние Западного субарктического циклонического макрокруговорота. В последние годы поле геострофических течений Западного круговорота, особенно во второй половине лета, состояло из нескольких меньших по масштабу вихревых образований.

В начале лета области повышенной концентрации скумбрии, как и сардины, были приурочены к высокоградиентной зоне Северного субарктического фронта, как правило, со стороны более теплых трансформированных вод субтропического происхождения. Однако некоторая часть этих рыб уже в июне совершала переход в субарктические воды через «разрывы» северной ветви субарктического фронта. Условным пределом распространения в северном направлении и по глубине служила изотерма около 8°C.

В июле сардина, как и скумбрия, массово переходила на нагул в субарктические воды, поэтому в июле–августе общее распределение этих рыб существенно отличалось от июньского. Максимальные уловы отмечались в субарктических водах севернее субарктического фронта, между 152°30' и 157°30' с.ш., что приблизительно на 5–7° широты севернее и на 5° долготы восточнее июньского максимума уловов. Второй максимум отмечался восточнее Второй ветви Ойясио.

Внутренняя часть Западного циклонического круговорота характеризуется повышенным содержанием биогенных веществ, что создает хорошие условия для развития планктона, в том числе и кормового. Во второй половине лета именно здесь отмечались повышенные уловы скумбрии и сардины.

Нередко вторая ветвь Курильского течения образовывала некоторый разрыв в распределении скумбрии севернее, восточнее и южнее антициклонического вихря, расположенного к востоку от пролива Буссоль. Этот вихрь – один из хороших примеров концентрации скумбрии вблизи мезомасштабных неоднородностей, здесь часто формировались промысловые скопления скумбрии.

Миграция этих видов в течение лета на северо-западе Тихого океана осуществлялась по двум траекториям – с крайнего юго-запада (район южнее Южных Курил) в северо-восточном направлении и с востока в западном и северо-западном направлении. В восточные районы сардина, как и скумбрия, в последние годы попадала благодаря активизации Третьей ветви Куроисио и так называемого потока Исогучи.

В конце лета было заметно избегание скумбрией интрузий субтропических трансформированных вод. Скумбрия в меньшей степени, чем сардина, придерживается вод «собственно Ойясио», его океанический фронт служит западной границей распространения.

Диапазон температуры, в котором встречалась скумбрия и сардина, достаточно широк – 7.9–17.9°C. Даже максимальные уловы во второй половине лета отмечались при очень разной температуре – так, для скумбрии в 2016 г. она была 9.1°C, а в 2014 г. – 17.9°C. В среднем же повышенные концентрации сардины и скумбрии отмечались при температуре воды 12–16°C.

Роль сезонного термоклина и мезомасштабных фронтов хорошо видна в вертикальном распределении (рис. 1). Скопления смещались согласно топографии верхней границы термоклина. Свыше 95% численности этих рыб были зарегистрированы в пределах приповерхностного слоя до 30 м.

Днем характерно преобладание плотных разрозненных косяков в слое 10–20 м и более. В темное время суток отмечалось широкое вертикальное (с углублением до 30 м вплоть до термоклина) и менее разобщенное горизонтальное развитие скоплений. В отличие от мезопелагических видов рыб, совершающих крупномасштабные вертикальные миграции, сардина и скумбрия ночью не перемещались к поверхности. Наблюдалась обратная тенденция смещения центра концентрации в более глубокие горизонты, связанная с рассеянием рыб.

Наибольшая суточная изменчивость и максимальный диапазон вертикальных перемещений у скумбрии [3]. В дневное время скумбрия образовывала мелкие подвижные плотные косяки высотой 3–6 м и горизонтальной протяженностью 12–30 м. В ночное время скумбрия рассеивалась в форме сплошных лент или прерывистых скоплений переменной плотности. Центр концентрации скоплений ночью в разные годы на 0.4–5.6 м ниже, чем днем.

Вертикальные перемещения сардины в течение суток были выражены слабее: от 0.3 до 2.5 м в разные годы. Днём косяки сардины характеризовались высотой 8–15 м и горизонтальной протяженностью 60–120 м. Ночью сардина сохраняла косячное состояние стай, но структура косяков становилась более рыхлой.

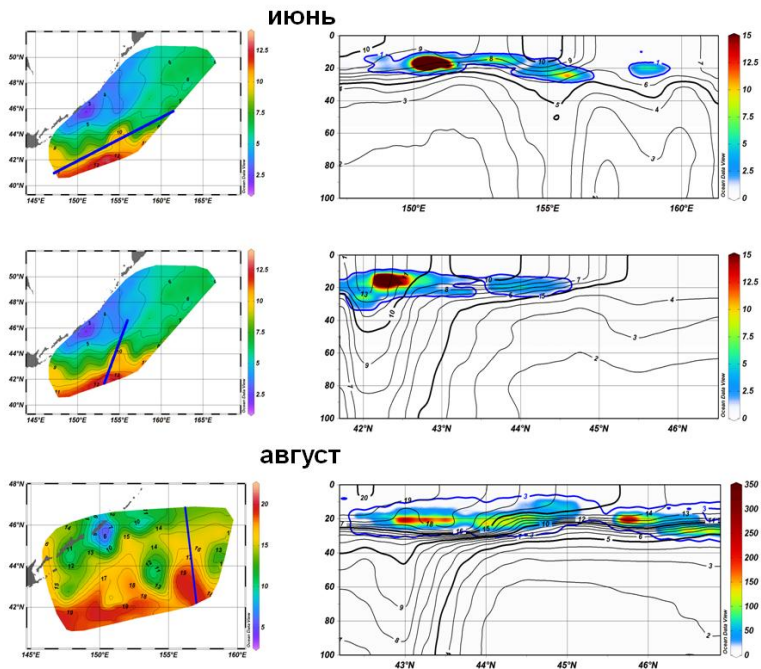


Рис. 1. Вертикальное распределение плотности скоплений скумбрии  $s_A$  ( $\text{м}^2/\text{миля}^2$ ) и температуры воды ( $^{\circ}\text{C}$ ) на разрезах (разрезы показаны слева) в 2017 г.

#### ЛИ Т Е Р А Т У Р А

1. Хоружий А.А., Сомов А.А., Старовойтов А.Н., Ванин Н.С. Появление высокоурожайных поколений японской скумбрии и дальневосточной сардины в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 6. С. 74–77.
2. Филатов В.Н. Миграции и формирование скоплений массовых пелагических гидробионтов (на примере тихоокеанской сайры) – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2015. – 168 с.
3. Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В., Шевцов В.И. Особенности пространственного распределения и поведения японской скумбрии и дальневосточной сардины в прикурильских водах Северо-Западной части Тихого океана в летний период 2015–2016 гг. // Рыбное хозяйство. – 2017. – № 2 – с. 56–62.



## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ БИОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЗЕ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ

Гайский П.В.

*Институт природно-технических систем,  
ул. Ленина, 28, 299011, г. Севастополь, +7(978)7039485, gaytsky@inbox.ru*

Описан десятилетний опыт разработки биоэлектронных комплексов на базе двустворчатых моллюсков для экологического контроля загрязнений на пресноводных источниках, в морских акваториях и в лабораторных исследованиях. Представлены обобщенные экспериментальные данные натурных и лабораторных испытаний. Рассматриваемые приборы: промышленный комплекс “Биостраж”, экспериментальные погружные измерители “Биопост” и “Биомонитор”, лабораторный комплекс “Биомонитор-Л”.

Ten years' experience of development of bioelectronic complexes on the basis of clams for environmental control of pollution on freshwater sources, in sea water areas and in laboratory researches is described. The generalized experimental data of field and bench tests are provided. The considered devices: industrial complex "Biostrazh", experimental submersible measuring instruments "Biopost" and "Biomonitor", laboratory complex "Biomonitor-L".

Биоэлектронные измерители обнаружения отравляющих загрязнений морских и пресноводных сред могут быть незаменимой частью оперативных комплексных систем экологического контроля и мониторинга. Высокая автономность, как биодатчиков, двустворчатых моллюсков позволяет использовать их в необслуживаемых измерителях более длительные периоды времени по сравнению с автоматизированными оптическими и химическими анализаторами *in situ*.

С 2008 года нами разработано и испытано в морской прибрежной акватории и на пресноводных источниках несколько вариантов биоэлектронных измерителей (рис. 1): экспериментальный погружной измеритель “Биомонитор” (2008 г.) [1], в рамках НИОКР промышленный погружной гидрологический комплекс “Биостраж” (2012 г.) [2], экспе-

риментальный аквариумный измеритель “Биомонитор-Л” (2013 г.) и погружные мобильные комплексы “Биопост” и “БиоG8” (2015–2017 гг.) [3]. Один из комплексов установлен на системе пресного водозабора г. Севастополя на постоянной основе.



“Биомонитор”



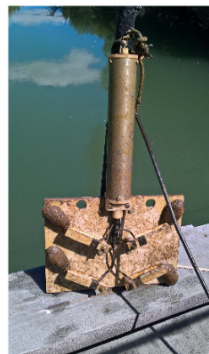
“Биостраж”



“Биомонитор-Л”



“Биопост”



“БиоG8”

Рис. 1. Разработанные и испытанные биоэлектронные измерители

Опыт разработки конструктивов, электроники и программного обеспечения при создании и эксплуатации биоэлектронных комплексов на базе двустворчатых моллюсков позволил создать автоматизированные погружные и лабораторные (аквариумные) измерители, которые могут

использоваться как на стационарных объектах контроля, так и в мобильном варианте [4–6]. Для отдельных видов морских (мидия) и пресноводных (перловица) моллюсков разработаны программные алгоритмы оперативного анализа поведенческой групповой активности [7–8], которые обеспечивают обнаружение внезапных и хронических отравляющих загрязнений.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Гайский П. В.** Аппаратура измерительного комплекса автоматического биомониторинга водной среды (КАБМВС) / А. В. Клименко // Системы контроля окружающей среды: Сб. науч. труд., НАН Украины, МГИ: Севастополь. – 2008. С. 67–71.

2. **Гайский П. В.** Автоматический биоэлектронный комплекс, предназначенный для раннего обнаружения отравляющих загрязнений пресных и морских вод / В. В. Трусевич, В.И. Забурдаев // Морской гидрофизический журнал, МГИ НАНУ, Севастополь. – 2014. – № 2. С. 44–53.

3. **Гайский П. В.** Мобильные биоэлектронные комплексы / В. В. Гайский // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС, – 2015. Вып. 1 (21). С. 19–23.

4. ПАТЕНТ UA № 106661 Устройство для измерения двигательной активности створок моллюсков. **Гайский П.В.** Оpubл. 25.09.2014. Бюл. № 18.

5. ПАТЕНТ UA № 27062 на промышленный образец Погружной модуль комплекса автоматического биомониторинга водных сред (КАБВС) «Биостраж» (два варианта). **Гайский П.В.** Оpubл. 10.06.2014. Бюл. № 11.

6. **Гайский П. В.** Алгоритмически-программное обеспечение приема и первичной обработки измерительных данных биоэлектронного комплекса “Биостраж” // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр., НАН Украины, МГИ. Севастополь. – 2011. Вып. 16. С. 79–83.

7. **Гайский П. В.** Программный алгоритм расчета активности двустворчатых моллюсков на примере перловицы UNIO CRASSUS // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС, – 2016. Вып. 6 (26). С. 52–58.

8. **Гайский П. В.** Результаты опытной эксплуатации экспериментального биоэлектронного комплекса “Биопост” / А. В. Шлык // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС, – 2018. Вып. 14 (34). С. 6–16.

## **О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛОГРАФА СО СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИЕЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ФОРМЫ И СТРУКТУРЫ ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВ**

**Беликов Р.А.<sup>1</sup>, Бреховских А.Л.<sup>1</sup>, Вольтер Е.Р.<sup>2</sup>, Гринберг О.В.<sup>1</sup>,  
Евсенко Е.И.<sup>1</sup>, Ключев М.С.<sup>1</sup>, Сажнева А.Э.<sup>1</sup>, Шрейдер А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН*

*117997, г. Москва, Нахимовский пр., д.36,*

*тел.+7(495)380-41-50, mkluyev@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт экологии Академии Наук Абхазии*

*Республика Абхазия, г. Сухум, ул. Красномаяцкая, д. 67,*

*тел.+7 (940) 921-22-65, ervolter@mail.ru*

Выявлены возможности параметрического профилографа со спутниковой навигацией по изучению форм и структуры ихтиологических сообществ.

The possibilities of a parametric profiler with satellite navigation for the study of the forms/structure of ichthyological communities are revealed.

Коллективное поведение ихтиологических сообществ (стаи и косяков рыб) скрыто от непосредственного наблюдения толщей воды, зачастую замутненной и не достаточно прозрачной. Для его изучения могут оказаться эффективными гидроакустические средства, для которых водная среда прозрачна независимо от ее замутненности.

В Институте океанологии им. П.П.Ширшова РАН в 2014–2018 гг. был разработан Комплекс гидроакустического параметрического профилографирования и GPS позиционирования объектов и структур водной среды и антропоценовых донных осадков с маломерных судов [1–3]. Комплекс включает: низкочастотный параметрический донный профилограф и высокочастотный эхолот (на базе прибора SeaKing DST и программно-обеспечения SeaNet), приемник спутниковой навигации GPS(на базе прибора Trimble BX982), комплекс судовождения (на основе программного обеспечения AquaScan), управляющий компьютер (ноутбук Panasonic CF-31), устройство автономного питания и средства крепления элементов системы на маломерных судах.

Суть технологии работы Комплекса заключается в профилировании исследуемого участка дна одновременно высокочастотным узколучевым эхолотом и низкочастотным узколучевым параметрическим много-частотным профилографом со спутниковой навигацией при совместной обработке их информации по специальным методикам и алгоритмам согласно выбранным критериям [4–6].

В процессе эксплуатации Комплекса была получена обширная информация о форме и структуре ихтиологических сообществ (стай и косяков рыб) в прибрежной морской зоне и в пресноводных озерах.

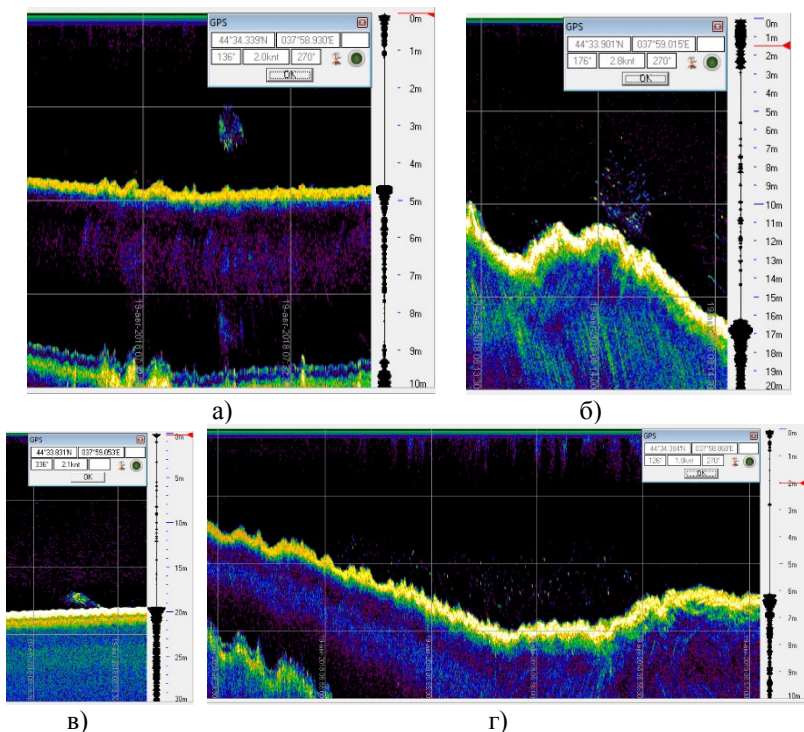


Рис.1 а–г. Некоторые форма и структура рыбных стай в Голубой бухте Черного моря (частота 200 кГц)

Было выявлено несколько характерных форм рыбных стай на мелководье: не касающаяся дна (рис.1–2 а), касающаяся дна (рис. 1–2 б–в), распределенная над дном (рис.1–2 г), примыкающая к дну (рис. 2 д).

Причем эти формы характерны как для морских рыб (на примере черноморских), так и для пресноводных (на примере плещеевоозерских).

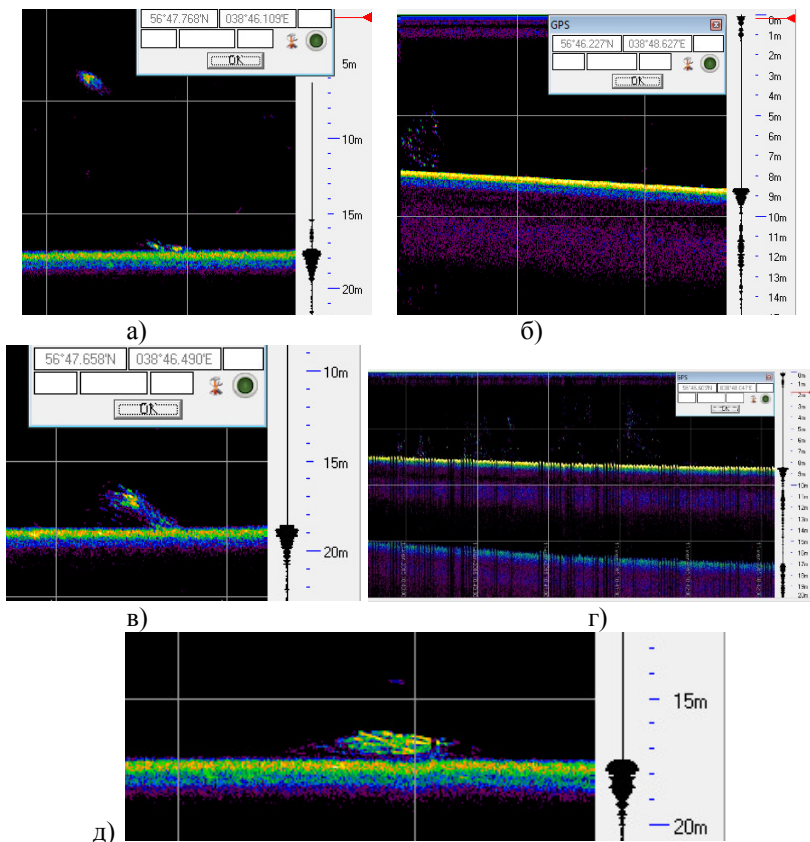


Рис. 2, а–д. Некоторые форма и структура рыбных стай на Плещеевом озере (частота 200 кГц)

Кроме того, было выявлено, что в пределах каждой формы пространственное распределение рыб неравномерно и, в частности, зачастую можно определить ядро и периферию стаи.

Выявленное разнообразие форм рыбных стай, возможно, говорит об особенностях коллективного поведения рыб, связанного с процессами их питания, покоя, обороны, размножения и т.п.

Полученные результаты подтверждают высокие возможности технологии детального исследования донных структур и объектов. Работа выполнена в рамках Проекта Президиума РАН №0149-2018-0026 ПП РАН 1.56 и Проектов РФФИ №19-55-40001, 19-05-00350.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шрейдер Ал.А., Шрейдер А.А., Клюев М.С., Евсенко Е.И. Высокора разрешающая геоакустическая система для геолого-археологического изучения дна // Процессы в геосредах. 2016. № 2. С. 156–161.

2. Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Галиндо-Залдивар Ж., Клюев М.С., Евсенко Е.И., Ольховский С.В., Сажнева А.Э., Захаров Е.В., Чижиков В.В., Бреховских А.Л., Ракитин И.Я., Гринберг О.В. Первые данные геолого-археологического изучения патрейского шельфа Таманского залива Черного моря // Процессы в геосредах, 2017. № 2. С. 557–562.

3. Шрейдер Ал. А., Шрейдер А. А., Клюев М.С. Сажнева А.Э., Бреховских А.Л., Ольховский С.В., Захаров Е.В., Чижиков В.В., Евсенко Е.И., Ракитин И.Я., Гринберг О.В. Особенности технологии использования параметрических гидроакустических средств для поиска, идентификации и мониторинга объектов в придонном слое // Процессы в геосредах, 2018. № 2. С. 920–927.

4. Бреховских А.Л., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Клюев М.С., Ольховский С.В., Ракитин И.Я., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А. Разработка основ технологии исследования объектов культурного наследия, погребенных в донных неуплотненных осадках, методом параметрического профилографа с использованием данных спутниковой навигации // Океанологические исследования, 2018. Том 46. №2. С. 5–14.

5. Бреховских А.Л., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Клюев М.С., Ольховский С.В., Сажнева А.Э., Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А. О структурах и объектах донного антропоцена в ГИАМЗ «Фанагория» // Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции «МСОИ-2017»: Современные методы и средства океанологических исследований. – М.: АПР, 2017. Т.1. С.251–254.

6. Бреховских А.Л., Гринберг О.В., Евсенко Е.И., Клюев М.С., Ольховский С.В., Ракитин И.Я., Сажнева А.Э., Захаров Е.В., Чижиков В.В., Шрейдер А.А., Шрейдер Ал.А. О структуре развала камней в затопленной части городища Патрей по данным гидроакустического параметрического профилографирования и его геохронология // Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах: Третья международная школа молодых ученых, Москва: сборник материалов школы. – М.: ИПМех РАН, 2017. С.58–61.

**СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ,  
ПУЛА БИОГЕНОВ И УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЕСНОЙ НА  
ОБИЛИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОЙ ПОЛОВИНЕ  
ЧЕРНОГО МОРЯ**

**Минкина Н.И., Самышев Э.З., Минкин С.И.**

*Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, пр.  
Нахимова, 2, 299011, г. Севастополь, +7-8692 55 08 02,  
Fax: +7-8692 55 78 13, esamyshev@mail.ru*

По ретроспективным данным оценено совместное влияние абиотических, антропогенных и биотических параметров среды на обилие фитопланктона в основных слоях пелагиали северной половины Черного моря в весенний период (март, май). Выявлено позитивное воздействие преобладающих поллютантов (Fe, Cr и Cu) на биомассу микроводорослей.

From retrospective data the joint impact of abiotic, anthropogenic and biotic parameters of environment on the phytoplankton ability in the main layers of pelagial at the northern Black Sea in spring (March, May) is revealed. Positive influence of prevailing pollutants (Fe, Cr and Cu) on biomass of microalgae is exposed.

Планктонные водоросли, продукция которых лежит в основе функционирования всей пелагической пищевой цепи, обладают высокой скоростью воспроизводства и, быстро реагируя на изменения в экосистеме, могут служить чувствительным индикатором действия на неё различных факторов.

Наиболее полные материалы о биомассе фитопланктона в пелагиали Черного моря были получены в ходе уникального эксперимента, выполненного сотрудниками Украинского научно-исследовательского центра экологии моря Министерства охраны окружающей природной среды (УкрНЦЭМ, г. Одесса) при участии специалистов Института биологии южных морей НАН Украины (ИнБЮМ, г. Севастополь) в рамках проекта ЭКОМОНОК Государственной программы «Глобальные изменения природной среды и климата» ГКНТ СССР [1,3]. Сбор материалов осуществлен на судах УкрНЦЭМ на основании Договора о научном сотрудничестве ИнБЮМ и УкрНЦЭМ – об участии в выполнении про-



граммы исследований годового цикла основных элементов экосистемы северной части Черного моря в 1992-1993 гг. В данной статье использованы результаты измерений, выполненных по единой сетке станций в ходе комплексных сезонных съемок, охвативших экономзоны Украины, России и Грузии (60 и 61 рейсы НИС «Г.Ушаков» в марте и мае 1992 г.). В этих же экспедициях были выполнены наиболее обширные измерения содержания поллютантов в пелагиали Черного моря. Впервые с использованием интегральных показателей нами было получено целостное представление о токсикологическом поле вод северной половины Черного моря в 90-гг. прошлого столетия и его сезонной и пространственной изменчивости [2, 4].

Проблема заключается в том, что практически невозможно разделить воздействия как непосредственные (прямое загрязнение), так и опосредованные, влияющие на фоне широкой амплитуды природной изменчивости гидробиологических процессов. Кроме того, сообщество черноморского фитопланктона подвержено влиянию целого ряда различающихся по своей природе поллютантов, состав и концентрация которых определяются как объемом их поступления в экосистему в различных сезоны, так и гидроструктурой вод.

Не представляется возможным экспериментально оценить влияния всего спектра поллютантов на популяцию фитопланктона. Необходимо выявить синэргические (совместные) реакции сообщества микроводорослей на стрессоры, т.е. такие реакции, когда суммирующий эффект взаимодействия нескольких факторов существенно превосходит эффект каждого отдельного параметра в виде их простой суммы.

Синэргические реакции можно пытаться количественно и качественно описать с помощью одного из методов многомерной статистики – факторного анализа. Основной смысл факторного анализа заключается в выделении из всей совокупности переменных только небольшого числа латентных, независимых друг от друга группировок, внутри которых переменные связаны сильнее, чем переменные, относящиеся к разным группировкам. Факторный анализ позволяет решить две важные проблемы исследователя: описать объект измерения всесторонне и в то же время компактно.

Количественное описание синэргических реакций популяций и сообществ гидробионтов остаются «белым пятном» в океанологических исследованиях. Отсюда следует актуальность проблемы, решаемой в данной работе: количественная оценка совместного влияния гидрологических параметров, обеспеченности биогенами и комплексного загрязнения вод Черного моря на функционирование сообщества фитопланктона в весенний период.

Основные слои пелагиали – поверхностный микрослой (ПМС), верхний перемешанный слой (ВПС), слой термоклина и слой ниже термоклина до 50 м рассматривались как самостоятельные биотопы.

Для анализа были использованы следующие структурные компоненты экосистемы Черного моря:

– абиотические параметры среды (данные УкрНЦЭМ) на всех 108 станциях – средние в основных слоях моря температура, соленость, содержание кислорода; общая глубина на станции, глубина залегания термоклина, толщина основных слоев, глубина залегания изооксигены 1 мл/л (границы слоя сосуществования кислорода и сероводорода), прозрачность воды; среднее содержание биогенов  $\text{v-NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ , общего фосфора; антропогенные факторы (на 10 станциях) – средние концентрации поллютантов (тяжелых металлов Hg, Zn, Ni, Cu, Pb, Cr, Cd, Fe, мышьяка и нефтепродуктов). Данные и карты распределения поллютантов в основных слоях пелагиали приведены в наших работах [2, 4];

– биотические параметры: средние в слоях значения биомассы фитопланктона (на 18 станциях) [1], биомассы эпипланктона, батипланктона и желетелых организмов [3].

Для получения факторных моделей был использован стандартный пакет Statistica 22. Параметры для расчетов выбирались на основании наибольших коэффициентов корреляции между ними и значениями биомассы фитопланктона. Отбор числа факторов выполнен с использованием критерия Кайзера, использовано варимаксное вращение системы координат осей-факторов. Объясненная дисперсия в наших расчетах изменялась от 63,1 до 80,7 %.

Результатами факторного анализа подтверждается известная негативная реакция сообщества фитопланктона в ПМС и ВПС на распределение поверхностных вод в мае из-за паводка крупных рек: Дуная, Днепра, Днестра, Буга. Одновременно показана позитивная реакция на содержание в воде нитритов.

Впервые выявлено синэргическое позитивное воздействие превалирующих в Черном море поллютантов – Fe, Cr и Cu на сообщество микроводорослей [2, 4].

Обнаружены негативная реакция сообщества фитопланктона на содержание в воде Hg в ВПС в марте и Zn в слое термоклина в мае.

Обилие батипланктона под термоклинном положительно коррелировало с обилием водорослей в марте. В мае в поверхностных слоях такая связь проявилась с обилием эпи- и желетелого планктона.

Влияние комплексного загрязнения моря на функционирование сообщества фитопланктона в пределах временного интервала исследований

порядка месяца может быть более значимым, чем воздействие гидрологических и гидрохимических параметров. Поэтому в комплексных гидробиологических исследованиях необходимо планировать измерения параметров загрязнения морской среды и гидробионтов.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Брянцева Ю. В.** Изменчивость структурных характеристик фитопланктона в Черном море. – Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. биол. наук. Спец. 03.00.17 – гидробиология. – Севастополь: Ин-т биологии южных морей им. А.О. Ковалевского НАН Украины, 2000. – 23 с. (Рукописн.).

2. **Дзицкий В. С., Минкина Н. И., Орлова И. Г., Самышев Э. З.** Комплексная оценка загрязненности вод Черного моря в 90-е годы прошлого столетия // Системы контроля окружающей среды. Средства, модели и мониторинг: Сб. науч. тр. / НАН Украины. Морской гидрофизический ин-т. – Севастополь, 2011. – Вып. 15. – С. 265-273.

3. Исследование экосистемы Черного моря: сб. науч. тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря) / ред. В.Н. Мединец. – Вып. 1. – Одесса, 1994. – 158 с.

4. **Dzitsky, V. S., Minkina, N. I., Orlova, I. G., Samyshev, E. Z.** The seawater pollution survey in the northern Black Sea // Turkish Journal of Fishery and Aquatic Sciences. – 2012. – Vol. 12. – P. 507–522.

УДК 535.249

### **СТАБИЛИЗИРУЮЩИЙ ГЕРМЕТИЧНЫЙ БЛОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ФАР НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ ПРИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ**

**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*

В статье описан аппаратно-программный комплекс измерения поверхностной ФАР с герметизацией и горизонтальной стабилизацией датчика ФАР.

Paper presents the hardware – software complex of surface PAR measurement with hermetic encapsulation and horizontal stabilization of the PAR sensor.

Измерения фотосинтетически активной радиации (ФАР) важны для определения первичной продукции [1] и термической структуры и теплосодержания поверхностного слоя [2]. Непрерывные измерения поверхностной ФАР позволяют нормировать данные подводных датчиков при переменной облачности и оценивать солнечную энергию, поступающую на поверхность воды. Измерения ФАР комплексом LI-COR в составе двух датчиков Li-192 (подводные) и одного Li-190 (палубного) проводились нами на Белом, Черном, Баренцевом и Карском морях. Было установлено, что качка судна вносит в измерения палубным датчиком дополнительную погрешность, величина которой зависит от азимута и высоты солнца над горизонтом. Соединение датчика ФАР Li-190 с кабелем и соединение кабеля с блоком обработки и хранения информации Li-1500 негерметично и не подходит для измерений в морских условиях с повышенной влажностью и содержанием соли в воздухе. Платформа датчика с пузырьковым уровнем плохо подходит для непрерывной работы при качке судна.

Для повышения надёжности непрерывных измерений ФАР и стабилизации косинусного коллектора датчика в горизонтальном положении при качке судна был разработан и изготовлен герметичный бокс с пассивным стабилизатором горизонтали (рис. 1).

Датчик Li-190 и электронные платы установлены в герметичном боксе диаметром 70 мм и длиной 300 мм. Все соединения на подводных герметичных разъёмах. Стабилизатор горизонтали, на основе двухосевого карданного подвеса, позволяет удерживать герметичный бокс, который является маятником, в вертикальном положении при углах бортовой и килевой качки от 0 до 20°. Корпус палубного прибора защищает герметичный бокс от ветровой нагрузки и позволяет крепить прибор к ограждению палубы. Кабель, соединяющий палубный прибор и «Multi-Vox» в лаборатории, снабжён ответным герметичным разъёмом. При такой конструкции прибора кабель может быть любой длины.

Датчик Li-190, подключён к масштабируемому буферному усилителю (рис. 2). Буферный ОУ с заданным коэффициентом усиления передаёт сигнал на АЦП. Далее сигнал оцифровывается интегрирующим 24-х разрядным АЦП. Микроконтроллерное устройство (МКУ) построенное на RISC архитектуре фирмы ATMEL занимается сбором полученных данных, предварительной цифровой обработкой и последующей

передачей их в персональный компьютер. Для ввода в персональный компьютер данных от палубного прибора и от датчика «GPS/ГЛОНАСС», обеспечивающего временную синхронизацию данных, используется внешний блок «Multi-Vox». Блок «Multi-Vox» подключается к персональному компьютеру через USB интерфейс.



Рис. 1. Палубный датчик Li-190 в герметичном боксе со стабилизатором на палубе НИС «Академик Мстислав Келдыш»

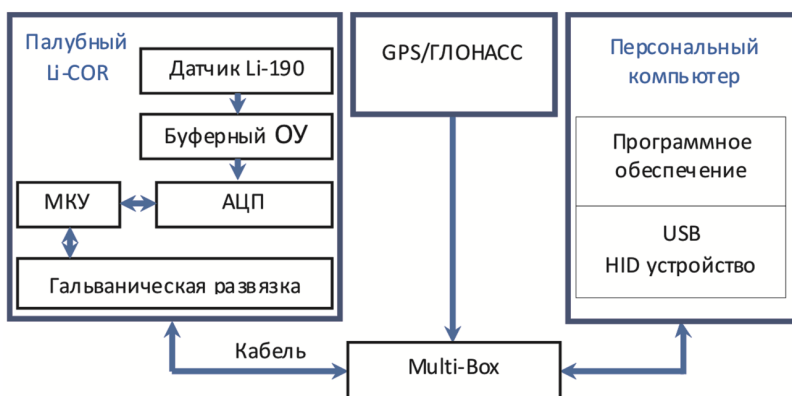


Рис. 2. Блок-схема палубного измерительного комплекса ФАР

В операционной системе компьютера блок «Multi-Vox» [3] представлен как HID устройство, благодаря этому при инициализации не требуется специальных дополнительных драйверов. Программное обеспечение, для работы с палубным прибором «Li-COR», автоматически его находит при подключении блока «Multi-Vox» к компьютеру. Программное обеспечение приборного комплекса обеспечивает автоматический сбор данных от палубного прибора и датчика «GPS/ГЛОНАСС» с последующим их сохранением, а так же её графической визуализации. Палубный прибор, датчик «GPS/ГЛОНАСС» и блок «Multi-Vox» электрически питаются от интерфейса USB персонального компьютера. Для обеспечения электрической безопасности палубная часть приборного комплекса гальванически развязана.

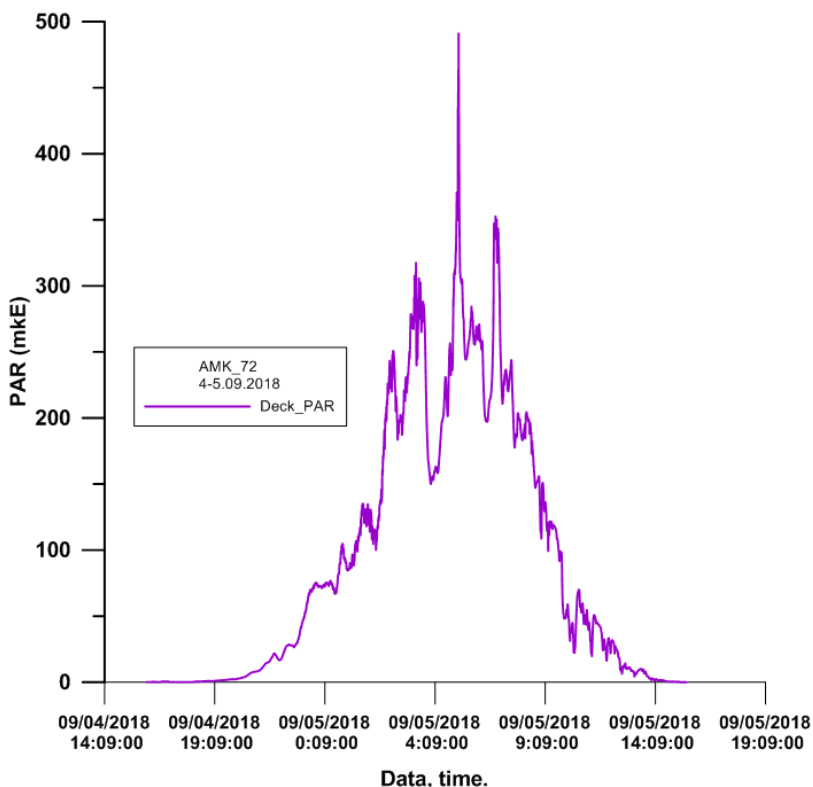


Рис. 3. Суточная поверхностная ФАР

Испытания усовершенствованного палубного комплекса проводились в экспедиционных условиях в арктических 71-м и 72-м рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» в июле-сентябре 2018 г.

Испытания показали повышение точности и надёжности прибора, появилась возможность наблюдения за текущими показаниями на мониторе компьютера (графическая и цифровая), упростилась обработка данных. До создания герметичного блока приходилось обслуживать прибор два раза в сутки. При этом было необходимо промывать и осушать разъёмы соединяющие датчик с кабелем. В настоящее время требуется только периодическая очистка коллектора. Пример записи суточной поверхностной ФАР представлен на рис. 3.

Работа выполнена по темам Государственного задания № 0149-2018-0002 и 0149-2019-0003.

#### ЛИТЕРАТУРА

**1. Demidov A.B., Gagarin V.I., Vorobieva O.V., Makkaveev P.N., Artemiev V.A., Khrapko A.N., Grigoriev A.V., Sheberstov S.V.** Spatial and vertical variability of primary production in the Kara Sea in July and August 2016: the influence of the river plume and subsurface chlorophyll maxima/ *Polar Biology*, 2018. № 41. С.563–578.

**2. Копелевич О.В., Вазюля С.В., Григорьев А.В., Храпко А.Н., Шеберстов С.В., Салинг И.В.** Проникновение солнечной радиации видимого диапазона в воды Баренцева моря в зависимости от облачности и коккофоридных цветений / *Океанология*, 2017. Том 57. № 2. С. 1–9.

**3. Григорьев А.В., Артемьев В.А.** «Multi-Box» – универсальная система сбора данных от нескольких измерительных приборов / *Настоящий сборник*, МСОИ-2019.

## **АВТОНОМНЫЙ ЗОНДИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ФАР**

**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*

В статье представлен автономный зондирующий комплекс для измерения подводной падающей и восходящей ФАР в морских условиях с использованием датчиков Li-COR.

Paper presents an Autonomous probing system for measuring underwater down-up PAR in marine conditions using Li-COR sensors

Точные измерения фотосинтетически активной радиации (ФАР) важны для определения первичной продукции [1]. Наша работа с комплексом Li-COR производства Li-COR.Inc., начиная с 2015 г., показала необходимость усовершенствования комплекса для повышения точности и удобства проведения измерений. В частности, отсутствие датчика давления для подводных датчиков ФАР снижает точность измерений при сильном дрейфе судна, требуется дополнительное время на синхронизацию по времени данных глубины и данных блока Li-1500. Два подводных кабеля (их общий вес 17 кг) осложняют работу на борту, требуют дополнительного сотрудника на палубе, увеличивают время зондирования и стоимость перевозки. Коаксиальные разъемы блока Li-1500 не защищены от брызг и влаги, с блоком можно работать только в сухом помещении или на палубе при хорошей солнечной погоде и низкой влажности.

Для отказа от кабелей, сокращения времени измерений и оптимизации обработки мы решили поместить подводные датчики Li-192 в герметичный бокс с датчиком давления. Структурная схема измерительного комплекса ФАР (рис. 1). При создании комплекса решались следующие задачи: создание погружаемого автономного модуля для двух погружаемых датчиков, предназначенного для обеспечения измерения и сохранения полученных данных в энергонезависимой памяти; обеспечение регистрации глубины; создание программного обеспечения для



персонального компьютера, позволяющего работать с палубным датчиком и погружаемым автономным модулем, с последующим объединением этих данных; создание модуля переноса данных от погружаемого блока к компьютеру; разработка системы синхронизации данных между палубным датчиком и двумя подводными датчиками; подключение модуля GPS/ГЛОНАСС к программному обеспечению и синхронная запись координат с измерениями палубным датчиком.

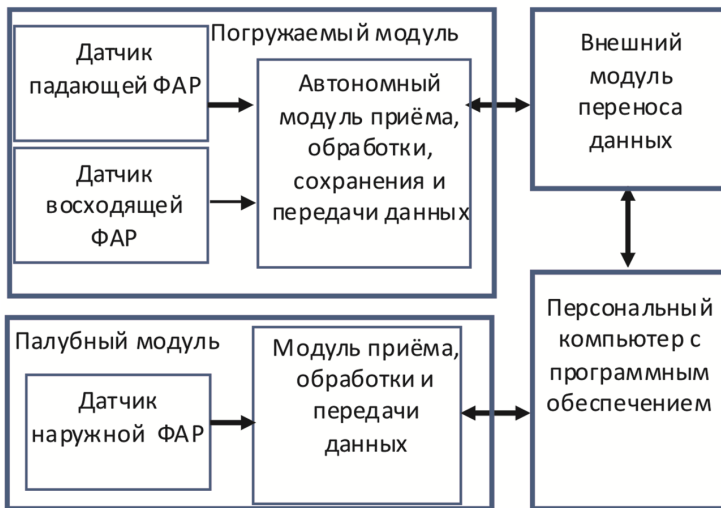


Рис.1. Структурная схема измерительного комплекса ФАР

К погружаемому автономному модулю предъявлялись следующие требования: автономность; малый вес и малые габариты; микроконтроллерное управление; магнитный датчик включения и выключения измерения; наличие системы диагностики модуля; наличие индикации состояния; наличие системы переноса данных из автономного модуля в персональный компьютер; возможность сохранения данных в энергонезависимой памяти; запись точного времени.

Внешний вид погружаемого модуля с подводными датчиками Li-192 показан на рис. 2. Он представляет собой цилиндрический герметичный контейнер диаметром 110 мм и длиной 280 мм с герметичным подводным разъёмом, датчиком давления, магнитным датчиком управления, источником питания и индикатором состояния модуля. Модуль уста-

навливается на штангу с крылом, которое отводит при дрейфе датчики в направлении, перпендикулярном судну. Через разъем, заглушенный во время зондирования, при помощи модуля переноса данных скачивается информация, записанная во время зондирования. Информация может храниться в подводном модуле и скачиваться по мере необходимости.



Рис. 2. Погружаемый модуль с датчиками Li-192.

Модуль переноса данных включает управляющий микроконтроллер, энергонезависимую память, высокоточные часы реального времени. Палубный модуль предназначен для измерения поверхностной ФАР и состоит из палубного датчика и модуля приёма, обработки и передачи данных [2]. Палубный модуль осуществляет предварительную обработку данных и передаёт их в персональный компьютер. Персональный компьютер с программным обеспечением обеспечивает: приём данных от палубного модуля, приём данных от внешнего модуля переноса данных, обработку полученных данных, синхронизацию между данными подводного и палубного модулей, с последующим объединением их, сохранение полученных данных.

Испытания модернизированного АПК проходили в 71-м и 72 рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» в акваториях северных морей от северной Атлантики до Восточно-Сибирского моря. Зондирование до глубины 100 м с новым подводным модулем занимало не более двух минут. Появилась возможность видеть тонкую структуру (рис. 3). Измерение ФАР привязано к координатам.

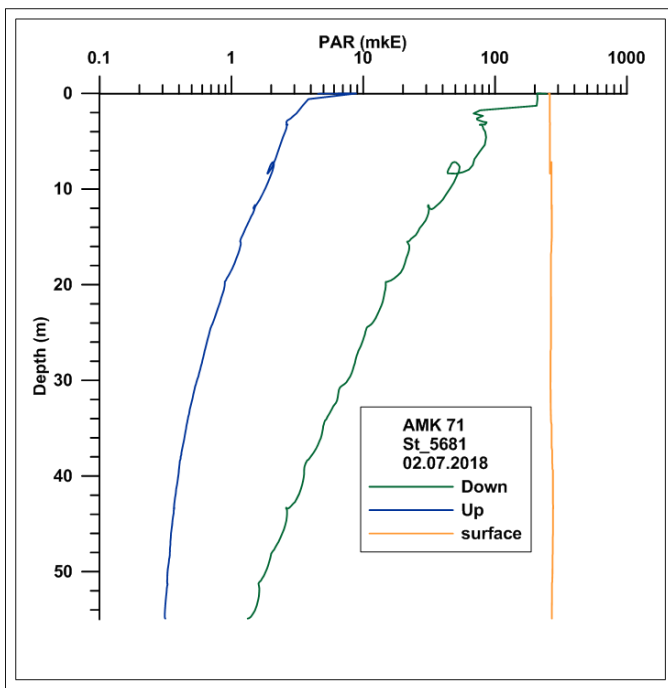


Рис. 3. Пример измерения профиля ФАР датчиками Li-192 с подводным автономным модулем в Карском море.

Работа выполнена по темам Государственного задания № 0149-2018-0002 и 0149-2019-0003.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Demidov A.B., Gagarin V.I., Vorobieva O.V., Makkaveev P.N., Artemiev V.A., Khrapko A.N., Grigoriev A.V., Sheberstov S.V. Spatial and vertical variability of primary production in the Kara Sea in July and August 2016: the influence of the river plume and subsurface chlorophyll maxima / *Polar Biology* 2018, № 41. С. 563–578.

2. Григорьев А.В., Храпко А.Н. Стабилизирующий герметичный блок для повышения точности и надежности измерений ФАР на поверхности моря при неблагоприятных погодных условиях / *настоящий сборник*, МСОИ-2019.

## СОСТАВ И ОБИЛИЕ ГОЛО- И МЕРОПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ ПОРТА КАВКАЗ, КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ

Селифонова Ж.П.<sup>1,2</sup>

- <sup>1</sup>*Морской государственный университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова,  
пр. Ленина, 93, 353918, г. Новороссийск, 8(8617) 71-75-25, Selifa@mail.ru*
- <sup>2</sup>*Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН,  
пр. Нахимова, 2, 299011, г. Севастополь, 8 (8692)54-41-10*

2017–2018 гг. изучены состав, сезонная динамика и распределение голо- и меропланктона в районе порта Кавказ. Выявлено, что видовой состав и количественные показатели зоопланктона были обычными для портовых зон Таманского Причерноморья.

The composition, seasonal dynamics and distribution of holo- and meroplankton near of the port of Kavkaz were studied in 2017–2018. Showed that species composition and quantitative indicators of zooplankton were common for the port areas of the Taman Black Sea region.

Керченский пролив с прилегающими акваториями Азово-Черноморского бассейна – зона интенсивного судоходства и функционирования портовых комплексов. Морской порт Кавказ расположен на косе Чушка. Его акватория ограждена двумя волнозащитными молами. Это второй по грузообороту порт в Азово-Черноморском бассейне с перевалкой 30.5 млн т. Кроме того, порт служит для пассажирского, автомобильного паромного сообщения с портом Крым и перевозки грузовых железнодорожных составов. В ноябре 2007 г. во время сильного шторма в Керченском проливе получили повреждения торговые суда и в воду попало около тысячи т нефтепродуктов. В районе порта Кавказ затонул сухогруз с грузом серы. Значительное загрязнение вод негативно сказалось на развитии планктонных и донных сообществ данной акватории [1].

Цель работы – изучить состав, структуру, динамику и распределение обилия голо- и меропланктона порта Кавказ в современный период.

Материалом для исследования послужили сборы зоопланктона в 2017–2018 гг. в порту и за его пределами. Пробы собирали с периодич-

ностью 2–3 месяца: в октябре, декабре, марте, июне и сентябре. Тотальные ловы производили большой сетью Джеди (диаметр входного отверстия 37 см, размер ячеек 120 мкм) на глубинах от 5 до 8 м. Пробы фиксировали 2–4% раствором нейтрального формальдегида и обрабатывали в лабораторных условиях по стандартной методике.

**Голопланктон.** За весь период исследования отмечено 17 таксонов голопланктона: Copepoda – 9, Cladocera – 4, Chaetognatha – 1, Appendicularia – 1, Dinophyceae (*Noctiluca scintillans*) – 1. Преобладали (>82%) веслоногие раки. Среди них эвритермные веслоногие раки *Oithona davisae*, в марте коловратки – р. *Synchaeta*. В порту наиболее обильными были популяции неритических видов ракообразных *Pleopis polyphemoides* (Cladocera) *O. davisae*, *Acartia tonsa* (Copepoda) и коловратки; на фоновой станции – виды, предпочитающие олиготрофные воды, *Acartia clausi*, *Paracalanus parvus*, *Centropages ponticus*, *Calanus euxinus*, *Pseudocalanus elongatus*, *Oithona similis*, *Pontella mediterranea* (Copepoda). Среднегодовые количественные показатели голопланктона в районе порта незначительно отличались от таковых фоновой станции (табл. 1).

Таблица 1. Средняя численность и биомасса голопланктона различных районов порта Кавказ (октябрь – сентябрь) 2017–2018 гг.

Район	Вобщ, мг/м <sup>3</sup>	Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup>			
		Нобщ	№cop	№cl	№rot
Порт	37.6±5.9	6.0±2.4	4.92	0.24	0.84
Фон	49±28.2	7.0±3.0	5.94	0.28	0.78

*Примечание.* Вобщ – общая биомасса, Нобщ – общая численность, №cop, №cl, №rot, – численность Copepoda, Cladocera и Rotifera соответственно

Пик численности голопланктона приходился на март (17–20 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса 53.4–58.2 мг/м<sup>3</sup>). Доля веслоногих раков в это время составляла 43.8–53.7% общей численности голопланктона, доля коловраток – 46–56%. Доминировали эвритермные веслоногие раки *A. clausi* и *P. parvus*. В популяциях копепод шел активный нерест (до 75–99.8% науплиев). Июнь характеризовался преобладанием термофильных веслоногих раков. Вклад в общую численность *O. davisae* составлял 35.2–55.2%, *C. ponticus* – 16.8–36.6%, *A. tonsa* – 13.5–16.8%. Доля ветвистых раков *P. polyphemoides* была 11.2–13.6%. Общая численность голопланктона ≤4.0–4.4 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса 40.2–43 мг/м<sup>3</sup>. Осенью

(сентябрь-октябрь) обилие голопланктона существенно не изменилось. Повсеместно сравнительно многочисленными были эвритермные веслоногие раки *O. davisae* – 84.4%, *A. tonsa* – 10.8%. *C. ponticus* – 3.5%. На фоновой станции единично отмечен редкий вид гипонейстона *P. mediterranea*. Хищные щетинкочелюстные организмы *Parasagitta setosa* и прочие обитатели пелагиали были немногочисленны. Основу зимнего сообщества формировали криофильные и эвритермные виды копепод *C. euxinus*, *P. elongatus*, *O. similis*, *A. clausi* и *P. parvus* (60–80.5% общей численности), термофильные – *O. davisae* (15.5–28.5%). Максимальная численность голопланктона зарегистрирована на фоновой станции (3.8 тыс. экз/м<sup>3</sup>, биомасса 92.8 мг/м<sup>3</sup>). В районе порта, где отмечено сильное цветение воды диатомовыми водорослями, обилие голопланктона было в 5 раз ниже.

**Меропланктон.** В составе сообщества личинок донных животных за весь период исследования отмечено 13 таксонов: *Bivalvia* – 3, *Gastropoda* – 2, *Polychaeta* – 4, *Cirripedia* – 1, *Decapoda* – 3. Среднегодовые количественные показатели меропланктона в районе порта незначительно отличались от таковых фоновой станции (табл. 2). Доля меропланктона в составе зоопланктона в среднем составляла 36.8% в порту и 19.0% на фоновой станции. В порту доминировали личинки двустворчатых моллюсков, и усоногих раков, за пределами порта – личинки двустворчатых и брюхоногих моллюсков.

Таблица 2. Средняя численность и биомасса меропланктона различных районов порта Кавказ (октябрь – сентябрь) 2017–2018 гг.

Район	Вобщ, мг/м <sup>3</sup>	Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup>					
		Nобщ	Ncir	Nbiv	Ngast	Npol	Ndec
Порт	17.4±2.4	2.0±0.74	0.6	0.9	0.2	0.3	0
Фон	19±3.2	3.2±2.2	0.5	1.5	1.0	0.19	0.01

*Примечание.* Вобщ – общая биомасса, Nобщ – общая численность, Ncir, Nbiv, Ngast, Npol, Ndec – численность *Cirripedia*, *Bivalvia*, *Gastropoda*, *Polychaeta* и *Decapoda* соответственно

В марте при температуре воды 10°C донные беспозвоночные размножались очень слабо. Доля меропланктона в составе зоопланктона составляла ≤ 3.9–5.6%. Численность меропланктона была 0.34–0.57 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса 3.3–4.1 мг/м<sup>3</sup>. В планктоне присутствовали личинки многощетинковых червей *Polydora cornuta*, усоногих раков

*Amphibalanus improvisus* и двустворчатых моллюсков *Mytilus galloprovincialis*. В июне отмечено 10 таксонов меропланктона. Численность меропланктона возросла 1.5–1.6 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса 9.1–10.2 мг/м<sup>3</sup>. Доля меропланктона в составе зоопланктона достигла 44.9–38.6%. Доминировали личинки брюхоногих моллюсков *Bittium reticulatum* (43.3–72.4% общей численности меропланктона), личинки двустворчатых моллюсков *Mytilaster lineatus* (4.9–21.6%) и не идентифицированные до вида *Bivalvia* (2.8–21.6%).

В сентябре идентифицировано 8 таксонов меропланктона. Численность меропланктона составила 0.83–2.6 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса 6.4–12.2 мг/м<sup>3</sup>. Доля меропланктона в составе зоопланктона достигала 27.4–59.9%. Повсеместно в меропланктоне доминировали личинки двустворчатых моллюсков *M. lineatus* (84.8–86% общей численности меропланктона). Вклад брюхоногих моллюсков *B. reticulatum* ≤ 7–8.6%. В октябре в районе исследования меропланктон был слабо представлен (2 таксона) в виду сезонного затухания размножения донных беспозвоночных. Доля меропланктона в составе зоопланктона не превышала 0.5–4.5%. Однако общая численность личинок донных животных достигала 2.2–2.8 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса 5.6–10.2 мг/м<sup>3</sup>. В планктоне отмечены личинки двустворчатых моллюсков *M. galloprovincialis* и усонюгих раков *A. improvisus*. В декабре удалось идентифицировать личинки двустворчатых моллюсков *M. galloprovincialis*, усонюгих раков *A. improvisus*, брюхоногих моллюсков *B. reticulatum* и многощетинковых червей *P. cornuta*. Среди указанных видов доминировали личинки усонюгих раков (75–94%). Несмотря на высокий вклад меропланктона в зоопланктон (19.2–74.8%), его общая численность в среднем упала в 7 раз и составила 0.11–0.61 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса 1.9–6.9 мг/м<sup>3</sup>.

В заключение следует отметить, что видовой состав и количественные показатели зоопланктона были обычными для портовых зон Таманского Причерноморья [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Еремеев В.Н.** Предварительная оценка последствий аварий судов 11 ноября 2007 г. на среду и биоту Керченского пролива: материалы междунаучной конференции «Современные проблемы морской инженерной экологии (изыскания ОВОС, социально-экономические аспекты)» // В.Н. Еремеев, А.Р. Болтачев. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2008. – С. 88–92.
2. **Селифонова Ж.П.** Прибрежные экосистемы северо-восточного шельфа Черного моря и Азовского моря: монография. – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2014. – 170 с.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКЦИИ ДОМИНИРУЮЩИХ ВИДОВ МАКРОЗООБЕНТОСА БЕЛОГО И ЧЁРНОГО МОРЕЙ НА ГИПОКСИЮ ВОДНОЙ СРЕДЫ**

**Гулин М.Б., Иванова Е.А.**

*Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН,  
Российская Федерация, 299011, г. Севастополь, проспект Нахимова, д. 2,  
телефон +7(8692)544785, факс +7(8692)557813,  
E-mail m\_gulin@mail.ru*

Для доминирующих таксонов макробентоса Белого и Чёрного морей установлен единый пороговый уровень кислорода в окружающей среде, ниже которого организмы оказываются в стрессовых условиях гипоксии.

For the macrobenthos dominant taxa of quite different White and Black seas it was set similar threshold levels of oxygen in the environment below which organisms are under stress conditions of hypoxia.

Цель настоящих исследований – сравнительная оценка воздействия дефицита кислорода в водной среде на функциональную активность массовых видов эпибентосной фауны в южных эвтрофных и холодно-водных олиготрофно-мезотрофных морских водоёмах России.

В качестве интегрального показателя экофизиологического состояния исследуемых оксифилов использовали данные о скорости потребления ими растворённого кислорода в условиях, близких *in situ*.

Для инкубации объектов макрофауны применялась цилиндрическая камера из оргстекла ёмкостью 400 см<sup>3</sup> с газонепроницаемыми стенками толщиной 1.5 см. Концентрацию растворённого кислорода и температуру в воде определяли с помощью LDO-анализатора HACH-NH40d. Измерения производили в автоматическом режиме, с шагом 15 мин.

В июле 2018 г. было выполнено определение суммарного биохимического потребления кислорода (БПК) в морской воде Голубой бухты Геленджика. Параллельно осуществлены экспериментальные измерения скорости дыхания фазеолины – добытых в этом же районе двустворчатых моллюсков (*Modiolus phaseolinus* Phillippi, 1844), населяющих глубоководную, близкую к сероводородной зоне часть шельфа Чёрного моря.



БПК морской воды у Геленджика составило в среднем 1,59 мг  $O_2$ /л/сут. при температуре экспозиции изолированных проб 27–28 °C. В пересчёте на объём воды, сопоставимый со средним объёмом раковин отловленных экземпляров *M.phaseolinus* (~ 0.5 см<sup>3</sup>), этот показатель даст величину 0.8 мкг  $O_2$ /0,5 см<sup>3</sup>/сут. В то же время, потребление кислорода отдельными особями фазеолины оказалось на четыре порядка выше данного осреднённого значения и достигало 967.9 мкг  $O_2$ /экз./сут (в среднем). Важно отметить также, что полное потребление растворённого кислорода в 400-мл экспериментальной камере группой особей моллюсков-фазеолин в количестве 10 экз., происходило в течение 15–16 часов, после чего все подопытные животные погибали.

Аналогичные исследования были осуществлены в Севастопольской Бухте, но с другим моллюском *Bivalvia* – мидиями (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819). Эксперименты проводили с единичными экземплярами среднего размера, индивидуальный объём раковин которых был сопоставим с суммарным объёмом 10 особей фазеолин.

Величина БПК в эвтрофных водах акватории Севастополя (4–6 сентября 2018 г.,  $T_{\text{средняя}} = +25.2$  °C) достигала значений 0.90 мг  $O_2$ /л/сут. (рис. 1), что заметно меньше указанного выше показателя для прибрежных вод Геленджика в летний период.

Напротив, интенсивность дыхания мидий может значительно превосходить таковую у фазеолин, выловленных в акватории Геленджика. Так, в проведенных экспериментах её средняя величина составила 26.37 мг  $O_2$ /экз./сут., тогда как в опытах с фазеолиной ~ 9.7 мг $O_2$ /10 экз./сут.

Более информативным оказался анализ динамики потребления гидробионтами донной макрофауны растворённого в водной среде кислорода (рис. 1), Установлено, что у мидий обнаруживается пороговый уровень содержания кислорода, после которого организмы переходят в стрессовое состояние (рис. 1-Б). Согласно полученным данным, критическим уровнем  $[O_2]$ , ниже которого мидии воспринимают окружающую их водную среду как кислород-дефицитную, могут быть значения около 3.2 мг  $O_2$ /л. Это сопоставимо с опубликованной ранее общей оценкой эффекта кислородной недостаточности на состояние бентосной макрофауны [Rosenberg, 1980], при которой пороговой величиной принята концентрация кислорода 2 мл/л (что соответствует 2.85 мг/л).

В отличие от черноморской воды скорость потребления кислорода в олиготрофных водах Белого моря в раннеосенний период (температура воды + 11.5 °C) оказалась чрезвычайно низкой. В то же время, потребление кислорода в инкубационной камере с помещёнными в неё единичными экземплярами *Asterias rubens* (Linnaeus, 1758) – доминирую-

щим на беломорском шельфе видом *Asteroidea* (морские звёзды), варьировало в очень узком диапазоне 13.55–13.60 мг  $O_2$ /экз./сут. Для изучения были выбраны молодые особи, с наибольшим расстоянием между концами противоположно направленных лучей, не превышающим 2.4–3.2 см.

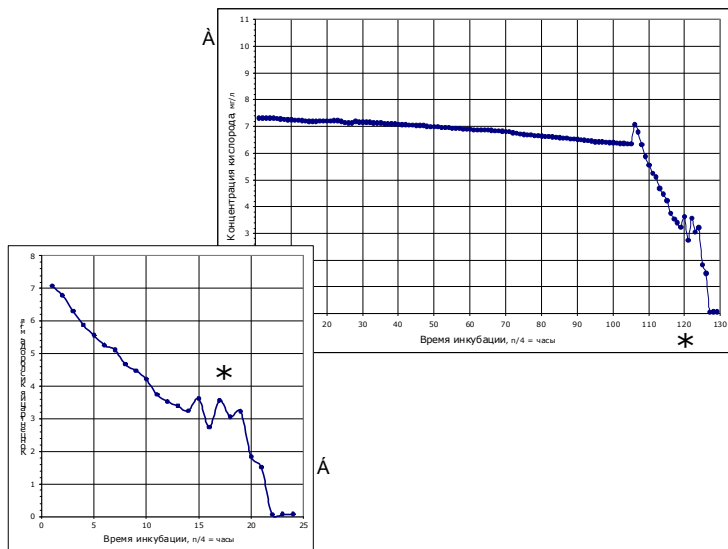


Рис. 1. А – общий график потребления  $O_2$ : в воде (линейный участок кривой) и суммарно с мидиями *M.galloprovincialis* (сектор \*). Б – фрагмент общего графика А, только суммарное потребление  $O_2$  в воде и мидиями (также сектор \*)

На графике рис. 2, также как и в случае с *M.galloprovincialis* из Севастопольской бухты (рис. 1), можно наблюдать порог наступления кислородного стресса у данного экземпляра *A.rubens*, он соответствует концентрации кислорода примерно 3 мг/л.

Таким образом, для отдельных, доминирующих в фауне макробентоса представителей как Белого, так и Чёрного морей, кардинально различающихся между собой по климатическим условиям, температурному режиму водной среды и по трофности вод, установлены схожие пороговые уровни содержания кислорода в среде, ниже которых для организмов наступают стрессовые условия гипоксии.

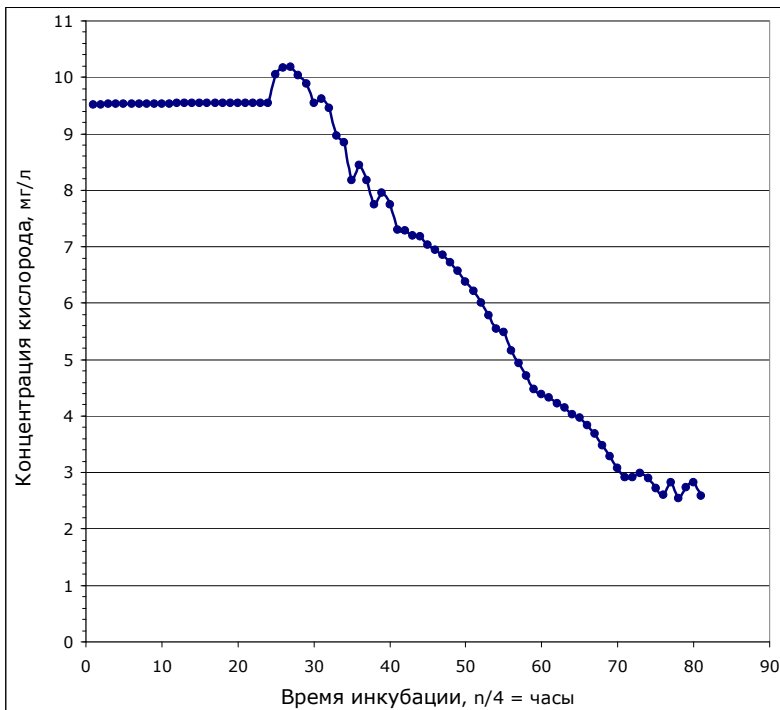


Рис. 2. Динамика утилизации кислорода из водной среды в эксперименте с морской звездой *Asterias rubens* (характерные фрагменты – линейный и близкий к экспоненциальному – аналогичны рис. 1)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Rosenberg R.** Effect of oxygen deficiency on benthic macrofauna / Freeland H. J., Farmer D. M., Levings C. D. (Eds) Fjord oceanography. – New York: Plenum Publicatios, 1980. – P. 499–514.

## О ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ МЕЗОПЛАНКТОНА IN SITU

**Оленин А.Л.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(910)4780594, olenin.al@ocean.ru*

В докладе представлено состояние работ по видеорегистрации in situ частиц взвеси (в частности, зоопланктона), выполняемых в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН).

The report presents in situ video recording of suspended particles (in particular, zooplankton), performed P.P. Shirshov Institute of Oceanology.

В докладе представлены текущие результаты по видеорегистрации частиц взвеси в воде, полученные в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Представлены натурные съемки с использованием элементов созданной ранее измерительной-технологической платформы [1]. В платформе применена оптико-волоконная линия передачи данных.

Анализ современного состояния технических средств океанологических исследований показывает, что при проведении экспедиционных исследований актуально получение качественных цветных изображений планктона in situ в реальном времени. Это позволяет проводить визуальные наблюдения на требуемых горизонтах, что дополняет традиционную методику, использующую сетный лов зоопланктона и последующее лабораторные исследования проб под микроскопом.

Особенность съемки мелких объектов в воде (частицы, мезозоопланктон) заключается в сравнительно малом эффективном регистрируемом объеме, изображения объектов в котором обладают требуемой детальностью и резкостью.

Представлены результаты натурной видеорегистрации с помощью созданного ранее устройства [2] для съёмки в специальной прозрачной ёмкости предварительно отловленных экземпляров мезопланктона. Ёмкость помещена на зондирующее устройство с гидрофизическими датчиками, при этом обеспечен контролируемый водообмен полости ёмкости с окружающей водой. Это позволяет визуально изучать особенности поведения зоопланктона на различных глубинах и состоянии водной среды в реальном времени.

На рис. 1 приведено изображение культивированных особей *Daphnia*, погружаемых в прозрачной ёмкости в натуральных условиях.

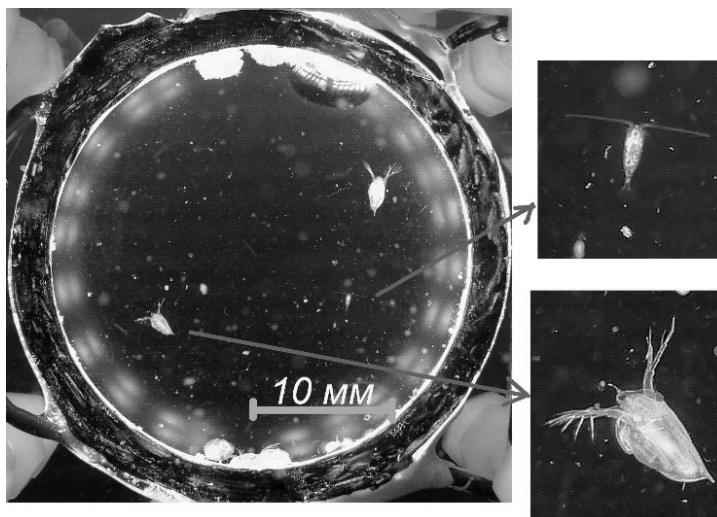


Рис. 1. Пример съемки *Daphnia* видеорегистратором на Гидробиологической станции “Глубокое озеро”(глубина 12 м)

В докладе проанализированы также различные технические проблемы видеорегистрации взвешенных частиц (освещение, геометрические характеристики оптических систем, характеристики 1 Gb оптоволоконной кабель-тросовой линии и т.д.).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема №0149-2019-0011).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов Г.В., Матишов Г.Г. Оленин А.Л., и др. Морские испытания многоканальной измерительно-технологической платформы // Вестник южного научного центра 2014. Т. 10. № 3 С. 54–60.

2. Патент РФ № 2670713 Видеорегистратор зоопланктона / **Островский А.Г., Оленин А.Л.** заявл. 27.12.2017; опубл. 24.10.2018, Бюл. № 30.

## **ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОД И СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА В ПОРТУ НОВОРОССИЙСК И ЗА ЕГО ПРЕДЕЛАМИ В 2017 ГОДУ**

**Ясакова О.Н.<sup>1</sup>, Часовников В.К.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup> Южный Научный Центр РАН,  
ул. Чехова, 41, 344006, г. Ростов-на-Дону,  
8 (8632) 66-56-77, yasak71@mail.ru*

*<sup>2</sup> Институт Океанологии им П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(86141)28069  
chasovnv@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования гидрохимического состава вод и состояния фитопланктона в зоне влияния Новороссийского порта и за его пределами в период лето–осень 2017 г.

The article presents the research of qualitative structure and quantitative development of the phytoplankton and hydrochemical parameters of water in the port of Novorossiysk and open part of the bay during the summer – autumn period 2017.

Новороссийск – крупнейший транспортный узел на юге России, через который ежегодно переваливается свыше 120 млн. тонн грузов. Цель работы – исследовать качественные и количественные характеристики фитопланктона в условиях антропогенной нагрузки на акватории Новороссийского порта и за его пределами.

Пробы фитопланктона отбирали с поверхности моря в дневное время суток на акватории Новороссийского порта (станции №№ 1-7) и за его пределами (фоновая станция № 8) в июле, августе и октябре 2017 г. Концентрирование проб фитопланктона осуществляли методом обратной мягкой фильтрации, фиксировали раствором люголя и формалином [1,2]. Идентификация видов, подсчет численности и определение объема клеток фитопланктона проводили в соответствии с общепринятыми руководствами [3-5].

Параллельно в районе исследований были проведены гидрохимические исследования морской среды на тех же станциях, где отбирали пробы фитопланктона. Для аналитических определений использовалось

оборудование Лаборатории химии ЮО ИО РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий (СААЛ) Госстандарта России (Аттестат №РОСС RU.0001.512500). Приборы проверены в соответствии с требованиями СААЛ Госстандарта РФ. Использовали методы определения гидрохимических параметров в поверхностных водах, принятых для морских экспедиционных работ [6, 7].

Обнаружено 54 вида фитопланктона, относящихся к 6 отделам *Bacillariophyta* (диатомовые), *Dinophyta* (динофитовые), *Chrysophyta* (золотистые), *Euglenophyta* (эвгленовые), *Cryptophyta* (криптофитовые), *Cyanophyta* (синезеленые водоросли). Максимальное видовое разнообразие отмечено среди динофитовых (29 видов) и диатомовых водорослей (22 вида). Другие отделы были представлены 1-2 видами. Средние за период исследования величины количественного развития планктонных водорослей в порту (466 тыс. кл./л и 1095 мг/м<sup>3</sup>) были почти в 2 раза выше, чем в средней части бухты (260 тыс. кл./л и 665 мг/м<sup>3</sup>).

Максимальные величины численности фитопланктона порта (759 тыс. кл./л при биомассе 1173 мг/м<sup>3</sup>) наблюдали в июле (Тводы=20,3°C; S=17,9‰). Концентрация биогенных веществ в районе порта (в мг/л: PO<sub>4</sub> – 0.0036; NO<sub>3</sub> – 0.0028; NO<sub>2</sub> – 0.017; NH<sub>4</sub> – 0.011) в 1.2-4 раза превышали таковые величины, отмеченные за его пределами (в мг/л: PO<sub>4</sub> – 0.002; NO<sub>3</sub> – 0.0007; NO<sub>2</sub> – 0.010; NH<sub>4</sub> – 0.009). Отмечены наиболее высокие за весь период исследований концентрации нитритного азота (NO<sub>2</sub>). Диатомовые водоросли формировали 66 % общих значений численности и 89 % биомассы фитопланктона. Среди диатомовых доминировали *Cerataulina pelagica* и *Skeletonema costatum* (64 и 18 % численности отдела), на уровне субдоминант развивались *Chaetoceros curvisetus* и *Leptocylindrus danicus*. Основу биомассы (93 %) диатомовых водорослей формировала *Cerataulina pelagica*. Золотистые водоросли составили значительную часть численности – 32 %, при этом их максимальное развитие отмечали в центральной части порта (50 %). На долю динофитовых приходилось не более 1 % численности и 8 % биомассы. Наиболее многочисленными среди них были *Prorocentrum micans*, виды родов *Gyrodinium* и *Gymnodinium*. Виды родов *Gyrodinium*, *Prorocentrum*, *Protoperidinium* формировали основу биомассы отдела.

Количественное развитие фитопланктона (594 тыс. кл./л и 209 мг/м<sup>3</sup>) на фоновой станции (Тводы=17,6°C; S=18,4 ‰) в 1.3 и 5 раз уступало средним величинам, отмеченным в порту. Наблюдали цветение представителя золотистых водорослей *Emiliania huxleyi* (97 % от численности и 74 % биомассы фитопланктона). Значительную часть биомассы (21 %) фитопланктона составляли динофитовые водоросли, на долю

диатомовых приходилось не более 1 % численности и 4 % биомассы. Среди диатомовых доминировали *Cerataulina pelagica* и *Pseudonitzschia pseudodelicatissima*, среди динофитовых – *Prorocentrum micans*, *Scrippsiella trochoidea*, *Dinophysis rotundata*, *Protoperidinium knipowithii*, виды родов *Gyrodinium*, *Glenodinium*, *Gymnodinium*.

**В августе** ( $T_{\text{воды}}=24,5^{\circ}\text{C}$ ;  $S=18,8\%$ ) средние величины численности и биомассы планктонных водорослей в акватории порта составили 265 тыс. кл./л и 1992 мг/м<sup>3</sup>. За пределами порта ( $T_{\text{воды}}=24,9^{\circ}\text{C}$ ;  $S=19\%$ ) значения численности были почти в 2 раза ниже (144 тыс. кл./л), величина биомассы – на том же уровне, что и в порту (1713 мг/м<sup>3</sup>). Концентрация нитритного азота (NO<sub>2</sub>) по сравнению с июлем как в порту (в мг/л: PO<sub>4</sub> – 0.003; NO<sub>3</sub> – 0.005; NO<sub>2</sub> – 0.002; NH<sub>4</sub> – 0.015); так и за его пределами (в мг/л: PO<sub>4</sub> – 0.001; NO<sub>3</sub> – 0.006; NO<sub>2</sub> – 0.001; NH<sub>4</sub> – 0.006) снизилась на порядок. Содержание нитратного азота (NO<sub>3</sub>) в средней части бухты почти на порядок возросло. Высокие значения биомассы были обусловлены обилием крупноклеточных видов диатомовых водорослей, формировавших 98 % общих значений численности и 94 % биомассы в акватории порта и соответственно 97 и 93 % этих величин за его пределами. Повсеместно доминировали *Dactyliosolen fragilissimus* и *Pseudosolenia calcar-avis*; значительное развитие в акватории порта получили также *Pseudonitzschia pseudodelicatissima*, *Talassiosira* sp. и *Skeletonema costatum*. На долю динофитовых приходилось не более 2 % численности и 6 % биомассы во всем районе исследований. Наибольшее значение в формировании численности и биомассы имели виды *Prorocentrum micans*, *P. cordata*, *Diplopsalis lenticula*, *Ceratium fusus*, *C. furca*, *Protoperidinium knipowithii*, *P. depressum*, *Dinophysis caudata*, *Scrippsiella trochoidea*, виды родов *Glenodinium* и *Gymnodinium*.

**В октябре** ( $T_{\text{воды}}=19,1^{\circ}\text{C}$ ;  $S=19,3\%$ ) величины обилия фитопланктона на акватории порта составили 376 тыс. кл./л и 122 мг/м<sup>3</sup>. Концентрации биогенных веществ по сравнению с августом как в порту (в мг/л: PO<sub>4</sub> – 0.003; NO<sub>3</sub> – 0.004; NO<sub>2</sub> – 0.001; NH<sub>4</sub> – 0.009), так и за его пределами (в мг/л: PO<sub>4</sub> – 0.006; NO<sub>3</sub> – 0.008; NO<sub>2</sub> – 0.002; NH<sub>4</sub> – 0.011) изменились незначительно, кроме фосфатов (PO<sub>4</sub>), содержание которых в средней части бухты в 6 раз повысилось. Доминирующими были криптофитовые водоросли (рода *Plagioselmis*), составившие соответственно 88 и 74 % общих значений численности и 31 и 2 % биомассы в порту и в средней части бухты. Диатомовые водоросли за пределами порта составили значительную часть численности – 25 % и биомассы – 39 % и соответственно 8 % и 38 % этих величин – в порту. В порту доминировали *Cerataulina pelagica*, *Leptocylindrus minimus* и *Skeletonema costatum*, на



уровне субдоминант развивались *Nitzschia tenuirostris*, *Thalassionema nitzschioides*, *Chaetoceros insignis* и *C. affinis*. Основу биомассы диатомовых водорослей формировали *C. pelagica*, *Pseudosolenia calcar-avis* и *Chaetoceros peruvianus*. На долю динофитовых приходилось не более 3 % численности, при этом они формировали 30 и 58 % биомассы в порту и в средней части бухты. Наиболее многочисленными были *Prorocentrum cordata*, *P. micans*, *Gyrodinium spirale* и виды рода *Gymnodinium*. Виды рода *Ceratium*, *Prorocentrum micans*, *Diplopsalis lenticula* формировали значительную часть биомассы отдела.

В средней части бухты (Тводы=18,8°C; S=19,3‰) значения численности почти на порядок (43 тыс. кл./л), а биомассы (73 мг/м<sup>3</sup>) в 2 раза уступали таковым величинам, отмеченным в порту. Среди диатомовых доминировали *Cerataulina pelagica*, и *Chaetoceros insignis* и *Thalassionema nitzschioides*, на уровне субдоминант развивались *Dactyliosolen fragillissimus* и *Leptocylindrus minimus*. Основу биомассы отдела формировали крупноклеточные виды *Pseudosolenia calcar-avis*, *Proboscia alata*, *Dactyliosolen fragillissimus* и *Cerataulina pelagica*. Среди динофитовых доминировали виды *Ceratium tripos*, *C. furca*, *Prorocentrum micans*, *Diplopsalis lenticula* и *Protoperidinium depressum*.

Эвгленовые водоросли (*Eutreptia lanowii*) в июле были отмечены только на ст.2 (926 кл./л), в августе – на ст.2,3 и 5 (627-3174 кл./л) и в небольшом количестве в средней части бухты (48 кл./л). Синезеленые (*Oscillatoria* sp.) развивались в октябре только на ст.2 (222 кл./л).

**Таким образом,** в августе и сентябре 2017 г. положительной корреляции между распределением количественных величин планктонных водорослей и биогенных элементов на исследуемой акватории Новороссийской бухты отмечено не было. Средние за период исследований концентрации основных биогенных веществ в порту и за его пределами были примерно на одном уровне; тогда как обилие фитопланктона в порту было в 2 раза выше, чем в средней части бухты. В то же время значительное развитие в водах порта эвгленовых и криптофитовых водорослей может указывать на повышенную трофностью вод исследуемой акватории, а обилие золотистых водорослей за его пределами – на лучшую экологическую ситуацию открытого района бухты, связанную с пониженным фоном питательных веществ.

Работа выполнена в рамках программ "Современное состояние и многолетняя изменчивость прибрежных экосистем южных морей России" (№ гос. рег. ЦИТИС: 01201363187).

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Сорокин Ю.И.** К методике концентрирования фитопланктона // Гидробиол. журнал. 1979. – №2. – С. 71–76.
2. **Фёдоров В.Д.** О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: МГУ, 1979. – С. 106–108.
3. **Кольцова Т.Н., Лихачева Н.Е., Федоров В.Д.** О количественной обработке проб фитопланктона // Биол. Науки. 1979. № 6. С. 96–100.
4. **Dodge J. D.** Marine dinoflagellates of the British Isles. London: HMSO. 1982. 301 p.
5. **Tomas C.** (ed.). Identifying marine phytoplankton. San Diego, CA. Academic Press. Harcourt Brace Company. 1997. 821 p.
6. Современные методы гидрохимических исследований океана / Под ред. Бордовского О.К., Черняковой А.М. – Москва: ИО РАН, 1992. – 253 с.
7. Руководство по химическому анализу морских вод. РД 52.10.213-02. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. – 264 с.

УДК 551.465

### **ФЛУОРИМЕТРИЯ КАК СРЕДСТВО ИЗУЧЕНИЯ МЕЗОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА В ОКЕАНЕ**

**Карабашев Г.С.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Москва, Нахимовский пр-кт, д. 36, тел.(495)719-03-70 e-mail: genkar@mail.ru*

Показаны преимущества применения судовых флуориметрических зондов для изучения мезомасштабной изменчивости хлорофилла в открытом океане.

The ship-borne fluorimetric probes are demonstrated to be advantageous for studying the mesoscale variability of chlorophyll in the open ocean.

Измерения флуоресценции хлорофилла в морской воде применяются для изучения изменчивости фитопланктона в океанах и морях уже более полувека в контактном и дистанционном вариантах (Aiken, 2001; Karabashev, 1996). В первом случае измерителями служат разнообраз-

ные версии погружаемых зондов-флуориметров или бортовых приборов с проточной кюветой, а во втором – судовые лазерные лидары и спутниковые спектрометры цвета океана с каналом, настроенным на красную полосу свечения хлорофилла.

Парадокс в том, что все это разнообразие подходов состоялось вопреки известным обстоятельствам: концентрация хлорофилла дает лишь приблизительное представление о количестве его носителей в водной среде при том, что концентрационная зависимость интенсивности флуоресценции хлорофилла существенно зависит от видового состава фитопланктона и природных условий, в которых применяется флуориметрическая аппаратура. Терпимость к этим ограничениям обусловлена острой потребностью в оперативном контроле микроводорослей и отсутствием иных физических явлений, которые (1) являются свойством растительных клеток, (2) не уступают флуоресценции по избирательности к хлорофиллу на фоне прочих излучений в море и (3) позволяют строить сенсоры, превосходящие флуориметры по чувствительности, компактности и быстродействию.

Изменчивость чувствительности флуориметров к хлорофиллу в естественной водной среде во многом определяется изменчивостью видового состава фитопланктона. Поэтому опасность смещенности флуориметрических оценок содержания хлорофилла в воде убывает, если они получены в течение нескольких дней на сравнительно малых акваториях. На это указывает линейность концентрационной зависимости флуоресценции хлорофилла, находимая по его концентрации в пробах воды, взятых при погружении флуориметров.

Примером эффективности флуориметрии при изучении мезомасштабной изменчивости хлорофилла служат результаты 23-го рейса НИС "Витязь" в СЗ Атлантике, полученные с помощью зонда-флуориметра MZF (Karabashev and Khanaev, 1988) 18-го сентября 1991 на ст. 3587 (рис. 1). Он регистрировал интенсивность флуоресценции окрашенного растворенного органического вещества  $F_{\text{ОРОВ}}$ , температуру воды  $T^{\circ}\text{C}$ , глубину зонда  $z$  в толще от 0 до 250 м и концентрацию хлорофилла  $C_{\text{п}}$ , найденную по параллельным определениям этого пигмента в пробах воды. Погрешность оптических каналов зонда 5-10%. Разрешение канала температуры  $0.03^{\circ}\text{C}$  при  $0^{\circ}\text{C} < T < 33^{\circ}\text{C}$ . Разрешение канала глубины  $0.25$  м при  $0$  м  $< z < 250$  м.

Результаты серийных зондирований на ст. 3587 по 7 профилей в серии приведены на рис. 2. Здесь очевидны верхний однородный 20-метровый слой, обратная корреляция  $T^{\circ}\text{C}$  и  $F_{\text{ОРОВ}}$  в нижележащей толще и наличие максимума хлорофилла между однородным слоем и экстре-

мумами  $T^{\circ}C$  и  $F_{\text{ОРОВ}}$ . По всем признакам и данным гидрофизического отряда экспедиции, между горизонтами 35 и 60 м имела место интрузия холодных лабдорских вод, обычная для региона.

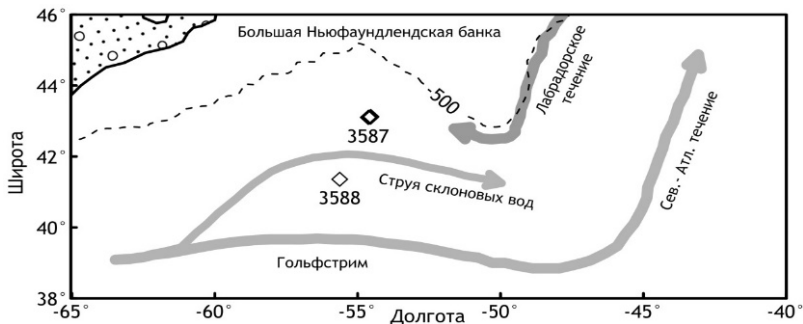


Рис. 1. Станции 23-го рейса НИС *Витязь* (сентябрь 1991 г.), где применялся зонд MZF. Контурные течений адаптированы с упрощением из (Pickart et al., 1999). Изобаты 0 м (сплошная) и 500 м построены по данным GEBCO Grid Demonstrator (<https://www.bodc.ac.uk/>)

Контрольное зондирование на месте сеанса (а) (рис. 2) в полдень того же дня выявило существенное уширение профиля  $C_f$  на фоне ослабленных экстремумов  $T^{\circ}C$  и  $FOPOB$  (рис.3, ст. 3587, 11:22). В 50 милях южнее в тот же день картина оказалась типичной для северной части Саргассова моря и, соответственно, без признаков интрузии (рис. 3, ст. 3588).

Предельно узкие максимумы хлорофилла обычны для океанических прибрежий, где они сопутствуют интрузиям прибрежных вод в океанскую толщу (Durham and Stoker, 2012). Максимумы хлорофилла принято называть тонкими, если они отвечают трем критериям: полуширина максимума не превышает 5м, она воспроизводится при многократном зондировании, а амплитуда максимума втрое превосходит фоновый уровень (там же).

Изложенные результаты, данные гидрофизического отряда, погодные условия во время наблюдений и тот факт, что наименьшая оценка  $T < 5^{\circ}C$  была получена в ядре интрузии в ходе последнего сеанса зондирования (рис. 2, (b)), приводят к заключению: 18-го сентября судно максимально сблизилось с источником интрузии.

Именно здесь максимумы концентрации хлорофилла приняли форму, отвечающую вышеназванным критериям "тонкости". Уменьшение полуширины профиля  $C_f$  от 15–20 м ((а) на рис. 2) до  $6.2 \pm 0.5$  м ((б) на

рис. 2) в течение 5 часов в темное время суток исключает объяснение глубины максимума хлорофилла скоплением фитопланктона на горизонте с оптимальным сочетанием солнечной энергии и притока биогенных элементов из подстилающей толщи.

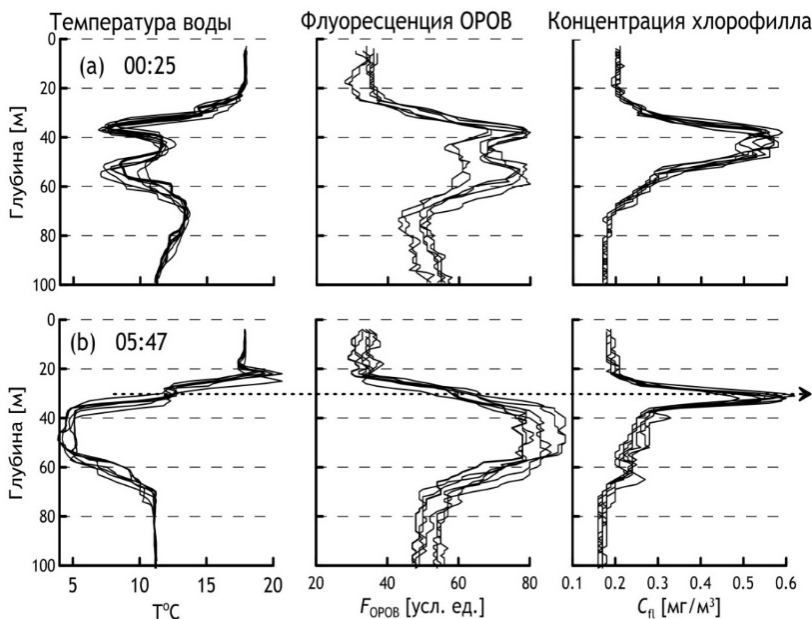


Рис. 2. Профили  $T^{\circ}C$ ,  $F_{CDOM}$  и  $C_{ll}$ , зарегистрированные зондом MZF на ст. 3587 18-го сентября 1991 г. в режиме многократного зондирования. (a) и (b) – профили первой и четвертой серий, начатых в 02:25 и 05:47, соответственно (местное время)

Durham and Stoker (2012) рассматривают шесть механизмов формирования тонких максимумов хлорофилла в прибрежьях океана. Среди них "турбулентная ловушка" наиболее адекватна свойствам максимума хлорофилла на рис. 2. Она возникает в жидкости с узким слоем сильной турбулентности, замедляющей оседание частиц взвеси. Стрелка на рис. 2 (b) показывает, что максимум хлорофилла залегал между интрузией и верхним слоем, где и вероятен максимальный сдвиг скорости течения. Механизм "турбулентной ловушки" универсален, а интрузии характерны для океанских фронтальных разделов. Тем не менее, влияние интрузии

зий на фитопланктон открытого океана пока что не изучено. Одна из причин в том, что фронтальные термохалинные интрузии сравнительно компактны, скоротечны и не поддаются визуальному и инструментальному обнаружению через границу вода-воздух. Работа на *Витязе* показала: STD-зонд с флуориметрическим модулем на хлорофилл и готовность к импровизации позволяют изучать непредсказуемую скрытную мезомасштабную изменчивость хлорофилла в океане.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОРАН (тема № 0149-2019-003).

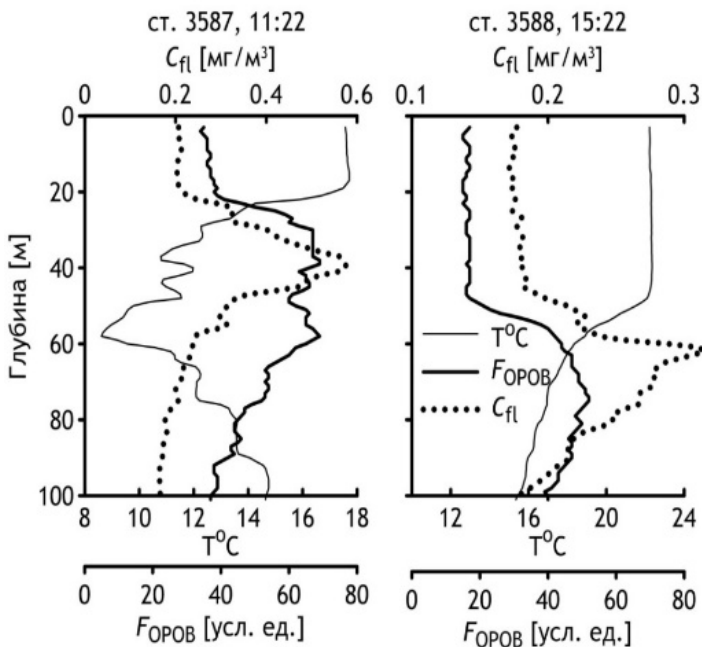


Рис. 3. Профили  $T^{\circ}\text{C}$ ,  $F_{\text{CDOM}}$  и  $C_{\text{cf}}$ , зарегистрированные зондом MZF 18-го сентября 1991 г. на ст. 3587 в 11:22 и ст. 3588 в 15:22. во время четвертого сеанса в 05:47 по местному времени

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Aiken, J.**, 2001. Fluorometry for biological sensing. In: Steele, J.H., Turekian, K.K., Thorpe, S.A. (Eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Acad.Press, London, PP. 1695–1945.

2. **Durham, W.M., Stoker, V.** 2012. Thin phytoplankton layers: characteristics, mechanisms, and consequences. Annual Review of Marine Science 4, PP. 177–207.

3. **Karabashev, G. S., Khanaev, S. A.** 1988. Underwater multichannel fluorimeter for marine ecological research. Journal of Applied Spectroscopy Volume 49, Issue 3, 979–981.

4. **Karabashev G.S.** 1966. Fluorimetric methods in studies and mastery of the ocean: a review. Oceanology. V. 36. No. 2. PP. 149–156.

5. **Pickart, R.S., McKee, T.K., Torres, D.J., Harrington, S.A.** 1999. Mean Structure and Interannual Variability of the Slope water System South of Newfoundland. J. Phys. Oceanogr., 29. PP. 2541–2558.

УДК 593.65

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ СБОРА КРИОФАУНЫ ПОД АРКТИЧЕСКИМ МОРСКИМ ЛЬДОМ

**Мельников И.А.**

*ФБГУ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36  
e-mail: migor39@yandex.ru*

В период дрейфа ледовой станции «Северный полюс» в апреле-июле 2015 г. был разработан и испытан альтернативный «водолазному» методу отбора проб криофауны *планктонным сачком* – метод отбора проб *планктонным тралом*. Сравнительное исследование полученных данных показало, что видовой состав в обоих случаях – идентичен, однако, численность и биомасса животных – значительно различаются: по численности экземпляров уловистость тралом преобладает над ловами сачком, а по биомассе лова сачком преобладают над тралом.

In the period of drift ice station "North pole" in April-July, 2015 was developed and tested alternative "diving" method of sampling by plankton net method and sampling by plankton trawl. A comparative study of the data showed that the species composition in both cases – identical, however, the number and biomass of animals – vary significantly: the number of specimens trawl catchment prevails over catches net.

Морская поверхность арктического ледового покрова представляет собой биотоп, с которым связано постоянное или временное пребывание разнообразной фауны, включая простейших, беспозвоночных и рыб (Мельников, Куликов, 1980). Для оценки видового состава, численности и биомассы животных, связанных с обитанием в этом биотопе, в гидро-биологической практике, традиционно, используется метод сбора фауны при нырянии водолаза под лед. Несомненно, пребывание водолаза подо льдом важно не только для проведения собственно самого лова, но также для визуальной оценки состояния поверхности льда, интенсивности и направленности подледного течения, оценки скоплений животных, их поведения и др. На практике, особенно часто при планировании гидробиологических исследований на дрейфующих арктических льдах, возникают трудности с организацией и проведением долгопериодных подледных водолазных наблюдений. Такая трудность возникла при организации работ на дрейфующей станции «Северный полюс–2015», дрейф которой должен был проходить в течение 5–6 месяцев. Учитывая важность в получении данных об этом важном компоненте водно-ледовой экосистемы, на начальном этапе дрейфа был испытан альтернативный «водолазному» методу отбора проб планктонным сачком (рис. 1) – метод горизонтального лова криофауны планктонным тралом. Целью настоящей работы является проведение сравнительного исследования эффективности ловов этими орудиями для оценки видового состава и численности особей животных, связанных с обитанием в контактном слое «вода–лед».

Для оценки эффективности ловов, на начальном этапе дрейфа СП-2015 было выполнено сравнение двух методов отбора проб: горизонтальные ловы планктонным сачком и планктонным тралом. Планктонный трал представлял собой прямоугольную жесткую металлическую раму со встроенной внутрь планктонной сеткой и прикрепленным сверху пенопластом для придания тралу положительной плавучести (рис. 2). Способ лова криофауны состоял в протягивании трала подо льдом так, чтобы облавливать тонкий, прилегающий ко льду водный слой.

В обоих случаях, и сачок, и трал имели одинаковые размеры входного отверстия 20×40 см и фильтрующих конусов из капроновой сети с размером ячеек 50 мкм. Направляющий конус из плотной ткани, размер фильтрующего входного отверстия 20×40 см, что соответствует размерам отверстия планктонного сачка, что, в свою очередь, соответствует одинаковому объему профильтрованной воды при равной протяженности облова подо льдом. Равные условия облова предполагает возможность для качественной и количественной оценки криофауны и сравнения этих методов сбора проб.





Рис. 1. Планктонный сачок (слева) и планктонный трал (справа), использовавшие при проведении сравнительного исследования для оценки состава криофауны в период работ ледовой дрейфующей станции «Северный полюс–2015»

Для этого, на ровном недеформированном ледовом поле с толщиной льда 140 см, где планировалось проведение гидробиологических наблюдений, была приготовлена лунка размером 100x100 см, накрытая палаткой и оформленная трапом для спуска водолаза под лед. Затем, на удалении 20 м от лунки был пробурена скважина, сквозь которую под лед был пропущен фал с металлическим кольцом так, чтобы кольцо не касалось поверхности льда. После замерзания воды в скважине мы имели жесткую, фиксированную конструкцию фала с кольцом, отстоящего на расстоянии 50 см от поверхности льда. Далее, с помощью водолаза, от лунки в сторону кольца был протянут фал, который пропустили через кольцо и вернули обратно к лунке. Таким образом, на поверхности (в лунке) мы имели два свободных конца: один, обращенный в сторону от лунки, прикрепляли к кутовой металлической части каркаса планктонного трала, а второй к входному отверстию трала. Выбирая «кутовый» фал, было возможно продвигать трал в сторону кольца, а выбирая «входной» фал, – возвращать в сторону лунки.



Рис. 2. Планктонный трал, использовавшийся для проведения горизонтальных ловов криофауны с нижней поверхности льда в период дрейфа станции «Северный полюс-2015» в центральном Арктическом бассейне с апреля по июль 2015 г.

Всего было выполнено 5 параллельных ловов планктонным тралом и планктонным сачком 14, 15, 16, 20 и 25 апреля, которые проводились под одним и тем же ледовым полем и равной протяженности ловов. Ловы планктонным тралом проводились в одном фиксированном направлении, а ловы водолазом планктонным сачком в параллельных направлениях на удалении 10–15 м от лова планктонным тралом. Разница во времени между ловами составляла около 2–3 часов; скорость движения трала и водолаза с сачком поддерживалась в пределах 20–30 см/сек; длину лова сачком фиксировали по длине выпускаемого из лунки страховочного конца водолаза. Все ловы сопровождалось съемками видеокамерами. Равные размеры входного отверстия планктонного сачка и планктонного трала соответствуют одинаковому объему профильтрованной воды при равной протяженности облова подо льдом, что предполагает возможность для сравнения этих методов для оценки видового разнообразия и численности животных под морским льдом. Более подробные стороны водолазных подледных наблюдений под арктическими дрейфующими льдами приводятся в работе (Мельников, 1982).

**Таблица.** Видовой состав и численность особой криофауны по данным горизонтальных ловов планктонным сачком (ПС) и планктонным тралом (ПТ) в период наблюдений на дрейфующей станции «Северный полюс» в апреле 2015 г. (пояснения в тексте)

Таксон	14.04.15		15.04.15		16.04.15		20.04.15		25.04.15	
	ПС	ПТ	ПС	ПТ	ПС	ПТ	ПС	ПТ	ПС	ПТ
<i>Pseudocalanus minutus</i>		2					1			
<i>Microcalanus pygmaeus</i>	2	14	2		1	3		2		11
<i>Oithona similis</i> juv.	49	2054	61	79	73	1480	143	131	65	125
<i>O. similis</i> ad.	7		17		68		112		30	
<i>Oncaea borealis</i>						1				
<i>Copepoda nauplii</i>		53	2	1	1	14	6	217		127
<i>Harpacticidae</i> sp.								1		
<i>Onisimus glacialis</i>	12	9	12	1	13	4		1	1	1
<i>Apherusa glacialis</i> juv.	3	229	35	58	128	267	5	26	17	12
<i>A. glacialis</i> ad.		1		1		6		3		1
<i>Eusirus holmi</i>	2		5				1	1	2	
<i>Clione limacina</i>		2	2	1						
<i>Polychaeta larvae</i>		1		1				1		
<i>Fritillaria borealis</i>		3		1						2
<i>Eukrohnia hamata</i>		3	2			3				
<i>Ova</i>		26		1	1	2			15	1
Всего	75	2397	138	144	285	1780	268	401	116	284

Сравнительное исследование полученных результатов обработки собранных материалов показало, что видовой состав в обоих случаях – идентичен, однако, численность и биомасса животных – значительно различаются (Таблица): по численности экземпляров в ловах сачком и тралом уловистость тралом преобладает над уловами сачком за счет численности особей мелкой копеподы *Oithona similis*, и особей *Apherusa glacialis*, в то время как по биомассе преобладают ловы сачком над тралом, за счет крупных амфипод, главным образом, *Eusirus holmi*. Видео фиксация выявила специфические особенности моментов лова: при ловах сачком, выдыхаемый воздух вызывает «взмучивание» воды у льда, «выдворяя» животных из микроструктур льда, в то время как трал «тупо» облавливают поверхностный ледовый слой воды. Эти особенности методов были учтены при дальнейших работах в мае-июле на СП–2015.

**Благодарность.** Конструкция металлического каркаса планктонного трала изготовлена в ОАО «Плутон» И.К. Немировым; водолазные погружения проведены сотрудником МЧС РФ Землемеровым А.А.; полевые сборы материалов в период дрейфа на СП-2015 сотрудником ГОИН Баклановым А.В., а зоологическая обработка собранных проб выполнена научным сотрудником ИО РАН Семеновой Т.Н. Всем перечисленным коллегам автор выражает свою искреннюю благодарность. Настоящая работа выполнена в рамках темы госзадания № 0149- 2018-0009, а также частичной поддержке грантами РФФИ 18-05-00099 и РФФИ/РГО 17-05-41197.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Мельников И.А.** Подледные гидробиологические наблюдения в Центральной Арктике. / Сб. работ Института биологии моря ДВНЦ АН СССР, 1982. 25. С. 68–73.
2. **Мельников И.А., Куликов А.С.** Криопелагическая фауна Центрального Арктического бассейна. – В: Виноградов М.Е., Мельников И.А. (Ред) Биология Центрального Арктического бассейна – М.: Наука, 1980. С. 97–111.

**ДОННАЯ ФАУНА СКЛОНА БЕРИНГОВА МОРЯ:  
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ С  
ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫМ АППАРАТОМ «КОМАНЧ»**

**Галкин С.В., Рыбакова Е.И., Виноградов Г.М.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва  
galkin@ocean.ru, egor@ocean.ru*

В июне 2016 года в 75 рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» с использованием телеуправляемого аппарата (ТПА) «Команч 18» были исследованы ландшафтно-экологическая обстановка и распределение макро- и мегабентоса на северном склоне массива Вулканологов и вулкана Пийпа (юго-западная часть Берингова моря). В диапазоне глубин от 4278 до 349 м было выполнено семь погружений, во время которых проводилась видео- и фотофиксация визуальных наблюдений и отбор образцов.

During the 75th cruise of RV “Akademik M.A.Lavrentyev” (June 2016) landscape-ecological environment and mega and macro benthos on the Vulkanologov Massif and the Piip Volcano (southwestern Bering Sea) have been explored using ROV “Comanche 18”. In total, 7 dives were performed in the depth range from 4278 up to 349 m. Visual observations were accompanied by photographic and video recording and samples collecting.

В ходе 75-го рейса НИС «Академик М. А. Лаврентьев» с использованием телеуправляемого аппарата (ТПА) «Команч 18» в июне 2016 г. были исследованы ландшафтно-экологическая обстановка и распределение макро- и мегабентоса на северном склоне массива Вулканологов, увенчанном подводным вулканом Пийпа (юго-западная часть Берингова моря). В диапазоне глубин от 4278 до 349 метров было выполнено семь погружений по этой программе. Из технических соображений маршруты погружений были направлены вверх по склону. Общая продолжительность визуальных наблюдений составила 40 часов 16 минут. Для оценки размеров объектов и площади исследуемого дна использовалась лазерная шкала размером 10 см. Наблюдения сопровождалась фотогра-

фированием и видеозаписью. В общей сложности было получено и проанализировано 1372 фотографии и 22 часа 29 мин видеозаписи. Количественный учёт фауны велся на видеорезрах при движении аппарата с постоянной скоростью 0,5 узла. Во время каждого погружения образцы донной фауны собирались с помощью механического манипулятора ТПА. Собранные и сфотографированные животные были определены ведущими таксономистами до возможно низкого таксономического уровня. Всего было отмечено более 150 видов макро- и мегафауны. Были рассчитаны относительное обилие доминирующих (= ландшафтно-определяющих) таксонов для различных глубинных диапазонов. В результате были выявлены общие закономерности вертикального распределения донных сообществ.



Рис. 1. Осмотр скопления макрофауны во время погружения ТПА «Команч 18»

На максимальной исследованной глубине в абиссальном сообществе доминируют голотурии, из которых наиболее многочисленна *Kolga kamchatica*. Начиная с глубины 3600 м численно преобладают голотурии *Scotoplanes kurilensis*. На глубинах 3000–2800 м наблюдались плотные поселения офиур (до нескольких десятков экз/м<sup>2</sup>). Начиная с глубины 2650 м в сообществе преобладают голотурии *Pelopotides solea*

(сем. Synallactidae) и красные бентопелагические медузы (Trachymedusae) семейства Rhopalonematidae. В диапазоне глубин 2290–1830 м наблюдалось массовое развитие кишечнодышащих Enteropneusta семейства Torquaratoridae (до 10 особей на м<sup>2</sup>). Выше 1700 м основу ландшафта составляют скопления стеклянных губок *Faггеа* осса, образующих своеобразные рифы. Живые и мёртвые губки населены разнообразной фауной. Начиная с глубины 700 м в сообществе преобладают мягкие кораллы (*Alcyonaria* и *Corallimorpharia*). Область вершины вулкана Пийпа (390–349 м) занимают плотные поселения зоантарий *Eрizoanthus* sp. В целом, картина распределения фаунистических группировок в верхней части склона вполне соответствует зональности, наблюдавшейся в ходе погружений глубоководных обитаемых аппаратов «Мир» в 1990 г. [1], что свидетельствует об относительной временной стабильности здешнего сообщества.

Кроме массовых форм с ТПА удалось наблюдать представителей редких животных, в том числе тех, которые крайне плохо улавливаются традиционными заборными орудиями лова – например, бентосных сифонофор семейства *Rhodaliidae*, очевидно, неизвестного вида [2].

Работа выполнена в рамках Госзадания (тема № 0149-20180009) и частично поддержана грантом РФФИ 18-05-60228.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сагалеви́ч А. М. Гидротермальные проявления подводного вулкана Пийпа (Берингово море) / А. М. Сагалеви́ч, П. В. Торохов, В. В. Матвеенков, С. В. Галкин, Л. И. Москалёв // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1992. – № 9. – С. 104–114.
2. Санамян К. Э. Находка глубоководной донной сифонофоры (Siphonophorae: Physonectae: Rhodaliidae) в районе подводного вулкана Пийпа (северо-западная часть Тихого океана) / К. Э. Санамян, Н. П. Санамян, С. В. Галкин, В. В. Ивин // *Invertebrate Zoology* – 2018. – Т. 15 – Вып. 4 – С. 323–332.

## **СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОДСЧЁТА МЕЗО- И МАКРОЗООПЛАНКТОНА В СТОЛБЕ ВОДЫ ПРИ ПОГРУЖЕНИЯХ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО И ОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ**

**Виноградов Г.М.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва  
egor@ocean.ru*

В июне 2016 года в 75 рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» была предпринята попытка подсчёта макропланктона в столбе воды при спуске ТПА «Команч 18» по получаемому с его видеокамеры изображению. Проводится сравнение полученных результатов с прежним опытом прямых визуальных наблюдений планктона из обитаемых глубоководных аппаратов "Мир".

During the 75th cruise of RV "Akademik M.A.Lavrentyev" (June 2016), an attempt was made to count a macroplankton animals in the water column during the descent of the ROV "Comanche 18" by the images obtained from her video camera. Results of this attempt are compared with previous experience of direct visual observations of plankton from the manned submersibles "Mir".

Прямые визуальные наблюдения за вертикальным распределением планктона из подводных аппаратов, показали свою высокую эффективность. Они позволяют выявить тонкую структуру вертикального распределения планктона, в том числе отдельные слои повышенной концентрации, неизбежно теряющиеся в относительно протяженных сетных ловах. Вертикальное разрешение при визуальных наблюдениях в океане практически не ограничено и не идет ни в какое сравнение с тем, что характерно для заборных орудий лова. На практике просчитываются животные в слоях разной толщины, обычно – в слоях толщиной в первые десятки метров.

Визуальные наблюдения позволяют гораздо лучше выявить роль в планктоне нежных желетелых животных, большая часть которых разрушается в сетях. Невозможность видового определения многих видов



желетелых при наблюдениях из аппаратов с лихвой компенсируется точностью определения их концентраций на разных глубинах.

В 75 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в юго-западную часть Берингова моря (июль 2016 г.) была проведена оценка возможности визуального исследования распределения крупных планктеров в столбе воды при спусках телеуправляемого подводного аппарата (ТПА) «Команч 18» на основе методики, разработанной ранее для проведения аналогичных подсчётов при погружениях глубоководных обитаемых аппаратов (ГОА) «Мир» [1, 2].

В основе изучения планктона в погружениях ГОА лежит подсчёт планктонных животных, проходящих при движении аппарата через реперную рамку определенной площади или через реперный куб. Рамка выносится манипулятором ГОА в поле зрения наблюдателя. При дневных спусках подсчёт начинается с глубины ~200 м, где уже темно и даже мезопланктонные животные хорошо видны в свете прожекторов ГОА, подобно тому, как плавающие в воздухе пылинки видны в луче света в тёмной комнате.

При работе с гораздо более разреженным макропланктоном возможно использование "большой рамки" площадью 3 м<sup>2</sup>, образуемой вытянутыми вперёд манипуляторами ГОА с закатым в них фалом. Счёт планктона с любым типом счётных рамок обычно вёлся при погружении аппарата, так как при подъёме "сваливающаяся" с корпуса аппарата вода возмущает пространство перед иллюминатором.

Определения животных, их численность и размеры записывались на диктофон во время спуска аппарата. Одновременно на тот же диктофон надиктовывалась глубина нахождения аппарата. На борту судна данные расшифровывались, в каждом слое воды определялась численность животных разных групп, а при необходимости, исходя из просмотренного объема воды и размеров животных, оценивалась и их биомасса.

Представлялось, что эта методика легко может быть приложима к спускам ТПА, с поправкой на то, что непосредственное наблюдение заменяет картинка, поступающая от видеокамеры высокого разрешения. Попытки такого подсчёта были предприняты в трёх погружениях ТПА, проводившихся над большими глубинами. Планктон был просчитан в слоях 260–950, 200–4190 и 200–2470 м соответственно, с послынным разрешением 10 м. При наблюдениях были выявлены некоторые сложности, главная из которых заключается в том, что глубина резкости видеокамеры значительно уступает глубине резкости человеческого взгляда, что делает невозможным одновременную уверенную идентификацию планктеров на различном расстоянии от аппарата. При этом

определять удаётся только наиболее характерных животных вроде щетинкочелюстных. Планктеры мезопланктонного размера выглядят на экране монитора неидентифицируемыми белыми точками, что делает бессмысленными попытки их подсчёта.

Кроме того, особенности конструкции ТПА «Команч» не дают возможность использовать его манипуляторы для создания «большой рамки». В итоге пришлось оценивать животных «в поле зрения», что, конечно, снижает точность подсчётов, но сохраняет возможность оценить относительное изменение численности тех планктеров, которых удаётся идентифицировать на телеэкране, по глубине. В принципе проблема уточнения границ поля подсчёта планктеров может быть решена путём закрепления на корпусе ТПА невозвращаемой жёсткой проволочной рамки, горизонтально расположенной в поле зрения видеокамеры, которую аппарат сбрасывал бы, приступая к работам у дна.



Рис. 1. Гидромедуза и сифонофора в столбе воды, изображения переданы видеокамерой ТПА «Команч 18». Фото с монитора наблюдателя

Второй проблемой оказывается необходимость совершать во время спуска маневры, связанные со взаимными перемещениями ТПА, судна и

депрессора, что неизбежно нарушает строгую вертикальность погружения и приводит к появлению участков с косым и даже горизонтальным ходом ТПА, что вносит искажения в картину вертикального распределения планктеров, так как в итоге на различных глубинах в 10-метровом слое может просматриваться разный объём воды. Кроме того, иногда телекамера бывает вынужденно задействована для технических нужд спуска, что так же сбивает подсчёт планктона.

В целом наш опыт показывает, что визуальный подсчёт планктеров при погружениях ТПА в принципе возможен, хотя и имеет ряд ограничений по сравнению с аналогичными подсчётами из ГОА. Он может быть весьма полезен, будучи проведённым параллельно со сбором проб планктона заборными орудиями лова, позволяя выявить тонкости вертикального распределения некоторых групп планктеров. Но (как и в случае наблюдений из ГОА) самого по себе его явно не достаточно для описания планктона района исследований.

Работа выполнена в рамках Госзадания (тема № 0149-20180009) и частично поддержана грантом РФФИ 18-05-60228.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Виноградов М. Е.** Исследования планктона столба воды и придонного слоя: методические аспекты и материал / М. Е. Виноградов, А. Л. Верещака, Г. М. Виноградов. // Экосистемы атлантических гидротерм. – М.: Наука, 2006. – С. 205–217.
2. **Виноградов Г. М.** Планктон в столбе воды над гидротермальными полями Срединно-Атлантического хребта // Экосистемы атлантических гидротерм. – М.: Наука, 2006. – С. 218–274.

## **ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО СКЛОНА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БНПА «ВИДЕОМОДУЛЬ»**

**Веденин А.А., Галкин С.В.**

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

В статье представлены предварительные результаты исследования донной макрофауны с использованием буксируемого подводного аппарата «Видеомодуль», проведенные в ходе 72 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в области континентального склона моря Лаптевых. Показана возможность количественного учета фауны и возможность определения наиболее массовых видов по видеоряду. Требуется дополнение станций с видеотрансектами траловыми сборами.

This study presents preliminary results of macrobenthos research using the ROV “Videomodul”. Investigation was performed during the 72-nd expedition of R/V “Akademik Mstislav Keldysh” in the area of continental slope in Laptev Sea. The possibility of reliable quantitative record of benthic macrofauna has been demonstrated. However, additional trawl samples are required at every “Videomodul” station.

Море Лаптевых представляет собой одно из наиболее труднодоступных морей России. Тем не менее, биологические исследования моря ведутся с перерывами уже более 120 лет. В результате наиболее интенсивных исследований, проведенных в 90-е годы, список видов донной фауны моря Лаптевых согласно сводке Б.И. Сиренко достиг 1793 видов [3]. Однако нельзя сказать, что состав фауны моря Лаптевых достаточно изучен. Кроме того, недостаточно исследовано распределение донных сообществ в мезо- и макромасштабе, в особенности, на глубинах континентального склона.

В ходе 72 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе-сентябре 2018 г. было обследован район нижней части шельфа и континентального склона на севере и северо-западе м. Лаптевых. Целью настоящей работы было выяснить возможности использования буксируе-

мой подводной видеоплатформы «Видеомодуль» для исследования донной макрофауны на больших глубинах моря Лаптевых.

В ходе рейса было взято девять траловых станций в диапазоне глубин 64–1993 м, продублированных опусканием «Видеомодуля». Использовалась камера высокого разрешения с передачей видеоизображения и информации по глубине. Для более подробного технического описания см. [1].

Полный список станций с использованием «Видеомодуля» представлен в табл. 1.

Таблица 1. Список станций

Станция	Район	Дата	Широта сев.	Долгота вост.	Диапазон глубин (м)	Длина трека
5947	Сип С15	25.08	76°46.847	125°50.582	73 – 72	1230
5949	Склон, 500 м	26.08	77°05.751	125°51.497	520 – 499	970
5950	Склон, 1000 м	27.08	77°14.938	125°48.374	1056 – 1081	550
5953	Сип ODEN	27.08	76°53.117	127°48.122	64 – 67	2640
5954	Склон, 1500 м	28.08	77°24.539	125°47.446	1550 – 1564	1040
5963	Склон, 1500 м	01.09	78°10.449	116°40.051	1484 – 1461	1394
5965	Склон, 2000 м	02.09	78°26.839	117°06.195	1994 – 1993	720
5967	Каньон Вилькицкого	03.09	78°18.554	113°53.905	417 – 423	740
5969	Каньон Вилькицкого	03.09	77°49.883	110°13.296	276 – 275	250

Более 90% таксонов, обнаруженных на видеозаписях, удалось определить при помощи первичного изучения видового состава траловых проб. В общем и целом, данные по таксономическому составу, полученные в ходе использования как тралов, так и «Видеомодуля», совпадают.

Данные «Видеомодуля» показывают, что существует тенденция в последовательной смене донных сообществ по мере увеличения глубины. На шельфовых станциях доминируют офиуры *Ophiocten sericeum*. Глубже, начиная с  $>100$  м, роль доминанта переходит к другому виду – *Ophiopleura borealis*. Далее, начиная с глубин  $\approx 500$ –800 м наряду с *O. borealis* важную роль начинают играть полихеты (в первую очередь, *Melinnopsis arctica* и виды семейства Oweniidae). На глубинах 1500–2000 м в число доминирующих таксонов включаются зоантарии *Isozoanthus bulbosus* и *Epizoanthus erdmanni*. Кроме того, судя по данным видеотрансект, важную роль играют бокоплавы *Neohela monstrosa*, выступая в качестве своеобразного эдификатора, формирующего многочисленные

воронки и норы на поверхности осадка [2], привлекающие другие виды макрофауны, в частности, многочисленных изподод из семейства Munporpsidae. Данные по вертикальному распределению и количеству видов на станциях, полученные в ходе изучения видеозаписей и траловых данных, представлены на рис. 1 (включая ряд станций, исследованных в ходе предыдущих рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш»).

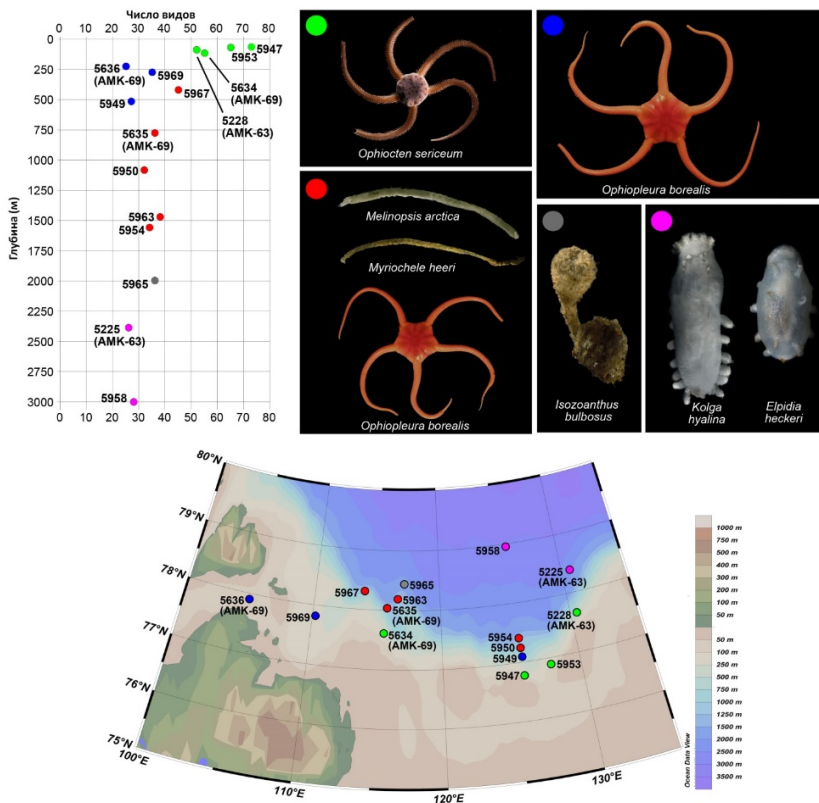


Рис. 1. Распределение основных доминантов на станциях, сделанных в ходе 63, 69 и 72 рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш» на склоне моря Лаптевых.

Показано распределение станций по глубине (вверху слева, по оси абсцисс число видов) и на карте (внизу). Соответствующим цветом показаны доминирующие на станциях виды. Данные по станциям 5225, 5228, 5634, 5635, 5636 и 5958 получены без использования БНПА «Видеомодуль»

Таким образом, БНПА «Видеомодуль» пригоден для выявления основных фаунистических группировок и для определения большей части видов донной макрофауны в исследованном диапазоне глубин континентального склона.

Работа выполнена в рамках госзадания (тема № 0149-20180009) и при поддержке грантов РФФИ № 17-05-00787 и 18-05-60228.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Флинт М.В.** Экосистемы морей Сибирской Арктики. Материалы экспедиционных исследований в 2015 и 2017 г. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН – М., 2018. 232 с.

2. **Buhl-Mortensen L.**, Tandberg, A.H.S., Buhl-Mortensen, P., Gates, A.R. Behaviour and habitat of *Neohela monstrosa* (Boeck, 1861) (Amphipoda: Corophiida) in Norwegian Sea deep water // Journal of natural history. – 2016. – Т. 50. – №. 5-6. – С. 323-337.

3. **Sirenko B.I.**, Denisenko S.G., Deubel H., Rachor E. Deep water communities of the Laptev Sea and adjacent parts of the Arctic Ocean // Explorations of the Fauna of the Seas. 2004. Vol. 54. № 62. P. 28–73.

УДК 57.087.3

### **ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПОДВОДНОЙ ВИДЕОСЪЕМКИ ДЛЯ ЭТОЛОГО-АКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛУХ СОЛОВЕЦКОГО СКОПЛЕНИЯ**

**Беликов Р.А., Анисимов И.М., Белевитнев Я.И., Кузьмин В.Ю.,  
Марин В.М., Таганова М.М., 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*

Рассмотрены методические особенности использования разных типов подводных видеосистем для изучения белух в Соловецком репродуктивном скоплении. Описан первый опыт использования панорамной аудио-видео Full HD системы для видеозаписи белух.

The methodical features of the use of various types of underwater video systems for the study of belugas in the Solovetsky reproductive

gathering are considered. The first experience of using a 180° Full HD audio-video device for video recording of belugas is described.

Беломорские белухи соловецкого репродуктивного скопления более 20 лет являются объектом комплексных биологических исследований; при этом изучение их поведения и акустической активности традиционно является одним из основных направлений работ.

В настоящее время ведется детальный анализ взаимосвязи вокализаций и поведения белух, проводятся работы по локализации акустических сигналов животных с помощью массивов стационарных гидрофонов с большой (десятки и сотни метров) апертурой. Отработана и внедрена в повседневную практику методика синхронной многоканальной акустической записи, синхронизированной с надводной видеозаписью с наблюдательной вышки и БПЛА (кайта, геликайта или мультикоптера).

Регулярное посещение скопления и длительное нахождение соловецких белух на одних и тех участках позволяет эффективно использовать различные методы подводного видеонаблюдения и видеосъемки животных посредством стационарных технических средств. Применение даже одной видеокамеры, стационарно установленной на дне, может быть весьма информативным в плане сбора эксклюзивной информации, которую было бы крайне сложно (или вообще невозможно) получить посредством надводной видеосъемки, включая даже ее современные виды с различных беспилотных летательных аппаратов.

Однако неподвижно установленная камера позволяет лишь производить видеосъемку белух, которые попадали в поле зрения объектива и не дает возможности динамично отслеживать их перемещение. Для обеспечения возможности широкого панорамирования (360° по горизонтали и 180° и более по вертикали), а также динамического отслеживания перемещений объекта, использовалась система, состоящая из жесткой платформы, на которой были установлены два электродвигателя и камера наблюдения. Посредством электродвигателей камера могла поворачиваться в горизонтальной и вертикальной плоскости [1]. Использование двух подобных конструкций позволяло охватить наблюдениями большой участок акватории, где находились белухи, а также, регистрировать реакцию животных на бокс с камерой «со стороны».

Использование для видеосъемки всего одной камеры, даже оснащенной поворотным механизмом панорамирования, не дает возможности одновременно фиксировать всю картину происходящего вокруг видеосистемы. Кроме того шум работы двигателей и движение камеры могут оказывать на животных нежелательное (пугающее) воздействие.



Альтернативным решением задачи увеличения угла обзора может стать так называемое панорамное (объемное, сферическое, иммерсивное) видео, получившее за последние два десятилетия большое развитие и недавно начавшее применяться в исследованиях китообразных [2].

Наиболее прогрессивное устройство для записи панорамного видео представляет собой систему видеокamer, одновременно получающих видеоизображение с различных направлений таким образом, что в сумме угол обзора составляет полную сферу (либо некоторый сегмент сферы, больший, чем полусфера). Полученные изображения сшиваются в единую видеозапись с помощью специализированного программного обеспечения. Воспроизведение такой видеозаписи может осуществляться с использованием специальных интерфейсов, позволяющих менять направление и угол обзора по желанию зрителя. Таким образом, при воспроизведении, зритель получает возможность наблюдать за происходящим под любым углом зрения.

Поскольку угол обзора системы записи панорамного видео может охватывать полную сферу, видеоизображения такого формата представляют интерес для областей науки, требующих присутствия наблюдателя в среде, нахождение в которой нежелательно, затруднено, либо опасно для человека, но есть необходимость получить максимальный визуальный охват. К таким средам можно отнести космическое пространство, подводное пространство, места обитания диких животных. Показала свою эффективность установка систем панорамного видеонаблюдения на телеуправляемые и автономные аппараты, использующиеся для решения различных задач в космических и подводных исследованиях [3]. В случае наблюдения за морскими млекопитающими использование телеуправляемых и автономных аппаратов может быть неэффективно, т.к. большинство из них создает существенный шум и турбулентный поток вследствие работы двигателей, что может оказывать негативное, отпугивающее воздействие на морских млекопитающих. В подобных случаях для осуществления визуального наблюдения более целесообразно использовать донные или притопленные станции с установленными системами видеонаблюдения.

В Институте океанологии РАН была разработана подводная система, производящая автономную панорамную видеосъемку (Full HD). Система состоит из шести цифровых видеокamer Xiaomi Yi, суммарный телесный угол обзора которых составляет  $250^\circ$  на  $180^\circ$ . Каждая камера заключена в герметичный корпус, рассчитанный на глубину погружения до 40 м. Видеокamеры крепятся на ложемент, представляющий собой пенопласт высокого давления с положительной плавучестью с тех-

нологическими углублениями для размещения видеокамер. Система обладает положительной плавучестью, что позволяет осуществлять постановку на любом требуемом горизонте с использованием мягкого фала, что значительно удобнее использования жесткого длинного крепления. Внизу к ложементу крепится якорь. Вверху расположен фал, конец которого закреплен на плавучем буре, что позволяет быстро обнаружить и поднять на поверхность установленную систему.

Система панорамной видеосъемки прошла испытание в ходе экспедиции 2017 года на Белом море, где был осуществлен ряд пробных постановок в местах обитания белух. Полученные данные показали, что животные не боялись установленной системы, а, напротив, активно ее обследовали: подплывали вплотную, рассматривали конструкцию, облучали эхолокационными импульсами, касались рострумом и другими частями тела. Дальность видимости видеосистемы в данной акватории составила, по оценкам, порядка 5–7 м. Постановки осуществлялись днем, при естественном освещении, на глубине 4–5 м.

Полученные видеоизображения сшиты в сферическое изображение с помощью программного обеспечения Kolog Autopano Video. Сшитое изображение обладает рядом недостатков, таких как дисторсия и «слепые зоны», на стыке отдельных сегментов. Возможным решением этой проблемы является установка дополнительных камер, либо использование сферических иллюминаторов, которые не искажают угол обзора видеокамер под водой.

В целом система панорамной видеосъемки, несмотря на ряд недостатков, показала свою высокую надежность и эффективность. Использование данной технологии имеет, помимо чисто научного, важное прикладное значение. Обнаружено, что просмотр результатов панорамной видеосъемки вызывает эффект глубокого «погружения» в среду изучаемого объекта, виртуального в ней присутствия. Подобный эффект является важным фактором усиления воздействия на зрителей при демонстрации собранного аудиовизуального материала в процессе преподавательской и научно-просветительской деятельности.

Работа выполнена в рамках гос. задания ИО РАН (№ 0149-2018-0008 и №0149-2019-0011) при поддержке РФФИ (проект №17-05-41041 «РГО-а», и проект №18-05-60070 «Арктика»), при финансовой поддержке IFAW (Международного фонда защиты животных).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов В.С., Белькович В.М., Чернецкий А.Д. 2001. Подводная видеокамера с дистанционно управляемым панорамированием в

двух плоскостях. // VII Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований». Тез. докл. Москва. С. 12–13.

2. **Lopez-Marulanda J., Adam O., Blanchard T., Vallée M., Cazau D., Delfour F.** First Results of an Underwater 360° HD Audio-Video Device for Etho-Acoustical Studies on Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) // Aquatic Mammals 2017, 43(2), 162-176, DOI 10.1578/AM.43.2.2017.162.

3. **Meng L., Hirayama T., Oyanagi S.** The Development of Underwater-Drone equipped with 360-degree Panorama Camera in Opensource Hardware // Procedia Computer Science. – 2018. – Т. 129. – P. 438–442.

УДК 591.524.11

## О МЕТОДАХ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ ВИДЕОЗАПИСЕЙ ДЛЯ УЧЕТА МАКРОБЕНТОСА

**Мокневский В.О.**

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

В сообщении обсуждаются подходы к обработке подводных видео наблюдений для получения количественных данных о распределении макро- и мегабентоса. Обработка видеозаписей допускает как применение традиционных количественных методов, так и методов, предназначенных для анализа непрерывных рядов.

Approaches to quantitative analysis of underwater video are discussed. Processing video records allows for the use of traditional quantitative methods, as well as methods designed for the analysis of continuous series.

Быстрое накопление массивов видеoinформации в широком диапазоне глубин из различных районов морей требует систематизации алгоритмов и методов количественной обработки данных, полученных этим способом. Традиционно применяемые в гидробиологии методы разработаны для количественного анализа случайных выборок. На протяжении многих лет основу данных составляли траловые или дночерпательные пробы, для анализа которых использовались параметрические, а позже – непараметрические методы работы с выборками.

Появление различных систем видеозаписи позволяет переходить от выборочных методов к анализу непрерывных трансект. В арсенале современной статистики находится большой набор методов анализа временных рядов, вполне применимый к изучению распределения бентоса на непрерывных видеозаписях.

Применение этих методов налагает определенные требования к используемым видеозаписям. Наиболее просты для анализа результаты, полученные с камер, фокальная плоскость которых ориентирована параллельно дну, а скорость движения и высота над грунтом постоянны. Все кадры должны быть масштабированы (обычно – с помощью лазерных указателей с заданным расстоянием между точками). Далеко не всегда условия съемки и тип аппарата позволяют строго выдержать эти условия.

Для анализа видеозаписей, не выдержанных в виде непрерывной равномерной съемки, возможно применение методов относительного учета численности. Вся съемка, за вычетом неинформативных отрезков (мутные или несфокусированные кадры, остановки камеры и пр.), делится на равные по времени промежутки (10-30 секунд, в зависимости от скорости движения), для которых приводятся суммарные количества учтенных организмов. Нормированные на единицу времени показатели относительного обилия аналогичны измерению обилия мелких млекопитающих в ловушко-сутках или насекомых при кошении сачком. Полученные таким образом результаты могут трансформироваться в баллы обилия или в условные единицы количества особей на время записи. Такие данные поддаются корректному анализу в пределах одной съемки, но хуже применимы для сравнения записей, выполненных в разных условиях. В пределах съемки или сходных по условиям нескольких съемок, такие данные могут быть использованы для выявления пространственного распределения видов, сопряженности нескольких видов и биотопической приуроченности видов и их группировок.

Видеозаписи, выполненные как непрерывные трансекты масштабированных кадров, открывают более широкие возможности для дальнейшего анализа. Эти данные могут быть интерпретированы как наборы площадок заданной площади, к которым применимы все разработанные методы выборочных исследований – покадровый анализ. Получаемая информация прямо интерпретируется в стандартных единицах – число особей на площадь и допускает прямое сопоставление с другими типами данных. Результатом такого анализа становятся количественные оценки плотности популяций отдельных видов. Дополнительные возможности для анализа открываются при использовании последовательной серии кадров на непрерывной трансекте. К этим данным применим

большой арсенал методов, разработанный для анализа временных рядов. Эти методы входят в стандартные пакеты программ для статистического анализа. В применении к данным видеосъемок бентоса они могут быть использованы для выявления линейных тендов обилия, выявление площади пространственных агрегаций видов, анализа сопряженности видов. При достаточной длине трансект возможно выявление пространственных структур в нескольких масштабах.

Видеонаблюдения как метод количественного анализа бентоса имеют несколько специфических источников ошибок, характерных для этого метода. Первый и очевидный – применимость метода только для он-фауны, организмов, обитающих на поверхности осадка. Наибольшую трудность при этом составляет учет организмов, способных периодически уходить под поверхность осадка. Для таких видов сопоставление данных видеочетов с дночерпательными сборами всегда будет давать непредсказуемую ошибку. Второй источник ошибок количественного учета – изменение масштаба кадра. При отдалении камеры от дна разрешающая способность падает, наиболее мелкие из учитываемых организмов выпадают из учета. Плавное движение камеры вверх-вниз при съемке может приводить к ошибочному выявлению агрегаций таких видов, являющихся артефактом условий съемки. Третий источник ошибок – неточность определения видов. По условиям видеосъемки позволяет проводить учет только для хорошо изученной фауны. Точная идентификация видов по изображениям зачастую невозможна. Для снижения вклада этой неопределенности в результаты видеочетов целесообразно сопровождать видеосъемку традиционными методами анализа фауны, в первую очередь, с использованием донных тралов, дающих наиболее сопоставимую с видео информацию по составу и структуре уловов. Составление банков данных идентифицируемых фотографий существенно повышает точность обработки видеозаписей в районах постоянных исследований.

Цель данного сообщения – привлечь внимание к необходимости стандартизации данных видеонаблюдений, полученных с использованием разных технических средств, и формирования оптимального набора методов их количественной обработки, обеспечивающих сопоставимость результатов разных экспедиций и исследователей.

Сообщение подготовлено в рамках выполнения проекта РФФИ № 18-05-60053.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОЩАДИ И ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАНГРОВЫХ ЛЕСОВ НА ЮГЕ ВЬЕТНАМА ПО ДАННЫМ СЪЕМОК ЛАНДСАТ ЗА 30 ЛЕТ**

**Тон Шон<sup>1</sup>, Добрынин Д.В.<sup>2</sup>, Мокиевский В.О.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Университет ДонгХап, Вьетнам, МФТИ ФАКИ.*

<sup>2</sup>*Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова*

<sup>3</sup>*Институт океанологии им П.П. Шишова РАН  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,  
vadim@ocean.ru*

В докладе представлены результаты сравнительного анализа спутниковых снимков Ландсат для полуострова Ка Мау (Вьетнам) с интервалом в 30 лет: в 1989 и 2018 гг. Показаны значительные изменения в распределении мангров по побережью, выявлено как исчезновение мангровых лесов на большой площади, так и появление новых мангровых зарослей. Суммарная площадь мангровых лесов сократилась на 20%, сильно увеличилась фрагментация лесных массивов.

Paper presents main results of comparative analysis of Landsat images obtained in 1989 and 2018 for mangrove forests of CaMau peninsula in Vietnam. Prominent changes occur in mangrove spatial distribution and patchiness. Total area covered by mangroves had reduced by 20%, which results from two processes: reforestation and rehabilitation of mangroves along the coast. Fragmentation of mangroves tend to increase significantly.

Мангровые леса в провинции Ка Мау – один из наиболее крупных сохранившихся массивов мангровых лесов во Вьетнаме. Они составляют более 70% всех мангров дельты Меконга. На протяжении XX века происходило сокращение площади мангровой растительности, а в последние десятилетия начались интенсивные работы по их восстановлению [1]. В результате, современное распределение мангров является отражением нескольких разнонаправленных процессов: продолжающейся вырубке мангров под аквакультуру и другие цели, естественной деградации мангров при эрозии берега, искусственных посадок мангров и естественного возобновления и появления мангровой растительности.

Для оценки баланса скоростей исчезновения и возобновления мангровых зарослей были использованы снимки находящейся в открытом доступе базы Ландсат (Landsat 4 TM за 31.01.1989 и Landsat 8 за 12.03.2018). Были выбраны снимки с минимальной облачностью – 0 и 7% соответственно. Пространственное разрешение – 30 м на пиксель. Для выявления мангровой растительности использованы данные инфракрасного диапазона (5-й и 7 каналы), к ним была добавлена информация в зеленой зоне спектра. Эта комбинация спектральных диапазонов позволила провести классификацию поверхности полуострова по нескольким категориям: 1) мангровая растительность (лесопокрытая площадь >10% включая древесную и кустарниковую растительность); 2) сельскохозяйственные земли (рисовые чеки, поля для выращивания овощей, многолетних культур и т. д.); 3) водная поверхность (реки, пруды, озера, болота и морская вода в прибрежной зоне); 4) аквакультура; 5) другие земли (населенные пункты, дороги, пустоши).

Сравнение результатов раздельного анализа снимков за 1989 и 2018 гг. показало, что суммарная площадь мангров на полуострове Ка Мау (в пределах одноименной административной провинции) сократилась за 30 лет с 23 тыс. га до 18,5 тыс. га. При этом существенно увеличилась фрагментация лесных массивов. В начале 1989 года более половины всех мангровых лесов было представлено единым массивом, площадью около 14 тыс. га, а на долю фрагментарной растительности (от 1 до 100 га) приходилось около 4%. В 2018 году площадь самых крупных участков мангров не превышала 10 тыс. га, а доля небольших фрагментов мангровой растительности увеличилась до 34% от суммарной на этот год. Особенно сильно в суммарном покрытии возросла доля самых маленьких из выявляемых фрагментов – от 1 до 10 га, их общая площадь увеличилась с 230 до 2049 га, с 1 до 11%.

Сопоставление результатов классификации растительности за разные годы позволило выявить более сложный характер пространственной динамики. Наложение контуров мангровой растительности за 1989 и 2018 гг. показало существенные изменения границ занятой манграми площади за тридцатилетний период. Исчезновение мангров произошло на площади более 12 тыс. га, что отчасти компенсировалось появлением новых мангровых зарослей на площади в 8 тыс. га. Таким образом, суммарная потеря составила для района исследований 4,5 тыс. га. Основной вклад в исчезновение мангров внесло их сведение под аквакультуру – 80% суммарной потери площади. Потери из-за эрозии берегов (замещение мангров водной поверхностью) составили около 2 тыс. га, или 17% от всех потерь мангров. Наибольшее увеличение площади мангровых

зарослей происходило на северо-восточном побережье, в зоне интенсивной аккумуляции наносов (рис. 1).

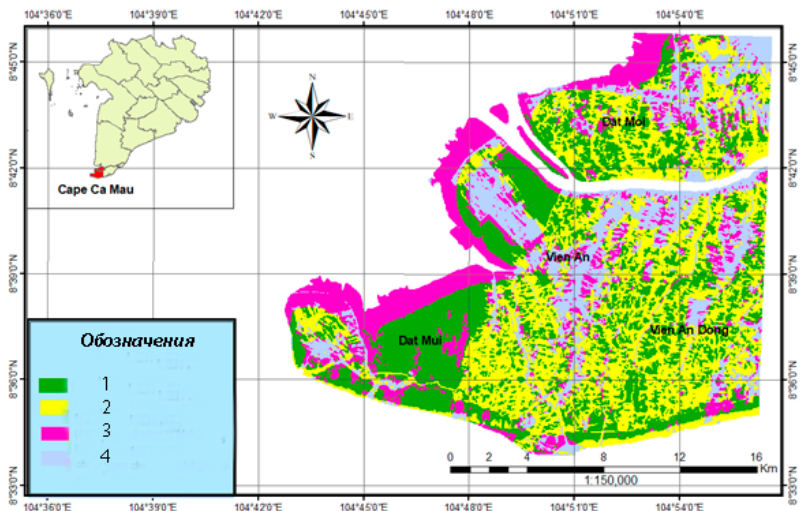


Рис. 1. Изменение площади и пространственного распределения мангровой растительности на полуострове Ка Мау (Вьетнам) с 1989 по 2018 гг.

Цифрами обозначены: 1 – мангровая растительность, сохранившаяся без изменений; 2 – исчезнувшая мангровая растительность; 3 – вновь появившиеся участки мангровой растительности; 4 – другие типы земель

Существующие карты и оценки площади мангровых зарослей отражают состояние на текущий момент [2] и характеризуют суммарную скорость исчезновения мангров, но не позволяют выявить стоящие за ней разнонаправленные процессы. Прогноз дальнейшей динамики мангровых лесов возможен только при более точном учете относительных скоростей деградации и восстановления прибрежной растительности и выявлении процессов, стоящих за этими изменениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Hong P. N., San H. T.** Mangroves of Vietnam. – IUCN, 1993. – V. 7. – 173 p.
2. **Spalding M.** World atlas of mangroves. – Routledge, 2010. – 336 p.



**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВСЕЛЕНИЯ ЧУЖЕРОДНОГО КРАБА-СТРИГУНА ОПИЛИО (*CHIONOECETES OPILIO*) В КАРСКОЕ МОРЕ ПРИ ПОМОЩИ БУКСИРУЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА «ВИДЕОМОДУЛЬ»**

**Залота А.К.<sup>1</sup>, Зимина О.Л.<sup>2</sup>, Галкин С.В.<sup>1</sup>,  
Спирidonov В.А.<sup>1</sup>, Пронин А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им П.П. Шириова РАН  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, azalota@gmail.com*

<sup>2</sup> *Мурманский морской биологический институт,  
Владимирская ул., 17, 183010, г. Мурманск, 8(8152) 25-39-63*

В докладе представлены результаты исследований популяции краба-стригуна в Карском море. Приводится сравнительный анализ результатов, полученных с использованием донных тралов, и методом видеонаблюдения

The results of studies of the snow crab population in the Kara Sea are reported here. A comparative analysis of the results obtained using bottom trawls and the method of video surveillance is given.

Карское море, как и другие моря сибирского шельфа, не отличается высокой продуктивностью и промысловым потенциалом по сравнению с Баренцевым и Беринговым морями. Это труднодоступное море остается все еще слабо изученным. В современном мире достаточно сложно найти экосистемы, настолько мало затронутые влиянием человека, как дно Карского моря. Вселение столь крупного и активного хищника, как краб-стригун опилио (*Chionoecetes opilio*), является уникальной возможностью изучения процесса вселения новых видов в новую экосистему. Такие наблюдения могут пролить свет на то, как нетронутые арктические экосистемы морей Сибирского шельфа реагируют на вселение нового хищника, и способен ли этот краб достичь больших размеров и численности в морях с низкой продуктивностью [1]. В Баренцевом море популяция краба-стригуна опилио хорошо изучена благодаря регулярным экосистемным исследованиям IMR и ПИНРО [5].

Из-за ограниченности промысловых ресурсов в Карском море выполнено относительно небольшое число съемок с использованием стан-

дартных промысловых тралов, которые позволяют собирать репрезентативные образцы взрослых крабов-стригунов и отслеживать их численность [3,7]. Поэтому для изучения популяции крабов в Карском и других сибирских морях в долгосрочной перспективе необходимо привлекать весь доступный набор методов и орудий лова.

Оценка размерной структуры популяции позволяет проследить рост и успех разных возрастных когорт и рассчитать возможное время их оседания. Таким образом, можно проследить динамику процесса вселения чужеродного вида. Однако, различные орудия лова и видеосъемка имеют различающиеся параметры и разные источники возможных ошибок при учете и замере крабов. Накопленные к настоящему времени данные получены различными орудиями лова и методами исследований. В регулярных экспедициях Института океанологии им. П.П. Ширшова в Карское море с 2007 года используется трал Сигсби шириной 1,5 м и высотой 35 см, используется В 2016 г., нашими коллегами из ММБИ образцы отбирались с использованием донного трала с горизонтальной высотой 20 м и вертикальным отверстием 8-10 м, оснащенного двойной сеткой: наружная сетка с сеткой 135 мм и нижняя вставка сетки с сеткой 12 мм. С 2016 г. в рейсах ИО РАН наблюдения проводились при помощи буксируемого необитаемого подводного аппарата (БНПА) «Видеомодуль», разработанного и изготовленного усилиями специалистов технического и биологического направлений ИО РАН. Оборудование БНПА «Видеомодуль» включает систему управления и передачи данных, позволяющую передавать команды управления и получаемую информацию между судном и буксируемым телом по оптическому кабель-тросу в режиме реального времени. Также имеется системы навигации, энергопитания, три видеокамеры (одна из них высокого разрешения, настроена для проведения плановой съёмки), шесть светильников заливающего света и два лазерных указателя масштаба, с известным расстоянием между ними. При необходимости, возможна установка дополнительного оборудования – гидрофизического зонда, погружного гамма-спектрометра и т.д. Таким образом, использование БНПА «Видеомодуль» позволяет получать навигационно привязанные (в том числе по глубине), пространственно ориентированные и масштабированные изображения дна, с присутствующими на них животными [2].

Информация, полученная различными методами, нуждается в сравнительном анализе и стандартизации.

Три метода, обсуждаемые здесь, выявляют различные аспекты структуры численности популяции *Chionoecetes opilio* в Карском море. Трал Сигсби, используемый ИО РАН, имеет мелкую сетку и ловит даже

недавно осевших крабов. Видеосъемка позволяет наблюдать более крупных крабов, хотя на записях можно обнаружить и некоторых более мелких особей. Большой донный трал, используемый ММБИ, способен ловить крупных крабов, но не удерживает более молодых крабов из-за крупной ячеи сетки. Совместное использование этих орудий может позволить составить достаточно полное представление о размерной структуре популяции вселенца.

Краб-стригун попал в Карское море из Баренцева моря, где он уже хорошо обосновался и добывается в промышленных масштабах [4]. Его вселение в конце 2000-х годов совпало с более низкой концентрацией льда в западной части Карского моря весной и в начале лета [6], что дало личинкам крабов достаточно времени для созревания и оседания. Крабы распространились по всей западной части моря и достигли высоких концентраций (0.55 крабов/м<sup>2</sup>, возле пролива Карские ворота, 2016 г.).

За это время мы наблюдали все группы размеров в популяции крабов. *Ch. orilio* успешно расселяются и растут на западном Карском шельфе. Группы размеров отличаются от тех, которые описаны в литературе, из-за различий в условиях окружающей среды и, возможно, двух источников пополнения: продолжающееся поступление личинок прибывают из Баренцева моря и воспроизводство в Карском море.

Самки с кладкой с хорошо развитыми яйцами встречаются с 2016 года. Восточные бухты Новоземельского архипелага могут стать яслями для молодняка краба вселенца. Самый крупный краб, найденный до настоящего времени, встречен у пролива Карские ворота. Он имел ширину панциря 116 мм. Этот экземпляр мог проникнуть из Баренцева моря, его находка не подтверждает наличие репродуктивной популяции в Карском море. Вопрос о возможности формирования в Карском море промысловой популяции краба-стригуна остается открытым. Однако такая возможность не может быть исключена полностью.

Исследование проводилось при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-05-60053.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Виноградов М.Е., Ведерников В.И., Романкевич Е.А., Ветров А.А.** Компоненты цикла углерода в арктических морях России: Первичная продукция и поток Сорг из фотического слоя // *Океанология*. 2000. – Т.40. – Вып. 2. – С.221–233.

2. **Пронин А.А.** Методика сбора и представления материалов видеосъемки дна с помощью необитаемого подводного аппарата «Видеомодуль» // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 2017. – № 12-1. – С. 142–147.

3. **Соколов К.М., Павлов В.А Стрелкова Н.А. [и др].** Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* в Баренцевом и Карском морях. Мурманск: ПИНРО, 2016. ISBN 978-5-86349-221-6.

4. **Стрелкова Н.А.** Об акклиматизации краба-стригуна опилио в водах Баренцева и Карского морей. // Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* в Баренцевом и Карском морях. (Ред. Соколов К.М., Павлов В.А., Стрелкова Н.А. [и др.]) Мурманск: ПИНРО, 2016. С. 17–35.

5. **Jørgensen, L.L., Lyubin, P.A., Skjoldal, H.R., Ingvaldsen, R.B., Anisimova, N.A., Manushin, I.E.** Distribution of benthic megafauna in the Barents Sea: Baseline for an ecosystem approach to management. ICES Journal of Marine Science. 2015.- V. 72. – P. 595–613.

6. **Zalota A.K., Spiridonov V.A., Vedenin A.A.** Development of snow crab *Chionoecetes opilio* (Crustacea: Decapoda: Oregonidae) invasion in the Kara Sea // Polar Biology. 2018.DOI:10.1007/s00300-018-2337-y.

7. **Zimina, O.L., Lyubin, P.A., Jørgensen, L.L., Zakharov, D.V., Lyubina, O.S.** Decapod crustaceans of the Barents Sea and adjacent waters: species composition and peculiarities of distribution. Arthropoda Selecta. 2015. – V. 24. – P. 417–428.

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

### А

Агаркова-Лях И.В., 207  
Аладышева Е.И., 124  
Анисимов И.М., 132, 136, 140,  
178, 182, 279  
Анисова И.М., 203  
Арыканцев В.В., 99  
Ахтямов Т.Р., 110

### Б

Бандурко А.В., 99  
Барканова Т.Б., 203  
Барсуков И.А., 49  
Басюк Е.О., 221  
Белевитнев Я.И., 132, 134, 136,  
156, 178, 182, 279  
Беликов Р.А., 228, 279  
Березин А.В., 95  
Большаков Е.Н., 170  
Борзенков М.А., 110  
Борисов А.Н., 103, 106  
Борисова М.А., 106  
Бреховских А.Л., 68, 228  
Бугаева Л.К., 55  
Буланов В.А., 51, 55  
Булатова Т.В., 203

### В

Ванюшин Г.П., 203  
Веденин А.А., 276  
Вельтищев В.В., 124  
Видихин С.В., 162  
Виноградов Г.М., 269, 272  
Волков С.В., 174  
Вольтер Е.Р., 68, 228

### Г

Гаврилина (Лямина) Е.А., 95  
Гайский П.В., 225

Галкин С.В., 269, 276, 289  
Гамазов Н.И., 128  
Глуховец Д.И., 45  
Гольдин Ю.А., 45  
Григорьев А.В., 235, 240  
Гринберг О.В., 68, 228  
Гулин М.Б., 248  
Гуреев Б.А., 45

### Д

Данилов А.В., 152  
Демидова Т.А., 158  
Джалилов А.Г., 192  
Добрынин Д.В., 286  
Дроздов А.Е., 37  
Дунчевская С.В., 162, 166, 170  
Дьяконов М. В., 166  
Дьяконов М.В., 162

### Е

Евсенко Е.И., 68, 228  
Ермаков И.Д., 76

### З

Забавников В.Б., 217  
Залота А.К., 289  
Захаров Е.В., 68  
Зацепин А.Г., 64, 174  
Зимин И.Б., 88  
Зиминова О.Л., 289  
Зубков С. Н., 114  
Зуенко Ю.И., 190

### И

Иванова Е.А., 248  
Икко О.И., 186  
Исмагилов М.И., 162

### К

Каевицер В.И., 80, 84

Каменев Я.М., 110  
Карабашев Г.С., 258  
Клюев М.С., 68, 228  
Коваленко В.В., 13  
Ковчин И.С., 37  
Колесников А.В., 162  
Комаров В.С., 150  
Кондрашов А.А., 41  
Корж А.О., 41

Корсков И.В., 51  
Косьян Р.Д., 68  
Кочетов О.Ю., 174  
Кошель С.М., 21  
Кошманов В.Ф., 88  
Краснова В.В., 279  
Кривцов А.П., 80, 84  
Кропотов А.Н., 95, 152  
Кружалов М.Ю., 203  
Крупнова Т.Н., 190  
Кубряков А.А., 214  
Кузнецов М.Ю., 221  
Кузьмин В.Ю., 279  
Куклев С.Б., 68  
Кулешов В.П., 33

## Л

Ландер М.Р., 41  
Лебедев К.В., 29  
Лежнин В.А., 134  
Леонов А.В., 186  
Лесин А.В., 132, 156, 178  
Либина Н.В., 17, 21  
Литик И.Ю., 110  
Лунев Е.Г., 60

## М

Мазуркевич А.Н., 68  
Марин В.М., 279  
Матвеев В.И., 190  
Матвейчук М.Г., 99  
Мельников И.А., 263

Микаелян А.С., 214  
Минкин С.И., 232  
Минкина Н.И., 232  
Митник Л.М., 33  
Митник М.Л., 33  
Мокиевский В.О., 283, 286  
Мотыжев С.В., 60

## Н

Нерсесов Б.А., 121  
Никифоров С.Л., 17, 21  
Новиков В.И., 128  
Новиков Ю.В., 25  
Носов А.В., 158

## О

Оленин А.Л., 252  
Ольховский С.В., 68  
Ольшанский В.М., 174  
Островский А.Г., 64, 174

## П

Пака В.Т., 41  
Плотников В.А., 110  
Подуфалов А.П., 41  
Прасолова Е.А., 279  
Пронин А.А., 178, 289  
Пряжевская Т.С., 199

## Р

Ревяков Г.А., 88  
Римский-Корсаков Н.А., 121,  
178  
Розман Б.Я., 150  
Рыбаков А.В., 76  
Рыбакова Е.И., 269

## С

Сагитов И.М., 170  
Сажнева А.Э., 68, 228  
Самышев Э.З., 232  
Сапунова Е.В., 203

Сарвира Д.В., 95  
Свищев Н.Д., 76  
Севбо В.Ю., 37  
Селифонова Ж.П., 244  
Семенюк И.С., 110  
Сентябов Е.В., 211  
Сероветников С.С., 72  
Сибирцова Е.Н., 207  
Сиек Ю.Л., 103  
Смирнова Т.Е., 92  
Смольянинов И.В., 80, 84  
Солодихина А.А., 110  
Спиридонов В.А., 289  
Станичный С.В., 214  
Сторожев П.П., 162, 166, 170  
Стороженко А.В., 51  
Стрельцов А.М., 49  
Сыроваткин Е.В., 221

### **Т**

Таганова М.М., 279  
Тиняков К.А., 110  
Тихонова Н.Ф., 158  
Толстошеев А.П., 60  
Тон Шон, 286  
Тронза С.Н., 140, 178  
Трошков А.А., 203

### **У**

Удалов А.А., 182  
Устинова Е.И., 25, 221

### **Ф**

Филатов В.Н., 25  
Фролов С.В., 72

### **Х**

Храпко А.Н., 235, 240

### **Ц**

Царева В.А., 203  
Цыпышева И.Л., 190

### **Ч**

Часовников В.К., 254  
Черкашин С.А., 199  
Черный И.В., 49  
Чернышев В.В., 99, 117  
Чернявский Г.М., 49  
Чичерина О.В., 186  
Чумаков Ю.В., 95

### **Ш**

Шавырин И.А., 162  
Швоев Д.А., 174  
Шрейдер А.А., 68, 228

### **Э**

Элбакидзе А.В., 80, 84

### **Я**

Ясакова О.Н., 254  
Яхонтов Б.О., 142, 146

Подписано в печать 17.04.2019 г. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 17,21.

Заказ № 55/2. Тираж 200 экз.

Изготовлено Издательским домом Академии имени Н. Е. Жуковского по заказу ИО РАН.

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского  
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., дом 6А