

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. Ширшова РАН  
МГТУ им. Н.Э.Баумана  
НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**

**XVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ**



**«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ»  
(МСОИ-2023)**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ  
В двух томах  
Том I**

**МОСКВА 2023**

На первой странице обложки представлен  
безэкипажный гидрографический катер КАЛАН

УДК 551.46.07

ББК 26.221

**«Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2023) / Материалы XVIII международной научно-технической конференции. Том I. – М.: Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 2023. –291 с.**

**ISBN 978-5-6045110-8-4; .....DOI 10.29006/978-5-6045110-8-4-2023**

Книга содержит материалы конференции МСОИ-2023. 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 I рассмотрены методы и средства исследований, связанных с оперативной океанологией, состоянием экологии океана, в том числе районов захоронений радиоактивных отходов, а также разработками современных технологий, в том числе подводной робототехники и аппаратов. Анализ и решение перечисленных задач обсуждаются на общем фоне актуальности исследований Арктических регионов России.

Доклады опубликованы в авторской редакции.

Редактирование сборника: Н.А. Римский-Корсаков, Н.Ф. Тихонова.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема FMWE-0128-2021-0010), при поддержке гранта РФФИ №23-17-00156.

**“Modern methods and means of oceanological research”. Proceedings of the XVIII International Conference MSOI-2023, Vol. II. – Moscow: Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 2023. –291 p.**

This publication contains materials of the MSOI-2023 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.

Volume I discusses methods and instruments of research related to operational oceanology, ocean ecology conditions, including areas of radioactive waste disposal, development of modern underwater technologies, including robotics and vehicles. The analysis and solution of the listed tasks are discussed in connection with the general background of the Russian Arctic research relevance.

ББК 26.221

©ИО РАН 2023

**ISBN 978-5-6045110-8-4**

### **ОРГКОМИТЕТ МСОИ-2023**

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| 1. Соков А.В.           | <u>председатель</u> , чл. корр. РАН директор ИОРАН            |
| 2. Римский-Корсаков Н.А | <u>зам. председателя</u> , д.т.н., зам. директора ИОРАН       |
| 3. Вельтищев В.В.       | <u>сопредседатель</u> д.т.н., зав. каф. МГТУ им. Н.Э. Баумана |
| 4. Островский А.Г.      | к.г.н., вед.н.с. ИО РАН                                       |
| 5. Мокиевский В.О.      | д.б.н., вед.н.с. ИО РАН                                       |
| 6. Глуховец Д.И.        | к.г.н., вед.н.с. ИО РАН                                       |
| 7. Егоров А.В.          | к.г-м.н., зав. лабораторией ИО РАН                            |
| 8. Кикнадзе О.Е.        | заведующий лабораторией, НИЦ "Курчатовский институт"          |
| 9. Свиридов С.А.        | к.т.н. зав. отделом инф. технологий ИОРАН                     |
| 10. Уманская И.А.       | глав. спец. отдела информационных технологий                  |
| 11. Тихонова Н.Ф.       | н.с., секретарь конференции                                   |

### **Координационная рабочая группа:**

Научн.сотр. Пронин А.А., вед.инж. Водяная Е.Г., ст. инж. Ёлкина М.М., вед.инж. Соколов А.А., Муратов А.В., Куликова Т.А., вед.инж. Марин В.М., инж. Белевитнев Я.И., Муровья В.О., Лесин А.В.

Конференция проводится при финансовой поддержке Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Московского государственного технического университета им.Н.Э.Баумана, при поддержке проекта РНФ №23-17-00156.

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ МСОИ-2023

- |    |                            |  |
|----|----------------------------|--|
| 1  | Соков А.В.                 | чл. корр. РАН директор ИОРАН, председатель   |
| 2  | Римский-<br>-Корсаков Н.А. | д.т.н., заместитель директора по морской технике ИО РАН,со-председатель                                |
| 3  | Нигматулин Р.И.            | академик РАН, научный руководитель ИО РАН, сопредседатель  |
| 4  | Лобковский Л.И.            | академик РАН, научный руководитель геологического направления ИОРАН                                    |
| 5  | Флинт М.В.                 | академик РАН, научный руководитель направления «Экология морей и океанов» ИО РАН,                      |
| 6  | Верещака А.Л.              | чл. корр. РАН, руководитель лаборатории ИОРАН  |
| 7  | Гулев С.К.                 | чл.-корр., руководитель лаборатории ИОРАН  |
| 8  | Завьялов П.О.              | чл.-корр. РАН, заместитель директора ИО РАН,   |
| 9  | Книвель Н.Я.               | заместитель начальника Управления по нераспространению и физической защите НИЦ «Курчатовский институт» |
| 10 | Вельтищев В.В.             | д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э.Баумана   |
| 11 | Шевченко В.В.              | к.г-м т.н. зам. дир. ИО РАН,   |
| 12 | Каевицер В.И.              | д.т.н, ФИРЭ им. Котельникова РАН   |
| 13 | Вялышев А.И.               | д.ф.-м.н., главный научный сотр. ВНИИ ГОЧС МЧС РФ  |
| 14 | Сагалевиц А.М.             | д.т.н., зав. лаб. ИО РАН, Герой России   |
| 15 | Мотыжёв С.В.               | д.т.н., руководитель научного направления МГИ, Севастополь   |
| 16 | Добролюбов С.А.            | чл.-корр., декан факультета МГУ  |
| 17 | Вязилов Е.Д.               | д.т.н., зав. лаб. ЦОД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Росгидрометцентра, Обнинск                                    |
| 18 | Казеннов А.Н.              | руководитель лаборатории НИЦ «Курчатовский институт»   |



**100 лет**  
профессору  
**И. Е. Михальцеву**



14 июня 2023 года исполняется 100 лет со дня рождения Игоря Евгеньевича Михальцева – талантливого инженера, ученого, Героя Социалистического Труда.

Игорь Евгеньевич родился 14 июня 1923 года в Ленинграде в семье Евгения Владимировича Михальцева (1887-1960) - российского и советского учёного и инженера, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, основателя методики расчёта себестоимости железных дорог.

В 1940 г. И.Е.Михальцев поступил в Московский энергетический институт. С началом войны прервал учебу и работал радистом и штурманом на судах Дальневосточного пароходства. В 1947 г., продолжил прерванную войной учебу в институте. Окончив Радиотехнический факультет Московского энергетического института в 1950 г., начал работать в Акустической лаборатории Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР, преобразованной в 1954 г. в Акустический институт АН СССР, откуда в 1965 г. перешел в Институт океанологии.

В период его работы заместителем директора Института океанологии широкое развитие получили его работы по прикладной, главным образом, оборонной тематике, объем заказных работ Института увеличился почти в 20 раз. Для обеспечения технической базы в Институте было создано опытно-конструкторское бюро океанологической техники (ОКБ ОТ). В 1975 г. по его просьбе он был освобожден от должности заместителя директора и полностью занялся научной работой.

В 1958 г. И.В.Михальцев защитил кандидатскую диссертацию, в 1970 г. стал доктором технических наук. С 1975 по 1989 гг. заведовал Отделом глубоководных обитаемых аппаратов, а с 1989 г. Лабораторией поисковых технических исследований.

Игорь Евгеньевич создал новое направление технической океанологии – технологию комплексного экспериментального изучения акустической природы океана, а также акустических методов исследования океана. Под его наблюдением были созданы уникальные системы двух

исследовательских судов «Сергей Вавилов» и «Петр Лебедев». Он - автор технического задания на проекты этих судов, руководитель работ по их созданию и начальник их Первой Атлантической экспедиции в 1960 году.

И.Е. Михальцев является автором открытия «Явление непрерывности звукового поля в океане – эффект Михальцева» (приоритет 1959 г., диплом 1968 г.). Это открытие принципиально изменило архитектуру океанских гидролокаторов. И.Е. Михальцев разработал идеологию приближения человека-исследователя к объекту изучения в глубоком океане и построения соответствующей техники (1970). Игорь Евгеньевич является автором технических заданий на проекты, руководителем работ по созданию и испытаниям подводных обитаемых исследовательских аппаратов «Пайсис» с глубиной погружения до 2000 м, а также глубоководных обитаемых аппаратов «Мир» с глубиной погружения до 6000 м.

Им сделано открытие температурной (плотностной) микро неоднородности квазиизотермической толщи вод в море, акустическое следствие которой названо «микро рефракцией» (1957). К другим пионерским работам относятся: работы по использованию звука подводного взрыва малых зарядов для гидролокации (1956 - 1958); исследование и использование инфразвука для обнаружения источника звука в океане (1961 - 1964); принципиально новый метод определения океанологических параметров среды по характеристикам проходящего акустического сигнала (1963—1965), который через 12 лет был назван «акустической томографией океана». И.Е. Михальцевым сформулирована новая замкнутая гипотеза организации памяти высокоорганизованных систем (1978); впервые предложено использовать функциональную нейробионику для построения сети подводных якорных станций в океане с интеллектуальными решающими системами; предложена архитектура первого поколения биоподобных

некомпьютерных интеллектуальных решающих машин (1990); разработана концепция достижения мирового приоритета в реальном освоении ресурсов Океана (1991).

И.Е.Михальцевым разработан, создан и испытан в натуральных условиях образец подводного турбоэлектрического энергетического блока мощностью 25 кВт, использующего в качестве первичного топлива гидразингидрат, для электропитания аппаратов и установок на глубинах до 6000 м (1993). В последующие годы были исследованы возможности удвоения эффективности, увеличения мощностей до 500 кВт и путей обеспечения длительной работы таких систем без обслуживания.

В 1989 году за выдающиеся заслуги в области развития глубоководных обитаемых технологий И.Е.Михальцеву было присвоено звание Героя Социалистического Труда, а в 1995 году он был награжден орденом "За заслуги перед Отечеством" III степени.

Игоря Евгеньевича Михальцева не стало 14 апреля 2010 года.

## ОГЛАВЛЕНИЕ том1

### ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ

Оперативная система прогнозирования ветрового волнения по сопряженной схеме «океан – море – прибрежная зона» Зеленько А.А., Мысленков С.А., Реснянский Ю.Д.....	15
Долговременный линейный меридиональный сдвиг струйной структуры Антарктического циркумполярного течения по данным спутниковой альтиметрии на примере сектора к югу от Африки Тараканов Р.Ю.....	19
Разработка аппаратно-программной платформы автоматических подводных зондов-профилографов Кочетов О.Ю., Волков С.В., Островский А.Г.....	23
Новый поисковый маяк для автономных донных станций Кочетов О.Ю., Швоев Д.А., Волков С.В., Островский А.Г.....	27
Воздействие внутренних солитонов в море на лежащую на дне антенну гидрофонов Серебряный А.Н., Lynch J., Newhall A.....	31
Подводная станция вертикального зондирования водной толщи и ее модернизация. Баранов В.И., Очередник В.В., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Машура В.В.....	35
Особенности установки радиолокационной станции WERA Чуманихин Л.И., Либина Н.В., Магутин Н.Ю., Телегин В.А.....	39
Позиционные автономные необитаемые подводные аппараты в задачах оперативной океанографии Островский А.Г., Коваленко В.В.....	43
Особенности конструкции и технические характеристики автоматического подводного зонда-профилографа «ВИНЧИ» Швоев Д.А., Островский А.Г., Кочетов О.Ю., Зацепин А.Г.....	48
Оперативная океанология акватории Новороссийск-Геленджик на основе моделей с двойным вложением сеток Григорьев А.В., Кубряков А.И., Сенченко В.Г.....	54
Оценка параметров морского волнения с использованием данных судового радиолокационного радара Ежова Е.А., Гавриков А.В.....	57
Оценка успешности прогноза ветра вблизи Балтийского моря различными моделями атмосферной циркуляции Захарова Е. В., Ладохина Е.М., Попов С.К., Фомин В. В., Дианский Н. А.....	61

Автономная дрейфующая платформа сбора гидрологических данных на основе высокоточного измерителя скорости звука	
Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Безгин А.А.....	65
Предварительные результаты оценки параметров морского льда и приповерхностного слоя океана на основе дрейфующих буев распределенной сети наблюдений экспедиции "Северный Полюс - 41" 2022/2023 гг	
Смоляницкий В.М., Даньшина А.В., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В., Ревина А.Д., Соколов В.Т., Тимофеева А.Б.....	67
Ледовые условия плавания по данным визуальных наблюдений и телевизионного комплекса в экспедиции NABOS-2021	
Тимофеева А.Б.....	71
Анализ сезонной изменчивости водообмена между Тихим и Индийским океанами на основе данных Арго и численного моделирования	
Лебедев К.В., Савин А.С.....	75
Автономные буйковые станции на основе дрейфующих буев отечественного производства для морской Арктики	
Лунев Е.Г., Смоляницкий В.М., Мотыжев С.В. , Толстошеев А.П. , Безгин А.А.....	79
Экспериментальный автономный зондирующий измерительный комплекс для исследования гидрофизических, биооптических и геохимических полей верхнего слоя природных вод	
Хлебников Д.В., Илларионов С.Н., Коновалов Б.В.....	83

## **ЭКОЛОГИЯ ОКЕАНА**

Мониторинг мезопланктона Хачмас – Гилезинским акватории Каспийского моря	
Джалилов А.Г.....	85
Влияние свала грунта и дноуглубления на зоопланктон Черного и Азовского морей	
Селифонова Ж.П., Боран-Кешишьян А.Л.....	89
Опыт использования мультиспектральной технологии авиасъемки при осуществлении исследований по изучению состояния и численности пополнения беломорской популяции гренландского тюленя ( <i>Phoca groenlandica</i> )	
Забавников В.Б.....	93

Проверка влияния энергетического метода воздействия на скорость биокоррозии на стальных и пластиковых образцах, размещенных в морской воде Карского моря	
Васильев Н.В., Сапожников Ф.В., Торопов М.Н., Зубов П.А., Чикина М.В., Калинина О.Ю., Кондарь Д.В., Удалов А.А., Любимов И.В., Полухин А.А.....	97
Морской мусор в Черном море по данным наблюдений 2016-2022 гг. Погожева М.П., Гонзалес-Фернандес Д., Третьяк И.П., Котельникова Ю., Мачидадзе Н., Биладшвилли К., Ханке Г.....	102
Влияние динамики вод на формирование скоплений антарктического криля	
Фофанов Д. В., Семькина М. А.....	105
Разработка многовидовой модели сообщества рыб на основе использования его весового спектра	
Подгорный К. А., Дмитриева О. А.....	109
Математическое моделирование процессов трансформации <i>don</i> , <i>dop</i> , <i>dos<sub>i</sub></i> в экосистеме Вислинского залива Балтийского моря	
Подгорный К. А., Дмитриева О. А.....	113
Микропластик в морских льдах: почему такие особенности?	
Чубаренко И.П., Бочерикова И.Ю.....	117
Анализ скоплений антарктического криля на базе разрабатываемой робототехнической системы «МОБИЛЬНЫЙ БИОЛОГ»	
Семькина М. А., Фофанов Д. В.....	121
Технические средства видеорегистрации планктона « <i>IN SITU</i> »	
Левашов Д.Е., Кравченко Ю.Н., Анисимова Л.А.....	124
Прогнозирование выбросов морского мусора с помощью сверточных нейронных сетей	
Фетисов С.В.....	128
Моделирование цветений кокколитофорид в Черном море	
Лишаев П.Н., Кубрякова Е.А., Кубряков А.А.....	132
Сравнение методов идентификации аномалий на примере задачи поиска мелкомасштабных изображений дельфинов в учетных фотографиях высокого разрешения	
Хабутдинов И.А., Криницкий М.А., Беликов Р.А.....	136
Специфика учета макрофауны на видеоданных БНПА «ВИДЕОМОДУЛЬ»	
Залота А.К., Залота М.К., Анисимов И.М., Фетисова В.В., Удалов А.А., Чикина М.В.....	140
Программная обработка видео данных БНПА «ВИДЕОМОДУЛЬ» для повышения эффективности исследований состава и плотности макробентоса	
Лесин А.В., Залота М.К., Залота А.К.....	144

Проблема оценки экологического состояния акватории затопленных химических боеприпасов в Балтийском море, после террористического подрыва донных газопроводов Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А.....	148
--	-----

## **РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ**

Особенности гидрофизической структуры в заливах южного острова архипелага Новая Земля и их водообмена с акваторией Карского моря Недоспасов А.А., Поярков С.Г.....	150
Исследования донной фауны в 89 рейсе нис «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» с использованием БНПА "ВИДЕОМОДУЛЬ" Удалов А.А., Анисимов И.М., Муравья В.О., Лесин А.В., Кузьмин В.Ю., Залота А.К., Чикина М.В.....	155
Загрязнение радиоактивным цезием донных осадков в заливах Абросимова и Степового Фуркина Е.Б., Алиев Р.А., Казеннов А.Ю., Никитин А.О., Калмыков С.А.....	159
О разработке концепции судна мониторинга радиационных полей мирового океана. Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Книвель Н.Я., Королев А.В.....	162
Донная станция для долговременного непрерывного радиационного мониторинга подводных потенциально опасных объектов Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Калмыков С.А., Никитин А.О.....	165
Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты как средство доставки оборудования для обследования затопленных объектов Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Калмыков С.А., Никитин А.О.....	169
Применение подводных высокочувствительных гамма-спектрометров при проведении радиационного мониторинга состояния подводных ядерно- и радиационно опасных объектов Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Калмыков С.А., Никитин А.О.....	172
Мониторинг акваторий северных морей России и обоснование предлагаемых решений Лискин В.А., Римский-Корсаков Н.А.....	176
Результаты исследований радиационно опасных отходов в заливе Благополучия, 89 рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» Анисимов И.М., Багницкий А.В., Муравья В.О., Лесин А.В.....	180



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

Взаимосвязь морских технологий и научные открытия в океане А.М.Сагалевиц, В.Д.Сагалевиц.....	184
Универсальный метод решения обратной задачи кинематики для манипуляционных роботов последовательной структуры Данилов А.В.....	197
Сравнение метода «конечного поворота и смещения» с другими методами решения обратной задачи кинематики для манипуляционных роботов последовательной структуры Данилов А.В.....	201
Обход сингулярных конфигураций в решении обратной задачи кинематики методом «конечного поворота и смещения» для манипуляционных роботов Данилов А.В.....	205
Программно-аппаратный комплекс для настройки и испытания решения обратной задачи кинематики методом «конечного поворота и смещения» Данилов А.В.....	209
Особенность проектирования кинематической схемы манипулятора с последовательно соединенными звеньями Данилов А.В.....	213
Манипуляционный робот последовательной структуры для исследования подводных морских объектов Данилов А.В.....	217
Обнаружение звукорассеивающих слоев в морской среде интерферометрическим гидролокатором бокового обзора Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В.....	219
«Глаза» и «Руки» под водой: от первой батисферы до автономных модулей Виноградов Г.М., Галкин С.В.....	224
О подходе к организации гидроакустической сети для навигационного и информационного обеспечения подводных работ Ромашко А.С.....	228
Интерактивная модификация универсальных складных конструкций цилиндрических приемных гидроакустических антенн для любых носителей и требуемых технических характеристик Булычев А.С.....	232
Океанологические исследования морской робототехникой высокой автономности Горлов А.А.....	233

Измерение объектов на поверхности дна по данным видеоизображений с лазерной масштабной линейкой	
Анисимов И.М., Муравья В.О. Лесин А.В.....	237
Прототип ТНПА с модульной функциональностью и возможности его дальнейшего развития	
Кондрашов А.А., Пака В.Т., Кантаков Г.А., Подуфалов А.П., Ландер М.Р.....	241
Перспективы роботизации процесса добычи железомарганцевых конкреций	
Жданов П.Н., Вельтищев В.В.....	245
Линейка телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов «ГНОМ» (МОДЕЛИ «ГНОМ» СТАНДАРТ, СУПЕР ГНОМ)	
Розман Б.Я. Елкин А.В.....	248
Телеуправляемый подводный аппарат «ГНОМ» (ТНПА ГНОМ, модель СуперГНОМ ПРО)	
Розман Б.Я. Елкин А.В.....	254
Исследования донных сообществ Антарктики с использованием автономного необитаемого аппарата «ММТ-3000»	
Галкин С.В., Рыбакова Е.И., Боровик А.И., Михайлов Д.Н., Коноплин А.Ю.....	259
Разработка интерфейса технологического пульта управления АНПА	
Гамазов Н.И.....	263
Водолазные спуски с научно-исследовательских судов	
Яхонтов Б.О.....	267
Организация океанологических исследований водолазными методами	
Яхонтов Б.О.....	271
Создание научно-технической базы для разработок и натурных испытаний комплекса донных станций	
Лискин В.А., Римский-Корсаков Н.А.....	275
Исследование технологий работы с БНПА для получения изображений высокого качества	
Муравья В.О., Анисимов И.М., Лесин А.В.....	279
Многофункциональная беспилотная платформа для выполнения гидрографических и поисковых работ	
Дунчевская С.В. , Видихин С.В. , Большаков Е.Н. Дьяконов М.В.....	282
Современные средства магнитометрического обнаружения подводных объектов	
Нерсесов Б.А., Римский- Корсаков Н.А.....	286

# ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ

УДК 551.466

## ОПЕРАТИВНАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ ПО СОПРЯЖЕННОЙ СХЕМЕ «ОКЕАН – МОРЕ – ПРИБРЕЖНАЯ ЗОНА»

**Зеленько А.А.<sup>1</sup>, Мысленков С.А.<sup>1,2</sup>, Реснянский Ю.Д.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Большой Предтеченский пер., 13, 123376, г. Москва, 8(499)795-22-27, zelenko@mecom.ru*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, 119991, г. Москва 8(495)939-22-15, stasocean@gmail.com*

В докладе рассматриваются основные особенности новой версии разрабатываемой в Гидрометцентре России системы прогнозирования ветрового волнения в Мировом океане и морях России. Система позволяет рассчитывать параметры волнения с разрешением 10-20 км в Мировом океане и ~5 км в российских морях с временем счета приемлемым для оперативных приложений.

The report discusses main features of the new version of the system for wind waves forecasting in the World Ocean and Russian seas, which is being developed at the Hydrometeorological Center of Russia. The system enable to compute the wind wave parameters with spatial resolution of 10-20 km in the World ocean and ~5 km in the seas. Computing time is acceptable for operational applications.

Разработка и поддержание систем оперативного прогноза ветрового волнения относятся к числу актуальных задач оперативной океанологии. На национальном уровне общая задача состоит в том, чтобы пользователям предоставлялась оперативная прогностическая информация по основным параметрам ветрового волнения (с максимально возможной заблаговременностью и детализацией) как для Мирового океана, так и для акваторий всех морей России. Первая версия такой системы, частично решающая общую задачу, действует в Гидрометцентре России [1] начиная с 2014 г. В настоящее время разработана опытная версия прогностической системы нового поколения на базе высокопроизводительной

вычислительной платформы Cray XL40 и последних версий волновой модели. В докладе рассматриваются основные особенности этой комплексной системы прогнозирования волнения в Мировом океане и российских морях.

С учетом назначения и особенностей системы в качестве вычислительного ядра была выбрана спектральная волновая модель третьего поколения WaveWatch III (WW3) версия 6.07. Модель основана на интегрировании уравнения для спектральной плотности волнового действия  $N(k, \theta, \lambda, \phi, t)$ , являющейся функцией волнового числа  $k$ , направления распространения  $\theta$ , географических координат  $(\lambda, \phi)$  и времени  $t$ , записанного в приближении линейного распространения ветровых волн и соответствующего дисперсионного соотношения для частоты  $\sigma$ . В общем случае, в котором учитывается зависимость поля волн от средних течений (связанные с течениями доплеровские эффекты), расчетное уравнение в сферической системе координат записывается следующим образом [2]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\cos\phi} \frac{\partial}{\partial\phi} \dot{\phi} N \cos\theta + \frac{\partial}{\partial\lambda} \dot{\lambda} N + \frac{\partial}{\partial k} \dot{k} N + \frac{\partial}{\partial\theta} \dot{\theta} N = \frac{S}{\sigma}, \quad (1)$$

величины с точками соответствуют скоростям переноса волновой энергии в географическом и спектральном пространствах, их явный вид и граничные условия приводятся в [2]. Правая часть уравнения (1)  $S = \Sigma(S_i)$  представляет совокупный вклад источников и стоков энергии волн, компоненты которых  $S_i$  определены в виде параметризаций соответствующих процессов, содержащих ряд настроечных параметров. В текущей версии системы используется следующий поднабор из поддерживаемых в модели WW3 v6.07 опций для  $S$ :

$$S = S_{in} + S_{ds} + S_{swl} + S_{nl} + S_{bot} + S_{sc}, \quad (2)$$

включающий учет основных процессов развития и затухания волн: ветровая накачка – приток энергии от ветра ( $S_m$ ), её диссипация за счет обрушения волн ( $S_{ds}$ ), диссипация энергии волн зыби за счет генерации турбулентности ( $S_{swl}$ ), перераспределение энергии по спектру вследствие нелинейных взаимодействий ( $S_{nl}$ ), процессы ослабления волн из-за донного трения ( $S_{bot}$ ) и рассеяния энергии на донных неоднородностях ( $S_{sc}$ ).

В прогностической системе применяется современный подход к описанию ветрового волнения с использованием сопряженных моделей “океан – море – прибрежная зона” в рамках единой технологии, учитывающий различие пространственно-временных масштабов волновых процессов в океанических и морских акваториях.

Для глобального океана расчетная область строится путем совмещения регулярной географической сетки в низких и средних широтах с криволинейными приполярными сетками с разрешением близким к разрешению географической сетки у её границ (таблица 1). Совмещение таких сеток обеспечивает сравнительно однородное пространственное разрешение (10-20 км) для всей глобальной области, причем, в отличие от глобальной географической сетки, данная конфигурация характеризуется большей изотропностью разрешения.

Таблица 1. Характеристики составных сеточных конфигураций для совместного расчета ветрового волнения в Мировом океане

ID сетки	Тип сетки	Широтный диапазон	Разрешение
<i>nps10km</i>	стереогр.	60° - 89° с. ш.	~10 км
<i>reg12mn</i>	географич.	55° ю.ш. - 65° с.ш.	0,2° (~20 км)
<i>sps15km</i>	стереогр.	50° - 80° ю. ш.	~15 км

В прогностических расчетах параметров волнения в окраинных морях используются сеточные конфигурации с повышенным пространственным разрешением и граничными условиями генерируемыми в ходе решения глобальной задачи для океана (таблица 2).

Для детализации прогнозов в прибрежной зоне (бухты, проливы, акватории портов и т.п.), требуется еще более высокое разрешение, вплоть до значений ~100 м. Эта задача решается путем применения сопряженных неструктурированных (триангуляционных) сеток, поддерживаемых моделью WW3, которые позволяют адаптировать разрешение сетки к батиметрии и конфигурации береговой линии. Граничные условия для таких сеток генерируются подмоделью для соответствующего моря (таблица 2) в рамках звена общей схемы “море – прибрежная зона”.

Для задания метеорологических условий на морской поверхности, требуемых для расчетов по волновой модели, используется продукция двух глобальных прогностических моделей, ПЛАВ (Гидрометцентр России) и GFS (NCEP/NOAA), а также отечественная система мезомасштабного прогнозирования COSMO\_RU. Сопоставление точности расчетов высоты волн при использовании двух последних источников прогнозов ветра проводилось для Черного моря [3].

При использовании 574 вычислительных ядер расчеты глобального прогноза волнения на 5 суток в конфигурации таблицы 1 занимают примерно 18 минут и в условиях параллельного счета прогнозов для морей (таблица 2) общие затраты времени составляют около 40 мин, что

приемлемо для оперативных приложений. Начиная с 1 ноября 2022 года технология действует в экспериментальном квази-оперативном режиме.

Таблица 2. Параметры сеточных конфигураций для прогностических расчетов ветрового волнения в российских морях

Регион	ID сетки	Тип сетки	Разрешение	Сетка генерации и гр. условий	Время счета прогноза на 5 суток (мин)
Арктические моря	<i>arc</i>	стереог.	~5 км	<i>reg12mn</i>	20
Белое море	<i>bel</i>	геогр.	~1 км	<i>nps10km</i>	12
Балтийское море	<i>balt</i>	геогр.	~2 км	<i>reg12mn</i>	10
Берингово море	<i>bering</i>	геогр.	~5 км	<i>reg12mn</i>	6
Японское и Охотское моря	<i>JapOho</i> <i>t</i>	геогр.	~5 км	<i>reg12mn</i>	6
Черное море	<i>black</i>	геогр.	~4 км	—	15
Азовское море	<i>azov</i>	геогр.	~1 км	—	
Керченский пр.	<i>kerch</i>	геогр.	~0,5 км	—	
Каспийское море Северный Каспий	<i>casp</i> <i>caspn</i>	геогр. геогр.	~2 км ~1 км	— —	18

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленько А.А., Струков Б.С., Реснянский Ю.Д., Мартынов С.Л. Система прогнозирования ветрового волнения в Мировом океане и морях России // Труды ГОИИ. Исследования океанов и морей. –2014. Вып. 215. С. 90–101.
2. WW3DG (The WAVEWATCH III® Development Group). User manual and system documentation of WAVEWATCH III® version 6.07. Tech. Note 333, NOAA/NWS/NCEP/MMAB, College Park, MD, USA, 2019. 326 pp.
3. Myslenkov S., Zelenko A., Resnyanskii Y., Arkhipkin V., Silvestrova K. Quality of the Wind Wave Forecast in the Black Sea Including Storm Wave Analysis // Sustainability. 2021, 13(23), 13099. (21 p.)

**ДОЛГОВРЕМЕННЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ МЕРИДИОНАЛЬНЫЙ СДВИГ  
СТРУЙНОЙ СТРУКТУРЫ АНТАРКТИЧЕСКОГО  
ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ  
АЛЬТИМЕТРИИ НА ПРИМЕРЕ СЕКТОРА К ЮГУ ОТ АФРИКИ**

**Тараканов Р.Ю.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, г. Москва, Нахимовский просп., 36, , 8(499)124-13-01,  
[rtarakanov@gmail.com](mailto:rtarakanov@gmail.com)*

LONG-TERM LINEAR MERIDIONAL SHIFT OF THE JET  
STRUCTURE OF THE ANTARCTIC CIRCUMPOLAR  
CURRENT FROM BASED ON THE SATELLITE ALTIMETRY  
DATA ON THE EXAMPLE OF THE SECTOR SOUTH OF  
AFRICA

Tarakanov R.Y.

*Shirshov Institute of Oceanology. Russian Academy of Sciences, 36,  
Nakhimovsky prospect, Moscow, 117997, Russia*

Меридиональный сдвиг струйной структуры Антарктического циркумполярного течения исследуется на основе оригинальной авторской методики анализа спутниковых данных по абсолютной динамической топографии, использующей линейный регрессионный анализ.

The meridional shift of the jet structure of the Antarctic Circumpolar Current is studied on the basis of the author's original technique for analyzing the satellite data on absolute dynamic topography using linear regression analysis.

Автор доклада представляет оригинальную методику анализа спутниковых альтиметрических данных по абсолютной динамической топографии (АДТ) [1], целью которого является расчет долговременного меридионального сдвига струйной структуры Антарктического циркумполярного течения (АЦТ), включая оценку ошибки расчета. Под

струйной структурой течений понимается чередование в меридиональном направлении минимумов и максимумов модуля градиента абсолютной динамической топографии (АДТ) поверхности океана и производных от него величин: модуля геострофической скорости, удельной кинетической энергии и половины квадрата модуля градиента АДТ. Методика основывается на линейном регрессионном анализе. Исследование проведено на примере сектора АЦТ к югу от Африки ( $10^{\circ}$  в.д.– $25^{\circ}$  з.д.) (рис. 1) для периода наблюдений за 1993–2018 гг. на основе ежедневных данных по АДТ, публикуемых на сайте <http://marine.copernicus.eu>

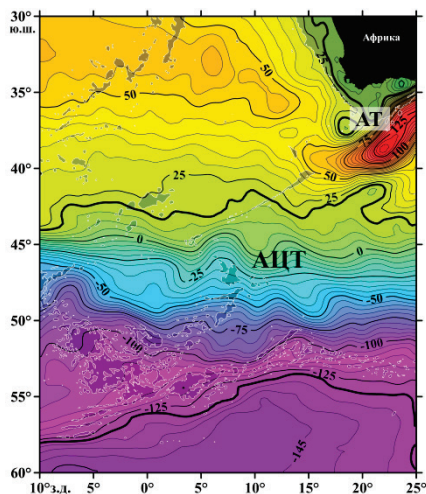


Рис.1 Средняя динамическая топография (изолинии и заливка цветом) в районе к югу от Африки. Жирные изолинии - 130 и 20 см показывают ориентировочные границы АЦТ. Аббревиатура АГ – Агульясское течение. Затемненные области соответствуют районам океана с глубинами менее 3000 м.

Вначале для каждых суток рассчитывались карты значений модуля градиента АДТ и производных от него величин. Затем на их основе производилось осреднение указанных величин за каждый год и вдоль широты. Такой же расчет осуществлялся для осреднения вдоль изогипс (изолиний АДТ). Таким образом были получены 26-лентие ряды кривых зависимостей этих величин от широты и АДТ. В дальнейшем анализировались именно эти ряды. Ряд зависимости градиента АДТ от широты показан на рис. 2а. На рис. 2а выделяются три зоны повышенных



градиентов АДТ, которые мы условно будем называть Субантарктическим (САТ), Южным полярным (ЮПТ)

Южным антарктическим (ЮАТ) течениями. Те же три зоны выделяются при расчетах и других производных от градиента АДТ величин.

Для каждой широты (изогипсы) вычислялось изменение  $x$  физической величины за 26 лет наблюдений путем построения линейной регрессии. Вычислялась также производная  $y$  по широте (шкале АДТ) от средней за тот же период кривой зависимости этой величины от широты (значения АДТ). Получившаяся пара кривых  $x$  и  $y$  может быть представлена на одной плоскости с параметрической зависимостью от широты (значений АДТ). На этой плоскости для какого-либо диапазона широты (значений АДТ), например, соответствующего полосе АЦТ, оценивалась линейная регрессия между  $x$  и  $y$ . При этом коэффициент  $k$  линейной регрессии с обратным знаком представляет собой линейный сдвиг струйной структуры АЦТ за весь за период наблюдений, а свободный член  $b$  регрессии – изменение физической величины по этому диапазону за тот же период.

На рис. 2б и 2в показаны зависимости линейного меридионального сдвига струйной структуры течений и изменения модуля градиента АДТ от широты и масштаба расчета. При этом одному расчету по описанному выше алгоритму соответствует одна точка на рис 2б и 2в. Например, диапазону АЦТ, условно принимаемому от  $42^\circ$ ю.ш. до  $57^\circ$ ю.ш., соответствует масштаб  $15^\circ$ ш. и срединная широта  $49.5^\circ$ ю.ш.

Характер сдвига струйной структуры АЦТ и изменения физических величин, производных от градиента АДТ, сходен. В полосе ЮПТ отмечается смещение структуры на север до  $1.4^\circ$ ш. и интенсификация течения (т.е. положительное изменение физической величины) до 20% от средних значений, а в САТ – сдвиг на юг до  $0.4^\circ$ ш. и ослабление течения (рис. 2б, 2в). В полосе ЮАТ наблюдается небольшая, хотя и достоверная, интенсификация течения. Для полосы АЦТ в целом соответствующие оценки (при получающихся сдвиге на север и интенсификации) находятся на грани ошибок вычислений.

Расчеты через разные физические величины, производные от градиента АДТ, дают количественные различия в оценках сдвигов струйной структуры течений и интенсивности течений, которые оказываются вполне достоверными с точки зрения оценок ошибок расчетов. Наиболее выразительны эти различия при расчетах зависимостей величин от значений АДТ. Так, сдвиг струйной структуры АЦТ в целом относительно шкалы АДТ при расчете через модуль градиента АДТ составляет  $8.6 \pm 0.4$  см за 26 лет, через модуль геострофической скорости –  $8.8 \pm 0.4$  см, через половину квадрата градиента АДТ –  $9.7 \pm 0.6$ , через

удельную кинетическую энергию –  $9.9 \pm 0.8$  см (под полосой АЦТ понимается диапазон АДТ от -130 до 20 см по шкале, приведенной с целью учета роста уровня океана к середине интервала 1993–2012 гг.). Первая из указанных величин практически до десятых долей сантиметра совпадает с оценкой роста уровня Мирового океана в целом [2], две последних существенно ее превышают.

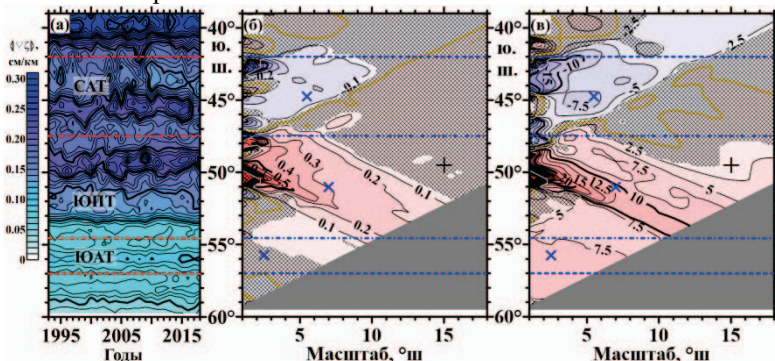


Рис. 2. (а) – 26-летний ряд среднегодовых распределений модуля градиента АДТ в зависимости от широты; (б) и (в) – соответственно линейные сдвиги (°/ш.) струйной структуры и изменения интенсивности (см/с) течений; штриховка соответствует областям расчетных точек с оценкой сдвига меньшего стандартной ошибки. Штриховые и штрих-пунктирные горизонтальные линии – условные границы АЦТ и границы между зонами повышенных градиентов АДТ внутри АЦТ.

Представленная методика не имеет аналогов в сфере анализа спутниковых данных. Ее дальнейшее развитие и использование позволят получить новые знания прежде всего о долговременной динамике поверхностного слоя океана, ее связи с биологическими процессами в океане и с атмосферными процессами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Tarakanov R.Yu. On the long-term linear meridional shift of the jet structure of the Antarctic Circumpolar Current south of Africa // *Oceanology*. – 2021. – V. 61. №6. – P. 815–829.
2. Ablain M., Legeais J.F., Prandi P. et al. Satellite altimetry-based sea level at global and regional scales // *Surv. Geophys.* – 2017. – V. 38. – P. 7–31.

## **РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ПОДВОДНЫХ ЗОНДОВ-ПРОФИЛОГРАФОВ**

**Кочетов О.Ю., Волков С.В., Островский А.Г.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, 8(499)124-  
72-90, ok@noiselab.ru*

### **DEVELOPMENT OF HARDWARE AND SOFTWARE PLATFORM FOR AUTOMATED UNDERWATER PROFILERS**

**Kochetov O.Y., Volkov S.V., Ostrovskii A.G.**

*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences,  
36 Nakhimovsky Prosp., Moscow 117997, Russia*

Представлена структура и особенности программно-аппаратной платформы, разрабатываемой для обеспечения функционирования автоматических зондов-профилографов, оснащенных средствами оперативной передачи данных. Рассмотрены проблемы, специфические для этого класса устройств, и предложены их решения.

The paper describes the structure and features of the hardware and software platform for automated profiling probes equipped with means of operational data transfer. The problems specific to this class of devices are considered and the approaches to solutions are proposed.

Ключевыми составляющими успешного применения автоматических зондов-профилографов на сегодняшний день являются: снижение требований к техническому обеспечению и затратам на установку и подъем, упрощение технического обслуживания и удобство использования. Эффективность таких приборов значительно зависит от аппаратных и программных средств, которые должны обеспечить быструю подготовку прибора к работе, получение данных измерений в режиме близком к реальному времени и возможность оперативного управления прибором во время выполнения миссии. Ориентируясь на эти требования, в ИОРАН

ведется разработка унифицированного электронного ядра и комплекса программного обеспечения, образующих вместе единую платформу для создания ряда автоматических зондов-профилографов, использующих для своего перемещения электромеханический привод со шкивом, подводную лебедку, и балластную систему переменного объема на подобие поплавка ARGO или глайдера. Первым устройством, в котором в полной мере реализован потенциал этой технологии, является привязной зонд-профилограф с подводной лебедкой «Винчи» [1].

Аппаратно-программная платформа состоит из пяти компонентов:

- электронного ядра управляющей системы зонда,
- встроенной программы электронного ядра,
- приложения оператора зонда для персонального компьютера,
- сетевого сервиса с набором серверных программ-препроцессоров,
- web-интерфейса для доступа к данным и оперативному управлению активными приборами.

Электронное ядро, управляющее «Винчи», основано на производительном микроконтроллере общего назначения STM32F427, и предоставляет широкий выбор интерфейсов для подключения периферийных устройств: до 5 двигателей постоянного тока, 4 последовательных порта стандарта RS-232, 4 порта для аналоговых датчиков, две шины I<sup>2</sup>C, средства беспроводной связи стандартов Bluetooth и LTE/GSM, накопитель данных формата microSD и других [2].

Встроенное программное обеспечение электронного ядра написано на языке C++, использует операционную систему реального времени FreeRTOS. Оно построено по принципу модульного фреймворка для того, чтобы предоставлять разработчику готовый каркас многопоточной программы, в которой уже реализован весь низкоуровневый функционал. Это позволяет сократить требуемое время для модификаций встроенной программы управления зондом-профилографом и разработки новых программ для приборов других типов, основанных на этом электронном ядре. Примером может служить разрабатываемый зонд-профилограф с гидравлической системой изменения собственной плавучести [3].

Структуру фреймворка образуют модули, в которых собраны общие для зондов-профилографов функции, такие как:

- управление питанием,
- работа с накопителем данных,
- работа со встроенными датчиками,
- управление движением, модуль передачи данных,
- работа с внешними измерительными инструментами,
- работа по расписанию,
- конфигурирование системы,

Верхнеуровневая логика функционирования прибора содержится в главном логическом модуле. С точки зрения разработчика модули представляют собой абстрактные классы C++, которые необходимо расширить специфическими для прибора функциями.

В рамках платформы определен ряд двоичных форматов файлов и сетевых протоколов уровня приложения, обеспечивающих гибкую поддержку эффективного хранения и передачи широкого спектра данных для существующих и будущих приборов. Отдельное внимание при их проектировании было уделено средствам обеспечения целостности данных, для чего интенсивно применяется алгоритм расчета контрольных сумм CRC32. И протоколы, и форматы файлов предусматривают возможность расширения в будущем без потери обратной совместимости. Так, например, в протоколе передачи данных потребовалось расширить формат пакета базовой телеметрии, чтобы в первую очередь передать по каналу связи краткий профиль измеренных параметров водной среды низкого разрешения. Такая доработка потребовалась по результатам морских испытаний, когда выяснилось, что при значительном по скорости течении удерживать «Винчи» на поверхности моря весь отведенный на передачу данных интервал времени не целесообразно с точки зрения энергоэффективности и безопасности. Теперь, в неблагоприятных условиях, «Винчи» запрограммирован на передачу порции минимально необходимых для успеха задания данных, после чего может быстро скрыться под водой.

Для поддержки оперативной передачи данных и управления активными зондами разработан сетевой сервис, постоянно работающий на сервере, который принимает входящие соединения. Несмотря на то, что изначально он был создан конкретно для работы с зондами-профилографами, возможности сервиса оказались пригодны и для устройств иного класса, таких как, например, сторожевые маяки [4].

Сетевой сервис обеспечивает прием до 5000 одновременных входящих соединений, валидацию поступающих данных, их декодирование и сохранение в структурированном специальном образом разделе файловой системы сервера. Полученные данные автоматически обрабатываются программами-препроцессорами, которые распаковывают данные, преобразуют их в формат CSV и собирают готовые к скачиванию наборы файлов в архивы формата ZIP.

Для формирования управляющих команд, с помощью которых осуществляется оперативное управление активными зондами применяется специальная серверная программа-генератор командных файлов. Во время сеанса связи с прибором, сетевой сервис проверяет наличие таких файлов и отправляет их, строго контролируя подтверждения о получении.

Чтобы предоставить пользователям современный, удобный и безопасный способ взаимодействия с активными зондами разработан web-интерфейс, поддерживающий аутентификацию пользователей для разграничения прав доступа, позволяющий просматривать и скачивать полученные данные, а также отправлять зондам команды управления.

Для диагностики, обслуживания и программирования зондов-профилографов создано приложение для персонального компьютера с удобным графическим интерфейсом, что, благодаря беспроводному соединению, значительно упрощает операции обслуживания и развертывания приборов.

Зонды-профилографы интенсивно испытываются в подмосковном озере Глубокое (на базе ИПЭЭ РАН) и на черноморском полигоне «Геленджик» (на базе ЮО ИО РАН) [5]. В ходе проведенных постановок подтверждены заявленные характеристики аппаратуры и программ, и сформулированы шаги, необходимые для дальнейшего развития. Работа выполнена по теме государственного задания № FMWE-2021-0010.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ostrovskii A.G. et al. Automated tethered profiler for hydrophysical and bio-optical measurements in the Black Sea carbon observational site // *Journal of Marine Science and Engineering*. - 2022. - V. 10. - P. 322. DOI: 10.3390/jmse10030322
2. О. Ю. Кочетов и др. Унифицированная аппаратно-программная платформа системы управления автономных подводных профилирующих аппаратов // *Подводные исследования и робототехника*. – 2018. – № 1(25). – С. 59-66.
3. А. Г. Островский и др. Автоматический подледный зонд // *Океанология*. – 2020. – Т. 60. – № 6. – С. 978-986. – DOI 10.31857/S0030157420060106
4. О.Ю. Кочетов и др. Новый поисковый маяк для автономных донных станций / *Материалы XVIII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2023)*. – М.: ИОРАН, 2022 (настоящий сборник).
5. Д.А. Швоев и др. Особенности конструкции и технические характеристики автоматического подводного зонда-профилографа «Винчи» / *Материалы XVIII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2023)*. – М.: ИОРАН, 2022 (настоящий сборник).

УДК 551.46.079

## НОВЫЙ ПОИСКОВЫЙ МАЯК ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ДОННЫХ СТАНЦИЙ

**Кочетов О.Ю.<sup>1</sup>, Швоев Д.А.<sup>1</sup>, Волков С.В.<sup>1</sup>, Островский А.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский просп., д. 36, 8(499)124-72-90, ok@noiselab.ru*

### A NEW RECOVERY BEACON FOR AUTONOMOUS MOORED STATIONS

Kochetov O.Y.<sup>1</sup>, Shvov D.A.<sup>1</sup>, Volkov S.V.<sup>1</sup>, Ostrovskii A.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences,  
36 Nakhimovsky Prosp., Moscow 117997, Russia*

Представлены конструкция, принцип действия и основные характеристики нового поискового маяка, предназначенного для повышения безопасности длительных постановок и обнаружения заякоренных донных станций.

The design, principle of operation and main characteristics of the new recovery beacons developed to ensure the safety of the ocean moorings are presented.

Длительные постановки донных станций всегда сопряжены с риском потери оборудования. Причины могут быть самые различные: от ошибок, допущенных при монтаже, до воздействия внешних неконтролируемых факторов, например, шторма или зацепления тралом рыболовецкого судна. Довольно распространенной практикой увеличения безопасности донных станций является применение гидроакустических ответчиков, облегчающих поиск и контроль находящегося под водой оборудования [1], но они работают только в подводном положении. Как правило, для заякоренных станций применяется схема постановки оборудования с использованием гидроакустического размыкателя, когда вся возвращаемая часть оборудования имеет значительную положительную плавучесть [2]. Поэтому, в случае незапланированного отсоединения удерживающего донного груза, станция поднимается к поверхности, где может быть отнесена течением на значительное расстояние или выловлена случайным

судном. В большинстве случаев это равнозначно безвозвратной потере дорогостоящего оборудования и накопленных данных.

Чтобы снизить риски потери оборудования в случае подобных нештатных ситуаций в Институте океанологии РАН разрабатывается компактный автоматический поисковый маяк, оснащенный аппаратно-программными средствами геолокации и беспроводной связи, для использования в постановках буковых и донных станций. В ходе разработки было выполнено проектирование корпуса и комплекта электроники, создано программное обеспечение и изготовлены опытные образцы поисковых маяков для проведения испытаний.

Маяк размещен в цилиндрическом корпусе с проточками для удобства крепления к оборудованию донной станции. Корпус маяка разборный, изготовлен из полиацетала и рассчитан на рабочую глубину 300 м. На верхнем торце корпуса расположен прозрачный колпак проблескового маяка, огражденный пластиковой защитой (Рис. 1.)

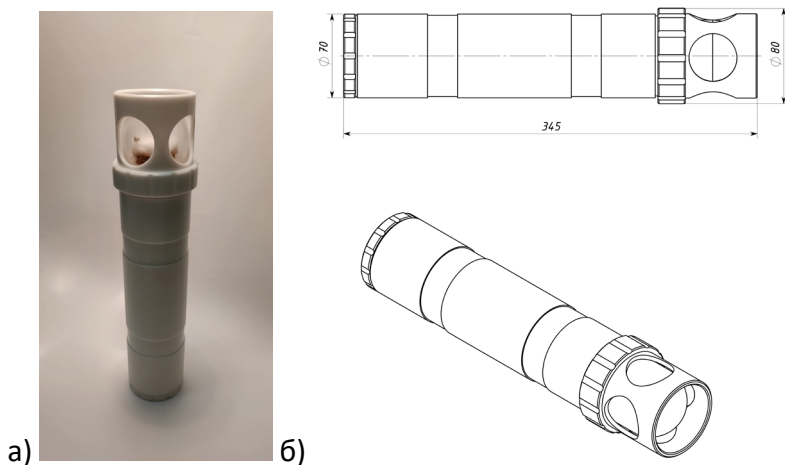


Рис. 1. а) внешний вид поискового маяка в сборе, б) чертеж корпуса

Питание маяка осуществляется четырьмя литий-ионными аккумуляторами типоразмера 21700, суммарной емкостью 58.4 Вт/ч.

Электроника основана на энергоэффективном микроконтроллере STM32F103RET6, комбинированном модуле беспроводной связи и геопозиционирования (LTE+GNSS) Quectel UC20 и датчике давления PC20 с цифровым интерфейсом собственной разработки. Для светового сигнала используются светодиоды белого и красного цвета, которые включаются попеременно.



Встроенное программное обеспечение реализует следующий алгоритм:

- 1) При включении питания устройство переходит в режим подготовки к работе: активирует проблесковый маяк в режиме редких вспышек, немедленно предпринимает попытку определить свои географические координаты и установить связь с удаленным сервером через сеть сотовой связи. Через 30 минут попытка определения координат и передачи информации повторяется. При установлении связи, можно передать с сервера команду перехода в режим ожидания на заданный интервал времени для экономии энергии, тогда проблесковый маяк будет выключен, а попытки определения местоположения и связи прекращены. В режиме подготовки или ожидания маяк один раз в 5 минут производит измерение внешнего давления для определения своего положения относительно поверхности воды (надводного или подводного).
- 2) Как только внешнее давление превысит пороговое значение в 5 дбар, прибор активирует сторожевой режим. В этом режиме процессор отключает все потребляющие электроэнергию устройства и переходит в состояние самого глубокого «сна». Через определенный интервал времени он просыпается и проводит измерение внешнего давления. Если давление превышает 5 дбар, то процессор снова засыпает. При этом интервал между измерениями зависит от величины давления: чем глубже находится прибор, тем длительнее интервалы сна.
- 3) Как только процессор определит, что внешнее давление упало ниже величины, соответствующей 5 метрам глубины, устройство переходит в режим оповещения: включает проблесковый сигнал, и начинает попытки определить свои географические координаты и установить связь для передачи сообщения о своем местоположении.
- 4) Если установить связь удастся, поисковый маяк отправляет сообщение, которое содержит информацию о текущих географических координатах и оценку оставшегося заряда батареи. В ответ маяк может получить от сервера управляющие команды на включение/выключение проблеска и изменение временного интервала отправки сообщений.

Связь с прибором обеспечивает комплект серверного программного обеспечения, которое состоит из сетевой службы, разработанной по проекту аппаратно-программной платформы автоматических подводных зондов-профилографов[3], и набора специализированных утилит для генерирования команд управления и предварительной обработки поступающих данных.

Взаимодействие с потребителем осуществляется посредством web-интерфейса, который используется для регистрации пользователей и разграничения прав доступа, а также приложения для смартфона или планшета с функцией телефона (Рис.2), которое оперативно информирует о поступивших сообщениях, предоставляет информацию о географических координатах и состоянии активных маяков и позволяет формировать команды управления ими.

В настоящее время ведется подготовка к натурным испытаниям устройства на полигоне «Геленджик» ЮО ИОРАН. Работа выполняется по теме государственного задания № FMWE-2021-0010.

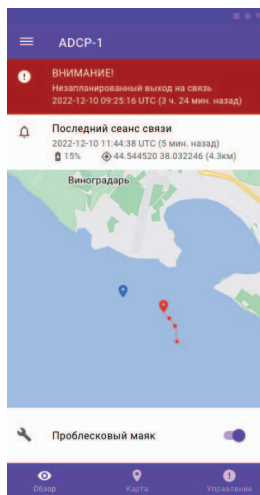


Рис. 2. Прототип приложения для смартфона

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Демидова Т.А. и др. Цифровая система пингерного контроля глубоководных приборов. // Сборник трудов XIII Международной конференции. «Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2013)»: Том I. - Институт океанологии РАН. – Москва. - 2013. – С. 158-162.
2. Островский А.Г. и др. Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции // Океанология. -2013. - Т. 53. - № 2. - С. 259–268.
3. Кочетов О.Ю. и др. Разработка аппаратно-программной платформы автоматических подводных зондов-профилографов / Материалы XVIII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2023). – М.: ИОРАН, 2022 (настоящий сборник).

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНУТРЕННИХ СОЛИТОНОВ В МОРЕ НА ЛЕЖАЩУЮ НА ДНЕ АНТЕННУ ГИДРОФОНОВ**

**Серебряный А.Н.<sup>1,2</sup>, Lynch J.<sup>3</sup>, Newhall A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-59-96,  
serebryany@hotmail.com*

<sup>2</sup>*АО "Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева"  
ул. Шверника, д. 4, 117036, г. Москва*

<sup>3</sup>*Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543, USA*

Обсуждается необычный эффект интенсивных внутренних волн, имевший место во время эксперимента Shallow Water 2006. Гидрофоны лежащей на дне горизонтальной антенны регистрировали сильные шумы в виде всплесков в моменты прохода над ней пакета интенсивных внутренних волн. Было выявлено, что этот шумовой грохот был вызван последовательным сдвигом по дну гидрофонов антенны из-за сильных орбитальных течений отдельных внутренних волн. Этот квазиакустический эффект, мешавший проведению эксперимента, оказалось возможно использовать для определения скорости распространения внутренних волн.

An unusual effect of intense internal waves that occurred during the Shallow Water 2006 experiment is discussed. The hydrophones of a horizontal antenna lying on the bottom recorded strong noises in the form of bursts at the moments of passage of a packet of intense internal waves over the antenna. It was found that the noise rumble was caused by a successive shift along the bottom of the antenna hydrophones due to strong orbital currents of individual internal waves. This quasi-acoustic effect, which interfered with the experiment, turned out to be possible to use to determine the propagation velocity of internal waves.

В августе-сентябре 2006 г на Атлантическом шельфе США был проведен широкомасштабный эксперимент "Shallow Water 2006", основной целью которого было изучение влияния внутренних волн на распространение звука в условиях мелкого моря [1]. В результате проведенных измерений был собран богатый материал, как по

распространению акустических сигналов, так и по полю внутренних волн на шельфе и его изменчивости. В эксперименте были установлены вертикальная и горизонтальная антенны гидрофонов. Горизонтальная антенна гидрофонов состояла из 32 единиц, расположенных на расстоянии от 3 м до 468 м от вертикальной антенны. Горизонтальная антенна гидрофонов лежала на дне в виде прямой линии, ориентированной строго на север. Расстояние между соседними гидрофонами в донной антенне было 15 м. Во время эксперимента был обнаружен необычный эффект с появлением на спектрограммах донных гидрофонов всплесков широкополосных сигналов. Причем этот эффект появлялся при проходе над антенной цугов солитноподобных внутренних волн больших амплитуд (см. рис. 1), которые появлялись каждые 12 ч вследствие нелинейной трансформации выходящих на шельф внутренних приливов.

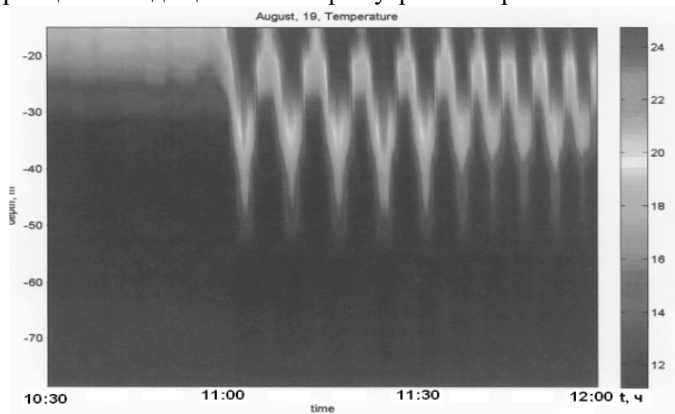


Рис. 1. Цуг солитноподобных внутренних волн с высотами до 20-25 м от 19 августа.

При более детальном рассмотрении было установлено, что придонный грохот появляется в моменты прохода над гидрофоном подошвы внутренней волны, т.е. тогда когда горизонтальные составляющие орбитальных течений волны максимальны (см. рис. 2). Орбитальные течения головных волн рассматриваемого нами цуга, по данным ADCP, в придонном слое достигают величины 0.5 м/с и более. Вертикальные скорости волн достигают 0.2 м/с. Это очень большие величины, что еще раз подтверждает нелинейный характер наблюдаемых волн.

Направление распространения внутренних волн во многих случаях можно было определить по полученным космическим

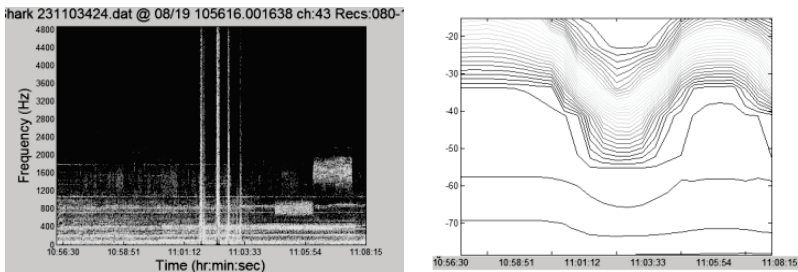


Рис. 2. Спектрограммы для первой внутренней волны цуга 19 августа (слева) и синхронная запись, вызванных ею смещения изотерм (справа). Измерения внутренних волн велись вертикальной термогирляндой.

снимкам. Волны двигались, как правило, на северо-запад (среднее направление распространения около  $300^{\circ}\text{N}$ ) широким фронтом. Проследим за придонным шумом на протяжении длины всей донной антенны. На рис. 3 представлен набор спектрограмм для гидрофонов горизонтальной антенны для периода времени 11ч 01мин 15 с - 11ч 06 мин 00 с. По сути, мы смотрим на последовательное воздействие головной волны цуга на все гидрофоны горизонтальной антенны. Спектрограммы на рисунке располагаются последовательно сверху вниз от начала антенны до ее хвоста, удаленного на расстоянии 468 м. При последовательном просмотре спектрограмм хорошо заметен временной сдвиг вступления первого «спайка» на каждом из гидрофонов антенны. Заметны и другие особенности. Интенсивность «спайков» на краях антенны существенно ниже, чем в центральной части. Также изменяется их количество: по краям антенны их 2-3, а в середине – до 10-12. Между каналами №45 и №16 сдвиг во времени составил около 2 мин. Естественно предположить, что проходящая над антенной внутренняя волна, последовательно минуя лежащие на дне гидрофоны антенны, создает шумовые эффекты со сдвигом во времени, обусловленным скоростью ее распространения. Сделаем оценку скорости распространения волны по данным горизонтальной антенны гидрофонов, принимая во внимание направление распространения внутренних волн, взятое из радиолокационных снимков (рис. 3). Получаем скорость внутренней волны около 1 м/с.

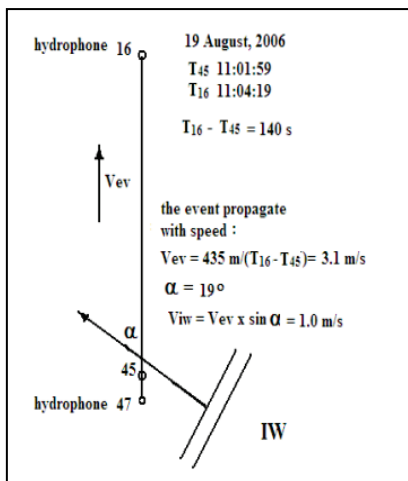
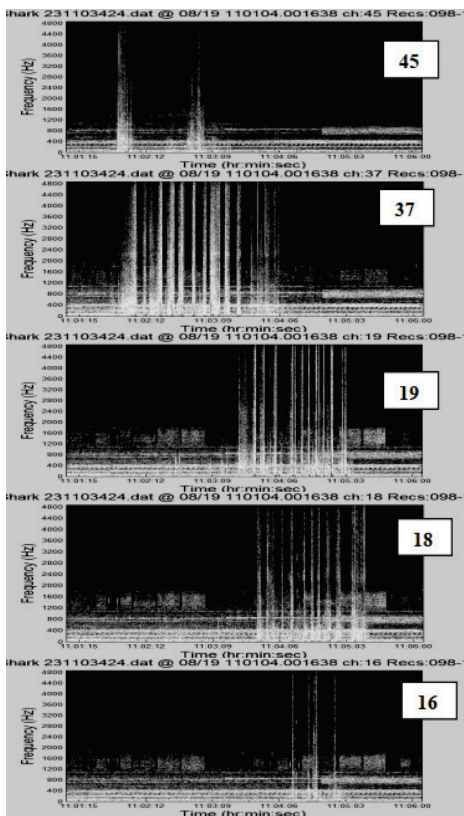


Рис. 3. Последовательность спектрограмм акустических сигналов, зарегистрированных гидрофонами горизонтальной антенны.

Работа была выполнена при поддержке ONR, а также на последнем этапе для А.Н.С. в рамках темы госадаания Минобрнауки РФ № FMWE-2021-0010.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Newhall, A. Acoustic and oceanographic observations and configuration information for the WHOI moorings from the SW06 Experiment / Newhall A., Duda T., Heydt K., et al. // Woods Hole Oceanographic Institution, Technical Report. WHOI-2007-04, 2007. – 116 p.

УДК 551.46.083

## **ПОДВОДНАЯ СТАНЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВОДНОЙ ТОЛЩИ И ЕЕ МОДЕРНИЗАЦИЯ.**

**Баранов В.И., Очередник В.В., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Машура В.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия, 117997, г. Москва,  
Нахимовский проспект, д.36, тел. +7-900-243-3426 [baranovvlad@mail.ru](mailto:baranovvlad@mail.ru)  
[zatsepin@ocean.ru](mailto:zatsepin@ocean.ru).*

## **UNDERWATER STATION FOR VERTICAL SOUNDING OF THE WATER COLUMN AND ITS MODERNIZATION**

Baranov V.I. Ocherednik V.V. Zatsepin A.G. Kuklev S.B. Mashura V.V.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences  
36, Nakhimovskiy prospect, Moscow, 117997, Russia.*

Подводная станция, состоящая из донной лебедки и измерительного посыльного зонда, расположена на дне Черного моря. Станция имеет связь с береговым центром по оптоволоконной линии и проводит измерения гидрофизических параметров толщи воды с передачей данных в он-лайн режиме.

An underwater station, consisting of a bottom winch and a measuring sounding probe, is located on the bottom of the Black Sea. The station is connected to the coastal center via a fiber-optic line and provide measurements of hydrophysical parameters in the water column with online data transmission.

В прибрежной зоне Черного моря в районе г. Геленджика на базе Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН в 2011-2013 гг. был развернут постоянно действующий полигон (Полигон «Геленджик», <http://polygon.ocean.ru/index.php>), предназначенный для исследования и мониторинга состояния водной среды и биоты [Зацепин А.Г. и др.]. Основу Полигона составляют автономные заякоренные и донные станции, работающие в автоматическом режиме. Некоторые из них оборудованы системами он-лайн передачи данных потребителю. Перспективной задачей является обеспечение всех автономных станций

такими системами с тем, чтобы полигон стал наблюдательным сегментом оперативной океанографии Черного моря.

Сейчас всё больше используются подводные резидентные системы (ПРС) – это объединение взаимосвязанных морских робототехнических комплексов (РТК), способных большую часть рабочего цикла автономно выполнять поставленную задачу. При этом ПРС является объектом целостной сетевцентрической системы, осуществляющей взаимодействие различных элементов внутренней инфраструктуры: донных станций (измерения, связь, зарядка, сменный инструмент) [4].

Одной из составляющих оперативной океанографии на Полигоне является примером ПРС многофункциональный измерительный комплекс, включающий в себя донную мультимодемную станцию, подключенную к береговому центру сбора информации с помощью оптоволоконного кабеля [2]. Станция расположена в километре от берега на глубине 25 метров и к ней можно одновременно подключить до восьми различных приборов, работающих в он-лайн режиме. В числе этих приборов – термокосы и донный ADCP.

В 2019 к ней был подключен новый прибор, который в автоматическом режиме может производить измерения гидрофизических параметров всего водного столба от поверхности моря и практически до его дна, передавая при этом результаты измерений в береговой центр. Этот прибор – автоматическая станция вертикального зондирования водной среды, созданная на основе донной лебедки (рис. 1). Макет станции разработан в 2018 г. и с тех пор неоднократно модернизировался.

В состав станции входят следующие узлы: донная лебедка, предназначенная для подъема и опускания посыльного зонда на гибком прочном кабеле; сам посыльный зонд с датчиками, обладающий положительной плавучестью; блок электроники, управляющий лебедкой и осуществляющий сбор, хранение и передачу данных измерений по каналу связи мультимодемной станции.

В конструкцию лебедки включен неподвижный однорядный барабан, вокруг которого ходит «водило», которое сматывает и наматывает на него тонкий, но прочный электрический кабель. Применение неподвижного барабана позволило отказаться от самой дорогостоящей детали электрической лебедки – вертлюга-коллектора (токосъемника), который нелегко производить. К тому же, он ненадежен при эксплуатации в морской воде. Используемый кабель – мягкий, внутри он упрочнен кевларовыми жилами и его разрывное усилие – до 200 кг. По этому кабелю осуществляется питание посыльного зонда и передача данных измерений в электронный блок лебедки, далее – на мультимодемную станцию, а оттуда – в береговой информационный центр по оптоволоконному кабелю.



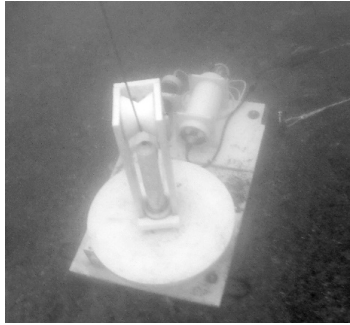


Рисунок 1. Подводная станция для автоматического вертикального зондирования толщи вод на дне Черного моря.

На данный момент посыльный зонд измеряет всего два параметра: температуру и давление. Но и по этим параметрам имеется возможность отслеживать динамику вод в районе постановки станции, определять интенсивность их вертикального перемешивания при шторме, скорость прогрева и охлаждения, наблюдать апвеллинги и даунвеллинги и связывать их со скоростью и направлением течения, а также с ветровым воздействием [3]. Данные, получаемые с донной лебедки, могут ассимилироваться в численных гидродинамических моделях. По измерениям гидростатического давления есть возможность оценивать характеристики поверхностного волнения: амплитуду и длину волны, ее период.

На данный момент практически используется первый макет станции, подвергнутый определенной модернизации. Так, к примеру, было установлено, что во время шторма, при подходе посыльного зонда к поверхности моря, происходит периодическое ослабление натяжения кабеля. Во избежание «закусывания» кабеля выпускным устройством был установлен специальный натяжитель, устраняющий этот дефект. Усовершенствована также электронная система слежения за работой лебедки и получением данных об измеряемых параметрах.

В настоящее время разрабатывается новый посыльный мультипараметрический зонд, который будет измерять семь параметров морской воды, а именно: давление, температуру, электропроводность, скорость звука, подводную освещенность, флуоресценцию хлорофилла «а», мутность.

Кроме того, ведется работа над созданием нового макета донной лебедки с многорядным барабаном. Это даст возможность уменьшить энергозатраты на движение посыльного зонда, и увеличит запас кабеля на барабане приблизительно в шесть – семь раз (рис 2).

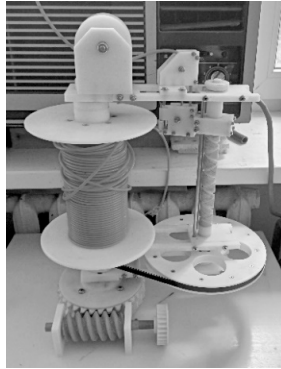


Рисунок 2. Новый макет подводной станции вертикального зондирования толщи вод с многорядным не вращающимся барабаном.

Для такой лебедки понадобился тросоукладчик, который был изготовлен из композитных материалов.

Работы были проведены в рамках государственного задания FMWE-2021-0013.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Зацепин А.Г., Баранов В.И., Дивинский Б.В. и др. Развитие методов и средств прибрежной оперативной океанографии на базе полигона «Геленджик» ИО РАН на Черном море // Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации», 2019 9,10 с.

2 Баранов В.И., Зацепин А.Г., Куклев С.Б. и др. Многофункциональная система он-лайн мониторинга подводной обстановки // Сборник трудов конференции. Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2017) Москва, 16–18 мая 2017 г. 287-289 с.

3 Баранов В.И., Очередник В.В., Зацепин А.Г. и др. Первые результаты использования автоматической стационарной станции вертикального зондирования водной среды на полигоне “Геленджик” – перспективного средства прибрежной оперативной океанографии // Океанология, 2020, Т. 60, № 1, 138-145 с.

4 Занин В.Ю., Маевский А.М., Кожемякин И.В. Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии: отечественный и зарубежный опыт. Информационно-управляющие морские системы №1(17) 2020 94-102 с.

## ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ WERA

**Чуманихин Л.И.<sup>1</sup>, Либина Н.В.<sup>1</sup>, Магутин Н.Ю.<sup>2</sup>, Телегин В.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, г. Москва, Нахимовский пр-т 36, 8(499)684-30-44*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет геодезии и картографии,  
105064, Москва, Гороховский пер., 4*

<sup>3</sup>*Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения  
радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН,  
108840, Россия, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, д. 4*

[lnatvit@mail.ru](mailto:lnatvit@mail.ru)

## FEATURES INSTALLING THE WERA RADAR STATION

**Chumanihin L.I.<sup>1</sup>, Libina N.V.<sup>1</sup>, Magutin N.Y.<sup>2</sup>, Telegin V.A.<sup>3</sup>**

*Shirshov Institute of oceanology RAS,  
36 Nahimovsky prospect, Moscow, 117997 Russia,  
Moscow State University of Geodesy and Cartography,  
4 Gorohovskiy bystreet, Moscow, Russia, 105064*

*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave  
Propagation RAS,  
Russian Federation, 108840, Moscow, Troitsk, Kaluzhskoe Hwy 4*

В районе площадки установки радиолокационной системы (РЛС) коротковолнового (КВ) диапазона WERA из-за особенностей конфигурации антенной системы требуется проведение дополнительных геодезических работ для получения детальных данных о рельефе и привязке схемы размещения антенн.

In the area of the installation site of the radar system (RLS) of the short-wave (HF) band WERA, due to the configuration of the antenna system, additional geodetic work is required to obtain detailed data on the relief and referencing the antenna placement schemes.

Использование РЛС коротковолнового (КВ) диапазона длин волн для освещения состояния морской поверхности получило в настоящее время во многих странах широкое применение.

РЛС КВ диапазона используют дальнейшее распространение волн вдоль поверхности моря при настильном приповерхностном зондировании и эффекты взаимодействия поля зондирующих сигналов с неровностями морской поверхности.

Основными задачами радиолокационных наблюдений является получение с прибрежной морской поверхности данных о скорости и направлении поверхностного течения, направление и сила ветра у поверхности моря, направление распространения и средняя высота морских волн, степень волнения на удалении от берега до 200 км (в зависимости от частоты и мощности применяемой конфигурации).

Практически у нас в стране до настоящего времени проведены только фрагментарные опытные работы в этой области. Установка первой экспериментальной РЛС WERA в России планируется на участке территории «Карбонового полигона в Краснодарском крае» на базе Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Для успешного функционирования РЛС WERA должен быть выполнен ряд требований к размещению передающих и приемных антенных систем.

Передающая антенная система РЛС WERA представляет собой прямоугольную решетку, состоящую из четырех стержневых антенн, расположенных на расстоянии  $0.5\lambda$  друг от друга вдоль берега и на расстоянии  $0.15\lambda$  друг от друга поперек берега, где  $\lambda$  - длина радиоволны. Передающая антенная система должна быть удалена от приемной антенной системы на 50-200 метров [1].

Конфигурация приемной антенной системы РЛС WERA представляет собой линейную решетку. Обычно она состоит из 16 стержневых антенн в линии (но есть конфигурации 8 или 12 антенн). Расстояние между каждой антенной составляет  $0.45\lambda_{\max}$ , где длина волны  $\lambda_{\max}$  соответствует самой высокой частоте, на которой как ожидается, будет работать система. В зависимости от частоты приемная решетка может простираться от 40 до 250 метров [1, 2].

Линия размещения антенн должна располагаться как можно ближе к береговой линии, но защищена от волн и затопления. Между линией антенной решетки и берегом не должно быть металлических конструкций и электрических кабелей. Схема размещения антенн РЛС WERA показана на рис 1.

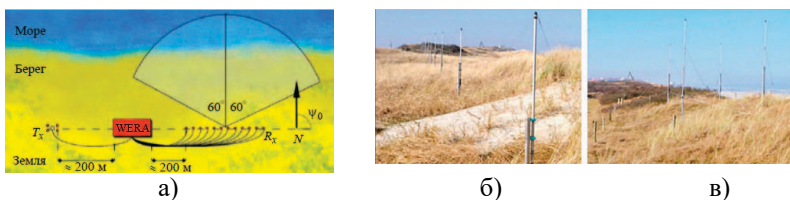


Рис.1. Антенная система РЛС WERA

а) Схема размещения РЛС WERA [3], б) приемная антенная решетка (Rx) [2]. в) передающая антенная решетка (Tx) [2].

Распределенная антенная система в виде прямой линии вызывает необходимость получения детальной информации о рельефе местности в районе размещения РЛС и геодезической привязки профиля расстановки антенных решеток и инфраструктуры обеспечивающей функционирование комплекса.

Проведенная с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) аэрофотосъемка местности камерой Phantom 4Pro позволила получить цифровую модель местности (ЦММ). В результате последующей обработки (удаление растительного покрова) была построена цифровая модель рельефа (ЦМР) территории карбонового полигона (рис. 2) [4]. Обработка ЦММ склона с густым лесным покрытием не позволяет полностью устранить влияние лесного покрова. Полученная ЦМР отвечает требованиям полигона, но по отношению к размещению РЛС WERA может рассматриваться только, как предварительная. Предполагаемый участок размещения РЛС находится на береговом склоне с существенным перепадом высот и соответственно со сложным для данной задачи рельефом.

Для получения детальной ЦМР участка размещения РЛС WERA в сложных условиях (склон с существенным перепадом высот и густой лесной растительностью) наиболее оптимальным будет применение воздушного лазерного сканирования с БПЛА. Это непосредственный метод измерений, позволяющий за счет высокой плотности сканирования “пробить” поверхностные слои (густую растительность). Для этих целей хорошо подходит универсальный дрон DJI Matrice 300 RTK с лидаром Zenmuse L1.

Планирование и проектирование схемы размещения антенн целесообразно проводить по ЦМР с использованием ГИС и САПР. Запроектированная схема размещения антенн на местности размечается при помощи геодезических разбивочных работ для расстановки штыревых антенн.

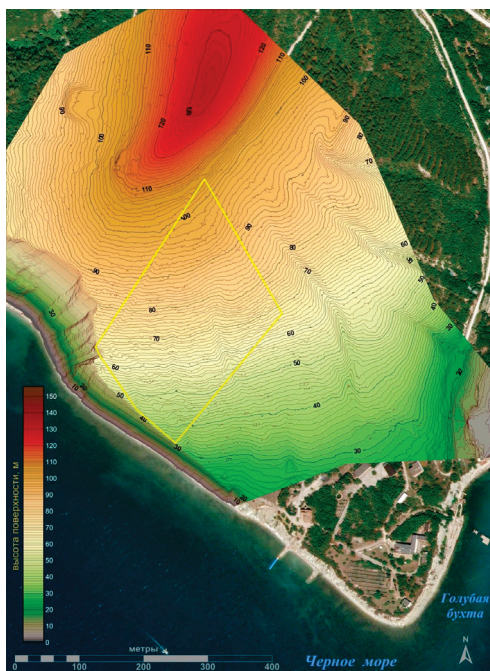


Рис. 2. Карта рельефа полигона с участком (желтый контур) планируемого размещения РЛС [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Axe P. Oceanographic applications of coastal radar. REPORT OCEANOGRAPHY № 41, 2010.
2. Mantovani C., Corgnati L., Horstmann J., Rubio A., Reyes E., Quentin C., Cosoli S., Asensio J. L., Mader J., Griffa A. (2020). Best Practices on High Frequency Radar Deployment and Operation for Ocean Current Measurement. *Frontiers in Marine Science*, 7.
3. Веремьев В.И., Кутузов В.М., Плотницкая Е.С., Коваленко В.В., Телегин В.А. Коротковолновая радиолокация в системе мониторинга прибрежных акваторий // Изв. вузов России. Радио-электроника. 2019. Т. 22, № 2. С. 31–43.
4. Куклев С.Б., Кременецкий В.В., Крыленко В.В., Руднев В.И. Цифровая модель «Карбонового полигона в Краснодарском крае» на базе ЮО ИО РАН (г. Геленджик) // Экология гидросферы. 2022. №1 (7). С. 18–28.

## ПОЗИЦИОННЫЕ АВТОНОМНЫЕ НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ В ЗАДАЧАХ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ

**Островский А.Г., Коваленко В.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, 8(499)124-72-90,  
[dshv@ocean.ru](mailto:dshv@ocean.ru)*

POSITIONAL AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES  
FOR OPERATIONAL OCEANOGRAPHY

Ostrovskii A.G., Kovalenko V.V.

*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences,  
36 Nakhimovsky Prosp., Moscow 117997, Russia*

Представлен краткий обзор японских работ по созданию виртуальных донных станций для мониторинга подводной обстановки.

This presentation concerns with a brief overview of the Japanese R&D projects for virtual moorings for underwater monitoring.

В системе оперативного мониторинга Мирового океана наиболее широко применяются два типа измерительных платформ: это заякоренные автономные буйковые станции (АБС) (<https://www.ndbc.noaa.gov/obs.shtml>) и буи-профилемеры типа Арго (<https://sio-argo.ucsd.edu/statusbig.gif>). В настоящее время функционирует около 1300 АБС, в основном у побережья Северной Америки и в тропическом поясе Тихого океана (без учета буюв предупреждения о цунами). Более равномерное покрытие Мирового океана обеспечивают работающие в режиме свободного дрейфа почти 3900 буюв-профилемеров Арго (без учета подледных буюв-профилемеров в Арктике). В дополнение к вышеуказанным техническим средствам оперативного мониторинга океана бурно развиваются автономные необитаемые подводные аппараты-планеры называемые глайдерами, оснащенные океанологическими измерительными датчиками (<https://oceanservice.noaa.gov/facts/ocean-gliders.html>).

Заякоренные АБС отличаются высокой стоимостью, как оборудования, так и эксплуатации. Буи-профилемеры типа Арго значительно дешевле в производстве и могут быть запущены с попутных судов, однако их дрейф неуправляем, и они свободно уплывают на значительные расстояния из акваторий, которые могут представлять наибольший интерес. Глайдеры – это дорогостоящие аппараты, предназначенные для выполнения пространственных разрезов на больших расстояниях иногда порядка тысячи километров и более, поэтому риски их потери высокие. Глайдеры погружаются за счет изменения собственной плавучести и при этом перемещаются в горизонтальном направлении за счёт подъёмной силы крыльевых поверхностей. Они регулируют собственные крен и дифферент путем изменения положения центра масс, а для движения в заданном направлении используют вертикальный руль. Глайдеры передают данные измерений при всплытии на поверхность моря, как правило, по спутниковому каналу связи.

В качестве компромисса между заякоренными и мобильными наблюдательными системами была предложена концепция так называемой виртуальной донной станции, которая представляет собой автономный необитаемый подводный аппарат в виде диска [1] или глайдера [2], работающего в особом режиме. Такой аппарат базируется на дне и временами движется по сложной настильной траектории между дном и поверхностью моря, проводя измерения в толще воды. Всплывая на поверхность океана, аппарат передает данные измерений по каналу спутниковой или мобильной телефонной связи. Всплытие и погружение происходят за счет изменения собственной плавучести аппарата. Предполагалось, что такой аппарат, погружаясь и планируя, благодаря перемещению центра масс и наличию рулей может возвращаться примерно в точку базирования на морском дне. Такая виртуальная донная станция представляла собой один из методов эксплуатации глайдера, обеспечивающий сбор данных в водной толще в окрестности заданной географической точки (рис. 1). Мы будем называть такой метод позиционным мониторингом, а соответствующие подводные аппараты - позиционными автономными подводными необитаемыми аппаратами (ПАНПА). Однако типовой серийно изготавливаемый глайдер, не предназначен для эксплуатации в качестве ПАНПА, хотя такая попытка применения глайдера Slocum известна [3].

Полноразмерная модель ПАНПА в виде диска была разработана



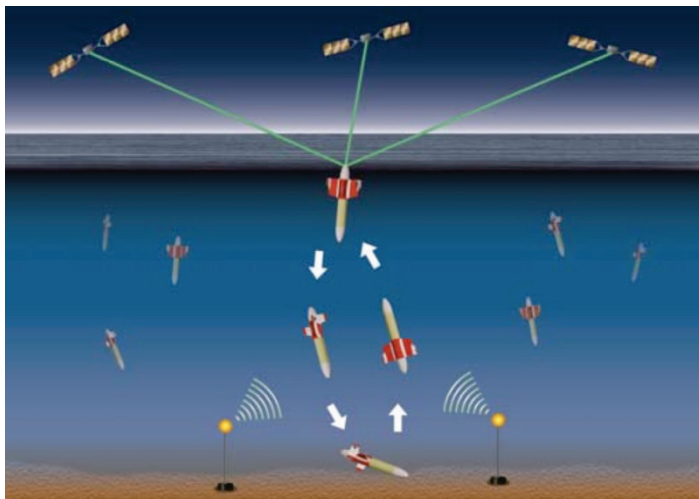


Рис. 1. Схема работы виртуальной донной станции [2]. ПАНПА базируется на дне, позиционируясь по донным гидроакустическим маякам. ПАНПА проводит измерения в толще воды при погружении и всплытии, после чего передает данные по спутниковому каналу связи.

под названием Boomerang в Японии в 2000-х годах [1]. Этот аппарат в диаметре достигал почти 2 м и имел рабочую глубину 100 м. Натурные измерения с помощью ПАНПА были проведены в 2015-2016 гг. вблизи небольшой группы островов мористее порта Нагасаки [4].

Одновременно с этим в Японии шла разработка другой ПАНПА Tsukuyomi (рис. 2), имеющего габариты примерно 2500 x 500 x 1000 мм, массой в воздухе 150 кг и предназначенного для работы на глубинах до 3000 м [2].

Эффективность использования ПАНПА Tsukuyomi во многом определялась системой плавучести. Эта система включала гидравлический поршневой насос и клапаны, а также двухходовой клапан для увеличения скорости всасывания гидравлического масла из внешней резиновой камеры в резервуар внутри прочного корпуса при погружении аппарата. Объем цилиндра насоса составлял 50 см<sup>3</sup>, время цикла всасывания - около 5-7 мин. В качестве внутреннего резервуара использовалась подпружиненная диафрагма. Объем масляного резервуара контролировался линейным потенциометром. После всплытия на морскую поверхность, в резервуаре в герметичном корпусе сбрасывалось давление, так что гидравлическое масло из камеры всасывалось в резервуар при открытии двухходового клапана.



Рис. 2. Общий вид ПАНПА Tsukuyomi [2].

На ПАНПА Tsukuyomi были установлены GPS и Iridium модемы, которые могли работать штатно в условиях морского волнения высотой до 1.5 м. При этом оперативность передачи данных зависела от времени всплытия, которое должно было быть весьма значительным из-за медленной перекачки гидравлического масла в балластной системе переменного объема со скоростью 7-10 см<sup>3</sup>/мин. Натурные испытания ПАНПА Tsukuyomi были проведены в 2011-2012 гг. [5]. Аппарат на страховочном тросе погрузился до глубины 470 м и всплыл к поверхности океана. Скорость всплытия вряд ли превышала скорость погружения, которая экспериментальным путем была определена в 0.27 м/с. В этом случае подъем аппарата с глубины 470 м составил примерно 30 мин. То есть, предположительно, задержка во времени получения информации с ПАНПА Tsukuyomi по спутниковому каналу связи могла быть в пределах нескольких десятков минут. В состав ПАНПА Tsukuyomi входил гидроакустический трансдюсер (рис. 3), что было нужно для позиционирования с помощью гидроакустических маяков и, возможно, для работы в группе аппаратов, а также для обмена данными с надводным или подводным судном управления.

В целом японские НИОКР продемонстрировали возможности мониторинга подводной обстановки с помощью ПАНПА. Однако при практической реализации в дальнейшем требуется существенная переработка концепции для ее упрощения и удешевления изделий, поскольку плотность наблюдательной сети, построенной на виртуальных

донных станциях, должна быть высокой, чтобы обеспечить эффективность всей позиционной системы мониторинга.

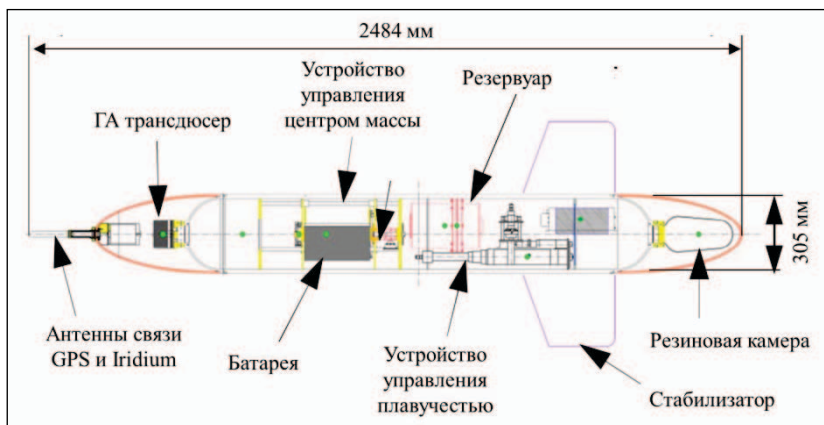


Рис. 3. Концептуальная схема ПАНПА Tsukuyomi [5].

Работа выполнена по теме госзадания № FMWE-2021-0010.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Nakamura M. et al. Disk-type underwater glider for virtual mooring and field experiment // International Journal of Offshore and Polar Engineering, - 2009, - V. 19, - No. 1, - P. 66–70.
2. Asakawa K. et al. Design concept of Tsukuyomi — Underwater glider prototype for virtual mooring / OCEANS 2011 IEEE – Spain, - 2011, -P. 1-5, doi: 10.1109/Oceans-Spain.2011.6003667.
3. Park J. J., Kim D.-Y. Vertical water velocity measurements from virtual mooring of underwater glider / 20th EGU General Assembly, EGU2018, Proceedings from the conference held 4-13 April, Vienna, Austria, - 2018, - p.19492.
4. Nakamura M. et al. Oceanographic observation by disk type underwater glider for virtual mooring / Proceedings of the 27th International Ocean and Polar Engineering Conference, San Francisco, CA, USA, 25–30 June 2017; International Society of Offshore and Polar Engineers: San Francisco, CA, USA, 2017.
5. Asakawa K. et al. Results of the first sea-test of Tsukuyomi: A prototype of underwater gliders for virtual mooring / 2012 Oceans, - 2012, - pp. 1-5, doi: 10.1109/OCEANS.2012.6404878.

**ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДВОДНОГО  
ЗОНДА-ПРОФИЛОГРАФА «ВИНЧИ»**

**Швоев Д.А.<sup>1</sup>, Островский А.Г.<sup>1</sup>, Кочетов О.Ю.<sup>1</sup>, Зацепин А.Г.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, 8(499)124-72-90,  
[dshv@ocean.ru](mailto:dshv@ocean.ru)*

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE AUTOMATED  
TETHERED PROFILER WINCHI**

**Shvoev D.A.<sup>1</sup>, Ostrovskii A.G.<sup>1</sup>, Kochetov O.Y.<sup>1</sup>, Zatsepin A.G.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences,  
36 Nakhimovsky Prosp., Moscow 117997, Russia*

Представлены новые результаты разработки автоматического привязного мобильного профилирующего аппарата Винчи для выполнения регулярных зондирований верхнего деятельного слоя моря. В 2022 г. в результате натурных испытаний подтверждены технические характеристики и проверены доработанные узлы и программное обеспечение.

This presentation concerns with the new results of the development of the automated tethered mobile profiler Winchi for applications in the upper ocean layer. The modified modules and the updated software tools of the profiler were successfully tested in field trials during 2022.

Заякоренные автоматические мобильные профилирующие аппараты известны с 1970-х годов [1]. Однако их широкое внедрение все еще ограничено. Основной недостаток этих аппаратов связан с отсутствием надежных малопотребляющих технических средств связи для передачи данных потребителям. Решение этой проблемы видится в создании автономной буйковой станции (АБС) оснащенной двумя аппаратами: глубоководным и мелководным зондами-профилографами, которые обмениваются данными, например, с помощью индуктивных модемов, а мелководный аппарат оснащен также средствами связи для обмена

данными с потребителем. Глубоководный аппарат работает ниже верхнего притопленного буя АБС, опускаясь и поднимаясь в водной толще, а мелкоководный аппарат базируется на притопленном бую и может регулярно всплывать к поверхности моря для передачи данных по радио или спутниковому каналам связи. В то время как глубоководный аппарат может быть, например, типа зонда-профилографа Аквалог [2], мелкоководный аппарат должен иметь положительную плавучесть и быть привязного типа, например, может быть оснащен лебедкой, у которой нижний конец троса соединен с притопленным буюм [3]. Мелководные зонды-профилографы также могут использоваться автономно для наблюдений в заливах, фьордах и озерах.

С 2017 г. нами разрабатывается мелкоководный привязной зонд-профилограф Винчи [4] (рис. 1). По сравнению с известным аналогом Automatic Elevator System Type 3 производства Nichiyu Giken Kogyo Co., Ltd., Япония [5], зонд-профилограф Винчи имеет небольшие габариты и меньший вес (примерно 40 кг против 200 кг), что значительно облегчает его установку в море. Однако рабочая глубина аппарата Винчи пока составляет 60 м, что меньше, чем максимальная глубина 300 м у аналога [5]. Технические характеристики аппарата Винчи приведены в таблице 1.



Рис. 1. Зонд-профилограф Винчи на испытаниях после всплытия в шельфовых водах мористее Геленджикской бухты в октябре 2022 г.

Аппарат Винчи спроектирован так, чтобы стабилизировать его положение в потоке воды. Конструктивная схема тримарана включает главный цилиндрический корпус с двумя присоединенными цилиндрическими поплавками меньшего диаметра, которые предназначены для придания остойчивости (рис. 2). Аппарат обладает положительной плавучестью и стремится поддерживать горизонтальное положение благодаря хвостовому стабилизатору и системе подвеса. В мокром отсеке главного корпуса располагается барабан электрической лебедки, на

который намотан кевларовый трос, соединенный другим концом с донным якорем или притопленным бумом. Разматывая трос с барабана, аппарат всплывает под действием собственной положительной плавучести, а наматывая трос на барабан, аппарат движется вниз к опоре, к которой привязан трос. Барабан установлен на валу, соединенном с валом электропривода, размещенного в сухом отсеке главного корпуса. Для герметизации между валом и отверстием в крышке сухого отсека главного корпуса установлено уплотнение.

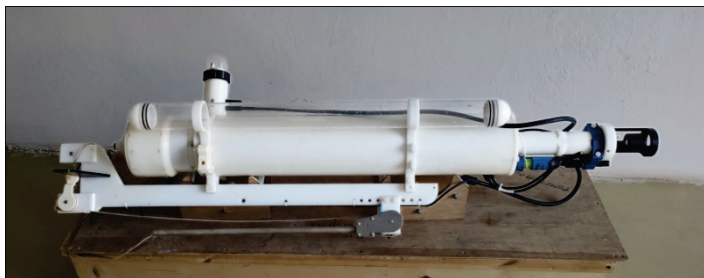


Рис. 2. Фото зонда-профилографа Винчи.

Главный корпус с оборудованием имеет небольшие габариты (примерно  $1.4 \times 0.2 \times 0.2$  м) и массу (примерно 30 кг вместе с океанологическими датчиками), что делает его удобным для постановки с небольшой лодки. Малые габариты достигнуты благодаря запатентованной конструкции лебедки с барабаном соосным цилиндрическому корпусу [3]. Аппарат смонтирован на специальном подвесе с роликами и датчиком натяжения троса.

На главном корпусе в хвостовой его части установлен поисково-коммуникационный модуль. Этот модуль включает GSM модем и радиантенну, приемник GPS/Глонасс, светодиодный маяк, а также датчик поверхности раздела вода-воздух. Помимо электропривода в сухом отсеке главного корпуса зонда-профилографа установлены: аккумуляторная батарея, микропроцессорная система управления и контроля, а также логгер океанологических измерительных датчиков. Зонд-профилограф оснащен датчиками для контактных измерений гидрофизических и биооптических параметров водной среды: электропроводности и температуры воды, давления, взмученности, флуоресценции хлорофилла-а, растворенного кислорода (табл. 1). Измерения проводятся при всплытии и погружении аппарата.

Таблица 1. Технические характеристики зонда-профилографа Винчи

Профилирование	
Скорость профилирования	0.1-0.3 м/с
Протяженность хода	25 км
Глубина места постановки	7-60 м
Скорость течения	0.3 м/с
Состояние моря	Морское волнение до 3 баллов.
Число циклов погружения /всплытия в сутки	Максимум от 100 циклов в сутки (для глубины постановки 60 м) до 200 циклов в сутки (для глубины постановки 10 м). Минимум 1 цикл/сутки.
Типичная скорость профилирования	0.2 м/с при погружении, 0.3 м/с при всплытии.
Рабочий диапазон глубин	0-60 м
Измерительные датчики	
Основные	Зонд электропроводности температуры и давления RBRconcerto C.T.D++ Logger (RBR Ltd., Канада) с флуориметром Seapoint Chlorophyll Fluorometer и турбидиметром Turbidity Meter (Seapoint Sensors, США). Датчик растворенного кислорода Oxygen Optode 4831F (Aanderaa Data Instruments AS, Норвегия)
Опциональные	Датчик фотосинтетически активной радиации (по запросу).
Позиционирование и связь	
Позиционирование	GPS/GLONASS
Связь дальняя	LTE/3G/GSM
Связь ближняя	Bluetooth
Поиск и обнаружение	Светодиодный маяк
Внутренняя память	
Тип	Карта microSD

Таблица 1. (Продолжение)

Массо-габаритные и прочностные характеристики	
Плаучесть	> 40 Н в пресной воде
Длина × ширина × высота	1620 (с RBRconcerto C.T.D++) × 520 × 360 мм
Масса в сборе в воздухе	39 кг
Максимальное давление	10 бар
Диаметр, длина и усилие до разрыва троса	2.5-3 мм, 60-70 м, > 5000 Н
Батарея	
Тип	Аккумулятор
Емкость	930 Вт час
Номинальное напряжение	24 В
Программное обеспечение [6]	
Предустановленное Графический интерфейс с функциями диагностики и программирования	Модульный фреймворк RTOS Кросс-платформенное GUI-приложение

В флуориметре Seapoint Chlorophyll Fluorometer использованы модулированные синие светодиоды и синий фильтр (для длины волны 470 нм) для возбуждения хлорофилла. Флуоресцентный свет, излучаемый хлорофиллом, проходит через красный эмиссионный фильтр (для длины волны 685 нм) и регистрируется кремниевым фотодиодом. Затем сигнал низкого уровня обрабатывается с помощью схемы синхронной демодуляции, которая генерирует выходное напряжение, пропорциональное концентрации хлорофилла. Можно установить один из четырех рабочих диапазонов датчика.

В 2022 г была проведена серия натуральных испытаний зонда-профилографа Винчи. Длительные донные постановки были выполнены на оз. Глубоком (Московская обл.) с 7 мая по 10 июня и с 15 июля по 19 августа 2022 г. За время первой и второй постановок аппарат выполнил без сбоев, соответственно, 405 и 445 циклов (вверх/вниз) профилирования до глубин 23-24 м.

Также зонд-профилограф был установлен на Полигоне «Геленджик» с 14 по 20 октября 2022 г. Выходы в море на испытания проводились на МНИС «Ашамба». Место испытаний было выбрано на траверзе Голубой (Рыбачкой) бухты в 300 м к западу от стационарной донной станции измерения профиля скорости течения ADCP ЮО ИО РАН. Средняя скорость течения,  $U$ , во время постановки составила 0.18 м/с, в 5% случаев  $U > 0.42$  м/с и в 2% случаев  $U > 0.50$  м/с. Глубина места постановки



составила 28 м. Погодные условия в ходе испытаний были нестабильными, временами ветер усиливался, а волнение моря достигало 3 баллов. За время морских испытаний аппарат выполнил 168 циклов профилирования. Было исследовано, как расходуется энергия аппаратом при погружении в зависимости от скорости течения.

Натурные испытания подтвердили технические характеристики зонда-профилографа Винчи. В частности, положительную оценку получили доработки конструкции и программного обеспечения, обеспечивающие отработку ситуаций провисания троса под воздействием волн. Доработка подвеса улучшила стабилизацию положения аппарата при погружении и всплытии. Аппарат быстро передавал данные измерений по каналу мобильной телефонной связи в оперативном режиме при каждом всплытии на поверхность воды.

Работа выполнена по теме госзадания № FMWE-2021-0010.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Carlson D.F., et al. Moored Automatic Mobile Profilers and Their Applications / G. Oren, *Advances in Marine Robotics*. – Кишинев: Lambert Academic, 2013. - С. 169–206, ISBN: 978-3-659-41689-7.
2. Островский А.Г. и др. Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции // *Океанология*. -2013. - Т. 53. - № 2. - С. 259–268.
3. Островский А. Г., Швоев Д. А. Подводный лебедочный зонд // Пат. РФ № 2642677. – Заявл. 31.01.2017. – Опубл. 25.01.2018. – Бюл. № 3.
4. Ostrovskii A.G., et al. Automated tethered profiler for hydrophysical and bio-optical measurements in the Black Sea carbon observational site // *Journal of Marine Science and Engineering*. - 2022. - V. 10. - P. 322. DOI: 10.3390/jmse10030322
5. Aracri S., et al. Trials of an autonomous profiling buoy system // *Journal of Operational Oceanography*. -2016. - V. 9. - P. s176-s184. DOI: 10.1080/1755876X.2015.1115631
6. Кочетов О.Ю. и др. Разработка аппаратно-программной платформы автоматических подводных зондов-профилографов / *Материалы XVIII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2023)*. – М.: ИОРАН, 2022 (настоящий сборник).

**ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ АКВАТОРИИ НОВОРОССИЙСКО-ГЕЛЕНДЖИК НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ С ДВОЙНЫМ ВЛОЖЕНИЕМ СЕТОК**

**Григорьев А.В.<sup>1</sup>, Кубряков А.И.<sup>2</sup>, Сенченко В.Г.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Государственный океанографический институт им. Н.Н.Зубова, Кропоткинский переулок, 6, 119034, г. Москва, +79161914867, ag-privat@mail.ru*

<sup>2</sup>*Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, +79787411145, alexander.kubryakov@mhi-ras.ru*

<sup>3</sup>*Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова, проспект Ленина, 93, 353924, г. Новороссийск, +79887628202, victor.senchenko@mail.ru*

**OPERATIONAL OCEANOLOGY OF THE NOVOROSSIYSK-GELENDZHIC WATER AREA BASED ON DOUBLE NESTING MODELS**

**Grigoriev A.V.<sup>1</sup>, Kubryakov A.I.<sup>2</sup>, Senchenko V.G.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*N.N. Zubov's State Oceanographic Institute, 6, Kropotkinskij lane, Moscow, 119034*

<sup>2</sup>*Marine Hydrophysical Institute of Russian Academy of Sciences, 2, Kapitanskaya Str, Sevastopol, 299011*

<sup>3</sup>*Admiral F.F. Ushakov State Marine University, 93, Lenin prospect, Novorossiysk, 353924*

Представлена технология моделирования прибрежной динамики вод в районе Новороссийска-Геленджика, основанной на использовании системы глобальной, региональной и локальной моделей, совмещенных методом вложенных сеток. Представлены результаты ее тестирования и практического применения.

A technology for modelling coastal water dynamics in the Novorossiysk-Gelendzhik region based on the use of a system of global, regional and local models combined with the nested grid method is presented. The test results and practical application are presented.

Схема функционирования системы прогноза динамики и термохалинной структуры вод северо-восточной области Черного моря основана на комплексе моделей, совмещенных на основе технологии вложенных сеток (рис. 1) [1].

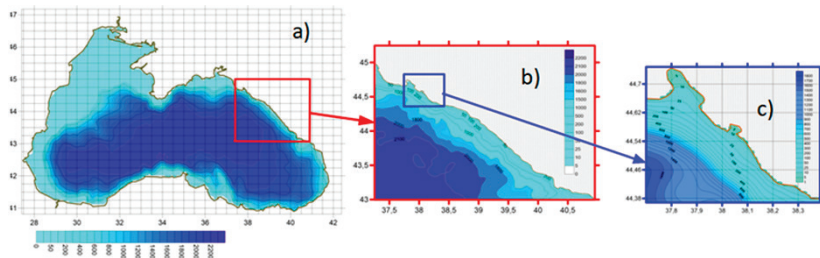


Рис. 1. Схема применения технологии двойного вложения сеток: (а) - глобальная модель Черного моря, (b) - региональная модель RuReM, (с) - локальная модель. Прямоугольниками красного и синего цвета обозначены расчетные области.

Данные для всего бассейна Черного моря (продукт BLKSEA\_ANALYSISFORECAST\_PHY\_007\_001 на основе модели NEMO, <https://www.copernicus.eu/en/copernicus-services>) обеспечивают необходимые начальные и граничные условия для региональной модели RuReM, которая, в свою очередь, передает необходимые данные в локальную модель. Региональная и локальная модели представляют собой версии модели POM (Princeton Ocean Model) [1, 2]. Атмосферное воздействие рассчитывается по региональной атмосферной модели WRF, входными данными для которой служат поля объективного анализа и прогноза GFS (Global Forecasting System, <http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>). Рельеф дна был создан на основе базы данных GEBCO (шаг исходной сетки ~1 км) посредством линейной интерполяции в узлы расчетной сетки. Горизонтальное разрешение глобальной модели составляло ~5 км, региональной ~1 км, локальной ~150 м, атмосферной ~10 км.

Результаты моделирования (локальная модель) сравнивались, в частности, с данными наблюдений над дрейфтерами в эксперименте, проведенным на полигоне «Геленджик» 26-29 июня 2022 года (ИО РАН, МГУ, ГОИН), рис. 2.

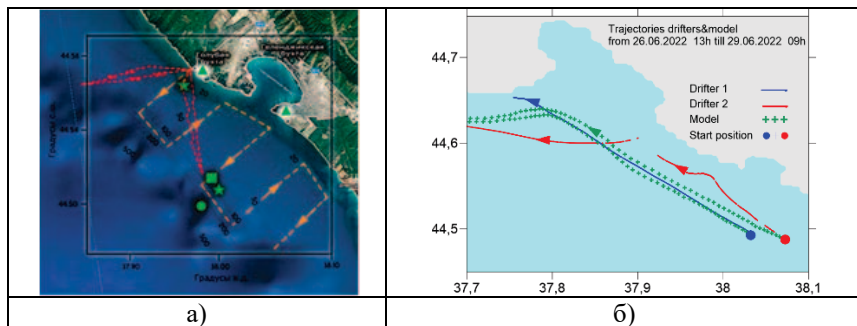


Рис. 2. а) Расположение полигона «Геленджик»; б) сравнение наблюдаемых и модельных траекторий дрейфтеров (26-29 июня 2022 г.).

Для гидрометеорологического обеспечения технологии безэкипажного судовождения [2] вывод результатов моделирования динамики вод в районе Новороссийск-Геленджик производился с временной дискретностью 3 часа, начиная с 2022 г. Расчеты показали, что созданная система моделей с двойным вложением сеток способна в оперативном режиме воспроизводить субмезомасштабную динамику вод в регионе, характеризующемуся весьма высокой пространственно-временной изменчивостью (рис. 3), в том числе наблюдаемые субмезомасштабные вихри с горизонтальными размерами  $\sim 5$  км, а также реверсивный характер прибрежных течений.

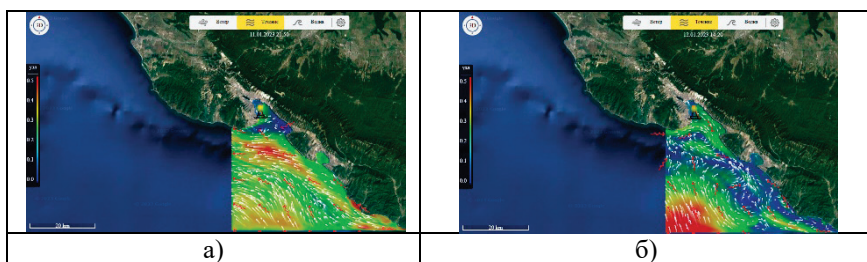


Рис. 3. Поля течений а) 11.01.2023 в 21.50 и б) 12.01.2023 в 14.20.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кубряков, А.И., Григорьев, А.В., Кубряков, В.А. Оперативный прогноз динамики вод на Черноморском подспутниковом полигоне «Геленджик» // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. - 2021. - Т. 56. - №6. - С. 642-649.

2 Сенченко, В.Г., Григорьев, А.В., Фомин, В.В., Кубряков, А.И., Дианский, Н.А., Кабатченко, И.М. Гидрометеорологическое обеспечение для автономного судовождения в порту // Морские информационно-управляющие системы. – 2022. - №1(21) - С. 70-81.

УДК 532.59

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ СУДОВОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО РАДАРА

Ежова Е.А.<sup>1,2</sup>, Гавриков А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, +7 (499) 124-59-58,  
office@ocean.ru*

<sup>2</sup> *Московский физико-технический институт (национальный  
исследовательский университет), 117303, Москва, Керченская  
ул., 1А, корп. 1, +7 (495) 408-45-54,  
info@mipt.ru*

EVALUATION OF SEA SURFACE WAVES  
USING SHIP X-BAND RADAR  
Ezhova E.A.<sup>1,2</sup>, Gavrikov A.V.<sup>2</sup>

*1 Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii Prosp., Moscow, 117997  
2 Moscow Institute of Physics and Technology (National Research  
University), 1A, Kerchenskaya st., Moscow, 117303*

В работе представлен алгоритм обработки изображений с судового радиолокационного радара для установления основных параметров волнения. Полученные по обработанным данным спектры колебаний поверхности воды и его основные статистические характеристики сравниваются с результатами измерений волномерным бумом и с данными спутниковой альтиметрии.

The paper presents an algorithm for processing radar images to determine the main wave parameters. The spectra of water surface oscillations

calculated from the processed data and compared with the results obtained by a wave buoy and satellite altimetry.

Измерение параметров ветрового волнения имеет большое значение для улучшения точности численных моделей волнения. Особенно остро стоит вопрос данных наблюдений. Если вдоль береговой линии в некоторых районах имеется покрытие волномерными буями, то в центральных областях данных фактически нет. В перспективе описанная разработка позволяет подключиться к практически любому навигационному радару и получать параметры состояния и динамики морской поверхности в автоматическом режиме.

Используемые в настоящей работе данные были собраны в рамках 63-го рейса научно-исследовательского судна «Академик Иоффе». В этой экспедиции измерения ветрового волнения проводились одновременно с помощью двух волномерных буев Spotter и приставки SeaVision, подключенной к судовому радиолокационному радару JMA-9122-6XA.

Радарные данные представляют собой набор изображений, соответствующих мощности отраженного сигнала от поверхности волнения. Исходный сигнал имеет вид зависимости плотности энергии  $S(x, y, t)$  от пространственных координат  $x, y$  и времени  $t$ . Алгоритм обработки данных основан на трехмерном преобразовании Фурье [1]. Преобразованный сигнал имеет вид  $S(\mathbf{k}, \omega)$ , где  $\mathbf{k}$  – двумерный волновой вектор,  $\omega$  – временная частота колебаний. Согласно линейной теории волн на глубокой воде [2], основная энергия колебаний поверхности должна лежать внутри кривой (рис. 1), которая описывается дисперсионным соотношением:

$$\omega^2 = gk + \mathbf{k} \cdot \mathbf{V}, \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $k = |\mathbf{k}|$  – волновое число,  $\mathbf{V}$  – скорость движения радара. При работе с волномерными буями судно находилось в дрейфе, поэтому при отсутствии течения второе слагаемое в (1) можно не учитывать.

Для оценки средней высоты трети высочайших волн  $H_s$  (значительной высоты волны) вычисляется отношение основного сигнала – энергии, лежащей возле кривой дисперсионного соотношения, в области  $\Omega$  – к шуму (Signal-to-noise ratio):

$$SNR = \frac{\iiint_{\Omega} S(k_x, k_y, \omega) dk_x dk_y d\omega}{\iiint_{\Omega} S(k_x, k_y, \omega) dk_x dk_y d\omega}. \quad (2)$$

Согласно теории, предложенной в [3], считается, что

$$H_s = A + B\sqrt{SNR}, \quad (3)$$

где  $A$  и  $B$  – некоторые коэффициенты, которые в работе устанавливаются из валидации модели по спектру, полученному буями (рис. 2, 3), и данным спутниковой альтиметрии (рис. 3).

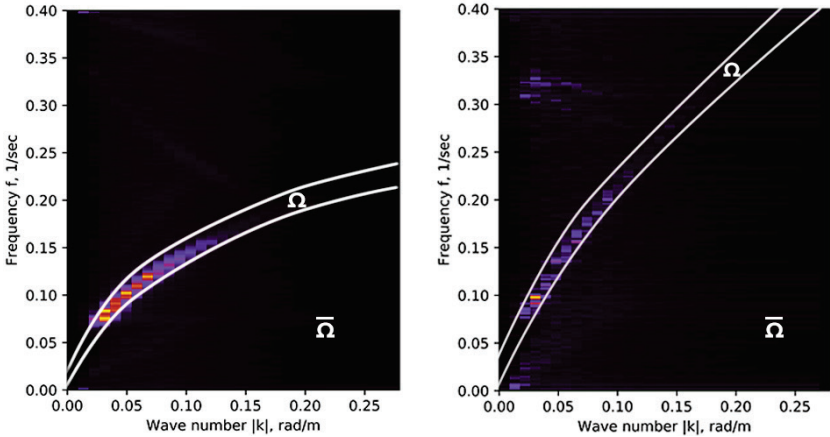


Рис. 1. Слева: плотность энергии сигнала  $S(k, \omega)$  для станции, основная доля энергии лежит в  $\Omega$  около кривой  $\omega^2 = gk$ . Справа: для измерения при скорости  $V = 4.5$  м/с, основная энергия лежит возле  $\omega^2 = gk + kV$ .

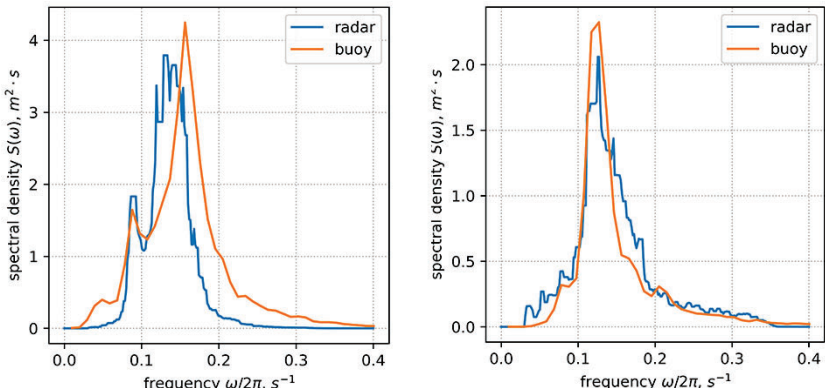


Рис. 2. Частотные спектры волнения  $S(\omega)$  для станции АИ4343 и АИ4355, полученные после обработки данных волномерного буя и судового радара

Результатом работы являются подобранные коэффициенты А и В для (3), необходимые для дальнейшей обработки данных. Для волн выше 3 метров наблюдается увеличение ошибки определения высоты волны (рис. 3), что связано с недостаточной выборкой данных для анализа высоких волн. Обработка радарных изображений сопряжена со сложностями в фильтрации сигнала от гладкой поверхности, от пены на гребнях волн и может быть затруднена в условиях дождя. Дальнейшая разработка алгоритма охватывает определение параметров длины и периода волны, направления пакета волнения и разделения волн на пакеты.

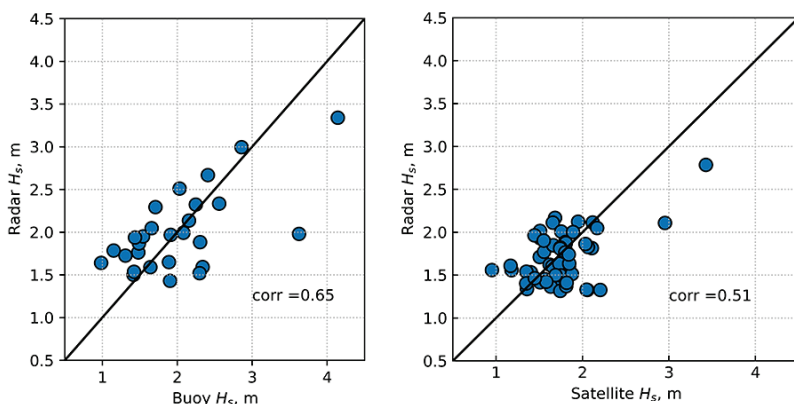


Рис. 3. Диаграммы рассеяния измеренной  $H_s$  по данным волномерного буя (слева) и альтиметрических спутников (справа) в сравнении с результатом обработки радарных данных

Работа выполнена в рамках госзадания № FMWE-2022-0002.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tilina N. et al. Wind waves in the North Atlantic from ship navigational radar: SeaVision development and its validation with the Spotter wave buoy and WaveWatch III //Earth System Science Data. – 2022. – Т. 14. – №. 8. – С. 3615-3633.
2. Young I. R. Wind generated ocean waves. – Elsevier, 1999.
3. Borge J. C. N., Reichert K., Dittmer J. Use of nautical radar as a wave monitoring instrument //Coastal Engineering. – 1999. – Т. 37. – №. 3-4. – С. 331-342.



**ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ ПРОГНОЗА ВЕТРА ВБЛИЗИ  
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ РАЗЛИЧНЫМИ МОДЕЛЯМИ  
АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ**

**Захарова Е.В.<sup>1</sup>, Ладохина Е.М.<sup>2</sup>, Попов С.К.<sup>3</sup>, Фомин В.В.<sup>1</sup>,  
Дианский Н.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Государственный океанографический институт имени Н.Н.  
Зубова, 119034, Москва, Кропоткинский переулок д.6, стр. 1,  
8 (499) 246-72-88, katezakharova33@gmail.com*

<sup>2</sup> *МикроСтеп-МИС, 199106, Санкт-Петербург, Средний проспект  
В.О., д.4, литера Б, 8 (812) 401-44-86, info.russia@microstep-mis.com*

<sup>3</sup> *Гидрометцентр России, 123376, Москва, Большой  
Предтеченский переулок, д.13, строение 1, (499) 252-34-48,  
hmc@mecom.ru*

**EVALUATION OF THE SUCCESS OF WIND FORECAST NEAR THE  
BALTIC SEA BY DIFFERENT ATMOSPHERIC CIRCULATION MODELS**  
Zakharova E.V.<sup>1</sup>, Ladokhina E.M.<sup>2</sup>, Popov S.K.<sup>3</sup>, Fomin V.V.<sup>1</sup>, Diansky N.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *N. N. Zubov's State Oceanographic Institute, 119034, Moscow,  
Kropotkiy pereulok. 6, building 1*

<sup>2</sup> *MicroStep-MIS, 199004, Saint Petersburg, Sredny prospect V.O.  
4, letter B*

<sup>3</sup> *Hydrometcenter of Russia, 123376, Moscow, Bolshoy  
Predtechenskiy pereulok 13, building 1*

В работе представлены результаты сравнения стационарных данных о ветре вблизи Балтийского моря и данных прогноза с заблаговременностью 1 сутки моделей атмосферной циркуляции GFS, COSMO-RU07, WRF, и HIRLAM в период прохождения двух штормов у Санкт-Петербурга осенью 2019 года.

The paper presents the results of a comparison of wind data from ground stations on the coast of the Baltic Sea and forecast data with a lead time of 1 day of the atmospheric circulation models GFS, COSMO-RU07 WRF, and HIRLAM during the passage of two storms near St. Petersburg in autumn 2019.

Возникновение сгонно-нагонных колебаний, которые могут приводить к существенному повышению уровня моря и наводнениям вблизи Санкт-Петербурга, часто связано с прохождением глубоких циклонов над Балтийским регионом [1]. У Санкт-Петербурга существует комплекс защитных сооружений (КЗС), способный благодаря закрытию створов предотвращать наводнения, в случае прогноза уровня моря 160 см по балтийской системе и более. Эффективность работы КЗС зависит от своевременности решений о закрытии створов, которые принимаются на основании прогнозов уровня моря моделями морской циркуляции. Успешность прогнозов в значительной степени определяется качеством метеорологических данных, главным образом скорости и направления ветра, используемых для задания атмосферного воздействия в моделях морской циркуляции. С целью выявления моделей, с наибольшей точностью воспроизводящих характеристики ветра, были рассчитаны оправдываемости прогнозов и проведен анализ статистических данных для ветров, способных внести вклад в создание штормовых ситуаций, то есть со скоростями равными и более 4 м/с.

Для оценки качества воспроизведения ветра в регионе Балтийского моря в работе проводилось сопоставление данных о скоростях и направлениях ветра на высоте 10 м за период с 01.09.2019 по 30.10.2019 гг., рассчитанных по четырем прогностическим моделям атмосферной циркуляции, а также данные с 128 станций наземных наблюдений. За рассмотренный период Северо-западным УГМС в Санкт-Петербурге дважды прогнозировалось повышение уровня до 160 см и более. Оба наводнения были предотвращены благодаря закрытию КЗС.

В работе использовались расчеты зональной и меридиональной компонент ветра один раз в сутки в срок 00 UTC с заблаговременностью 24 ч и дискретностью 3 часа следующих прогностических моделей атмосферной циркуляции:

1) глобальная спектральная полулагранжева модель GFS (Global Forecast System) с горизонтальным разрешением  $0.5 \times 0.5^\circ$  (~50 км) и 64 уровнями по вертикали; данные находятся в свободном доступе на сайте [www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/](http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/);

2) мезомасштабная региональная модель гидродинамических прогнозов погоды по европейской части России COSMO-RU07 (the Consortium for Small-scale Modelling) [2]. Размер области составляет 620x700 узлов с горизонтальным разрешением 7 км. Модель имеет 40 уровней по вертикали.

3) мезомасштабная региональная гидродинамическая модель WRF (Weather Research and Forecasting Model) [3], с размером области 329x329 узлов и с горизонтальным разрешением 10x10 км; Модель адаптирована для акватории Балтийского моря, имеет 35 неравномерно распределенных уровней

по вертикали. В качестве начальных и граничных условий использовались поля глобального атмосферного прогноза GFS с пространственным разрешением 0.25°;

4) мезомасштабная региональная модель с разрешением 7.5 км HIRLAM, описание и оперативные расчеты (до октября 2022 года) которой доступны на сайте Финского метеорологического института.

Данные моделирования сопоставлялись с данными наземных наблюдений по 127 метеорологическим станциям вокруг Балтийского моря, взятыми с сайта Национального центра климатических данных (NCDC). Сравнение осуществлялось за сроки 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC. Были рассмотрены ветры от 4 м/с и более, потому как штилевые ветры не вносят вклада в создание штормовых ситуаций.

Оценка точности воспроизведения скорости и направления ветра по каждой модели осуществлялась согласно методике из наставления по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения [4]. Прогноз по пункту считается оправдавшимся, если фактическая скорость ветра отличается от прогнозируемого значения не более чем на 2 м/с, а фактическое направление ветра – не более чем на 30 °.

Из таблицы 1 следует, что модель COSMO-RU07 обладает наиболее высокой из рассмотренных моделей средней оправдываемостью скоростей ветра выше 4 м/с для всех рассмотренных участков акватории Балтийского моря. Наименьшие значения оправдываемости скорости ветра характерны для глобальной модели GFS, пространственное разрешение которой уступает мезомасштабным моделям. Средняя оправдываемость направлений ветра при скоростях 4 м/с и более по модели COSMO-RU07 ниже на 10 % по сравнению с другими моделями на основной акватории Балтийского моря, хотя существенных различий для Финского и Ботнического залива не наблюдается.

Табл. 1 Средняя оправдываемость прогнозов скорости и направления ветра (%) для скоростей ветра от 4 м/с и более по моделям GFS, WRF, COSMO-RU07 и HIRLAM по 127 станциям вокруг Балтийского моря 1 – Финский залив; 2 – Ботнический залив; 3 – Основная акватория Балтийского моря и Датские проливы; 4 – Вся акватория

	Оправдываемость прогноза скорости ветра, %				Оправдываемость прогноза направление ветра, %			
	1	2	3	4	1	2	3	4
GFS	55.3	61.5	59.4	59.2	60.3	48.1	73.2	64.0
WRF	72.8	66.0	63.9	66.1	59.3	47.7	72.4	63.3
COSMO-RU07	73.9	69.9	70.4	70.9	57.7	46.0	62.1	56.9
Hirlam	73.3	68.8	67.8	69.1	56.1	50.0	73.3	63.7

Анализ оправдываемости прогнозов направления ветра показал, что имеется значительная пространственная неоднородность: прогнозы вблизи Ботнического залива Балтийского моря оправдываются значительно реже, чем вдоль берега основной акватории Балтийского моря и Датских проливов, однако для оправдываемости скоростей ветра такой особенности не прослеживается. Возможно, так происходит из-за особенностей расположения станций, различий рельефа местности в северной и южной части Балтийского моря.

Сравнение временных рядов скорости и направления ветра моделей GFS, WRF, COSMO-RU07, HIRLAM и данных наземных наблюдений по данным 127 станций, расположенных на побережье Балтийского моря за период 01.09-30.10.2019 гг. показало, что модель COSMO-RU07 воспроизводит скорость ветра на первые сутки прогноза с наибольшей точностью, а модель HIRLAM и WRF – направление ветра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Захарчук Е.А., Тихонова Н.А., Сухачев В.Н. О пространственной структуре и распространении волн невских наводнений // Метеорология и гидрология. 2020. № 4. С. 42-53.
2. Национальный центр прогнозирования (NCEP) <https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>.
3. Ривин Г.С., Розинкина И.А., Багров А.Н., Блинов Д.В. Мезомасштабная модель COSMO-RU07 и результаты ее оперативных испытаний // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов, 2012, № 39, с.15-48.
4. Skamarock A. Description of the Advanced Research WRF, Version 3. – NCAR Technical Notes, 2008.
5. РД 52.27.724-2019. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.

## **АВТОНОМНАЯ ДРЕЙФУЮЩАЯ ПЛАТФОРМА СБОРА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТОЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ ЗВУКА**

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

*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный  
университет», ООО «Марлин-Юг»  
299053, Севастополь, Университетская ул., 33,  
+7(8692)22-29-11, [tolstosheev@marlin-yug.com](mailto:tolstosheev@marlin-yug.com)*

В статье представлены результаты разработки и испытаний автономного дрейфующего буя, предназначенного для длительного оперативного контактного мониторинга гидрологических параметров морской среды. Обсуждаемые приборы: гидрологический дрейфтер с вычислителем солености на основе прямых измерений скорости звука.

Paper presents the results of the development and testing of an autonomous drifting buoy designed for long-term operational contact monitoring of the hydrological parameters of the marine environment. The discussed devices are: a hydrological drifter with a salinity calculator based on direct measurements of the speed of sound.

Дефицит на мировом рынке автономных дрейфующих буюв (дрейфтеров) с функцией измерения солености связан с проблемой обеспечения длительного стабильности характеристик измерителей электропроводимости в условиях их загрязнения и биологического обрастания. Существует также неопределенность, связанная с методом вычисления солености, предполагающим бинарность состава морской воды, что приводит к получению недостоверных результатов. С целью преодоления указанных противоречий коллективом авторов разрабатывается технология длительного мониторинга гидрологических и гидроакустических параметров морской среды на основе автономного гидрологического дрейфтера с измерителем скорости звука [1]. Дрейфтер ориентирован на использование в составе наблюдательных сетей в любом регионе Мирового океана, включая полярные.

С учетом существующей проблемы объективной оценки метрологических характеристик рабочих средств измерения скорости звука в воде, обусловленной отсутствием вторичных и рабочих эталонов с необходимыми показателями назначения, была разработана методика испытаний измерителя скорости звука. Методика применима для двухбазового датчика скорости звука и учитывает влияние дифракционной составляющей погрешности путем экспериментального определения эффективной длины измерительной базы. Использование характеристики преобразования с учетом эффективной длины измерительной базы, функционально зависящей от скорости звука, позволяет существенно повысить сходимость результатов измерения (рис. 1).



Рис. 1. Графики отклонений результатов измерений скорости звука без учета (пунктирная линия) и с учетом (сплошная линия) зависимости эффективной длины измерительной базы от скорости звука

Результаты вычисления солёности, рассчитанные по измеренным значениям скорости звука и температуры, сопоставлялись с данными лабораторного солемера. В качестве калибровочной жидкости использовалась вода из глубоководного района прибрежной части Черного моря. Значения солёности в диапазоне от 19 до 2 ‰ воспроизводились путем разбавления морской воды дистиллированной водой. Погрешность вычисления солёности по данным прямых измерений скорости звука и температуры находится в пределах  $\pm 0,03$  ‰.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (договор № 804ГРМИР/72640 от 26 декабря 2021 г.).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коротаяев Г.К. Наблюдения солёности морской воды по измерениям температуры и скорости звука в поверхностном слое Черного моря / Г.К. Коротаяев, А.П. Толстошеев, Е.Г. Лунев, С.В. Мотыжев, С.Ф. Пряхина // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 2022. - Т. 503. - № 2. - С. 166-171.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ  
МОРСКОГО ЛЬДА И ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОКЕАНА НА  
ОСНОВЕ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ  
НАБЛЮДЕНИЙ ЭКСПЕДИЦИИ "СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС - 41"  
2022/2023 ГГ.**

**Смоляницкий В.М.<sup>1</sup>, Данышина А.В.<sup>1</sup>, Лунев Е.Г.<sup>2</sup>,  
Мотыжев С.В.<sup>2</sup>, Ревина А.Д.<sup>1</sup>, Соколов В.Т.<sup>1</sup>, Тимофеева А.Б.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУ «Арктический и антарктический научно-  
исследовательский институт»,  
199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38,  
+7(812)337-3149, [vms@aari.aq](mailto:vms@aari.aq)

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный  
университет»/ООО «Марлин-Юг»,  
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33, +7(978)736-  
2193, [eglunev@sevsu.ru](mailto:eglunev@sevsu.ru)

PRELIMINARY RESULTS OF THE ESTIMATION OF THE OF  
THE SEA ICE AND THE NEAR-SURFACE OCEAN LAYER  
PARAMETERS BASED ON THE DRIFTING BUOYS OF THE  
DISTRIBUTED NETWORK OF THE "NORTH POLE - 41"  
EXPEDITION 2022/2023

Smolyanitsky V.M.<sup>1</sup>, Danshina A.V.<sup>1</sup>, Lunev Y.G.<sup>2</sup>,  
Motyzhev S.V.<sup>2</sup>, Sokolov V.T.<sup>1</sup>, Timofeeva A.B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arctic and Antarctic Research Institute,  
38, Bering str, Saint-Petersburg, 199397  
<sup>2</sup>SEvastopol State University / Marlyn-Yug Ltd  
33, Universitetskaya str., Sevastopol, 299053

В докладе представлены характеристики распределенной сети наблюдений на основе поверхностных дрейфующих буюв экспедиции "Северный Полюс - 41" и предварительные результаты оценки динамических и термических параметров морского льда и приповерхностного слоя океана, полученные на её основе в период осенне-зимнего сезона 2022-2023 гг.

The report presents characteristics of a distributed observation network based on the surface drifting buoys of the expedition "North Pole - 41" and preliminary results of the assessment of the dynamic and thermal parameters of sea ice and the near-surface layer of the ocean, obtained on its basis during the autumn-winter season of 2022-2023.

Авторы доклада представляют характеристики распределенной сети наблюдений (РСН) на основе ледостойких поверхностных дрейфующих буев производства ООО «Марлин-Юг», сформированной в сентябре – октябре 2022 г. в Арктическом Бассейне в пределах мезомасштабного полигона экспедиции ФГБУ «ААНИИ» «Северный полюс – 41» (с центральной точкой – ледостойкой самодвижущейся платформой НЭС «Северный полюс») и предварительные результаты оценки термодинамических параметров морского и приповерхностного слоя океана, полученные за период дрейфа РСН.

Для формирования РСН использованы барометрические буи международных стандартов iceST-B/SVP-B, термопрофилирующие буи стандартов iceBTC1.1/2/5/60/80 (термокосы длинами 110- 500 см и 60-80 м), и метеостанция icemeteo, зарекомендовавшие себя в практике научно-прикладных работ ФГБУ «ААНИИ» за последние 15 лет как надежный долговременный источник срочных гидрометеорологических наблюдений для морской Арктики.

Формирование РСН выполнено с помощью вертолета бортового базирования НЭС «Академик Трёшников» в период 25.09 – 01.10.2022 г. в виде мезомасштабного полигона с 9 узловыми точками в пределах квадрата с длиной стороны близкой к 15 км (представлен на рис.1), где установлены 15 буев указанных выше типов (от 1 до 3 буев на одну узловую точку) и 7 внешних узлов на расстояниях 50-150 км от центра в продолжение диагоналей мезомасштабного полигона, всего 22 буя.

Список измеряемых параметров включает (в скобках приведено количество точек измерения/дискретность измерения в минутах):

- атмосферное давление и его тенденцию (15/10-60);
- температуру поверхности льда/снега (15/10-60);
- вектор дрейфа льда (15/10-60);
- профиль температуры снежно-ледяного покрова (с возможностью оценки толщины льда) (6/60);
- профиль температуры приповерхностного слоя океана (с возможностью оценки теплозапаса) (6/15);
- температура воздуха (2 м) и скорость ветра (1/10).



Внешние 7 узлов РСН фактически представляют собой национальный компонент Глобальной опорной сети наблюдений (ГОСН) Всемирной метеорологической организации (ВМО) [1]. Формирование национального компонента ГОСН является одной из приоритетных задач ФГБУ «АНИИ» в рамках выполнения в 2022-2024 гг. ведомственного проекта «Модернизация и развитие гидрометеорологической сети наблюдений за состоянием окружающей среды в АЗРФ» Государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды».

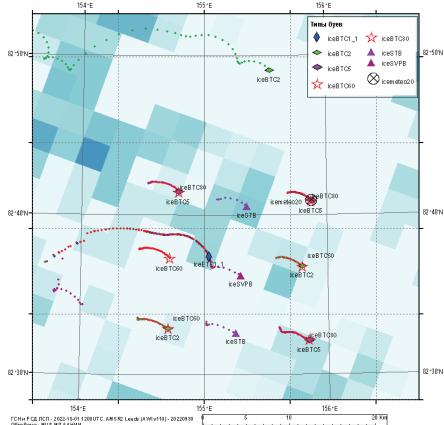


Рис. 1. Начальное расположение 15 буев в пределах мезомасштабного полигона РСН экспедиции «Северный полюс - 41» на 1.10.2022 г.

Предварительный анализ измеряемых параметров показал правомерность использованных ФГБУ «АНИИ» к формированию РСН подходов. Анализ дрейфа морского льда (рис. 2), показал изменчивость скоростей дрейфа (на основе позиционирования ГНСС) в пределах 0...30 км/сутки для мезомасштабного полигона и 0...90 км/сутки для внешнего буя РСН, приблизившегося к проливу Фрама, что значимо дополняет используемые оценки на основе микроволновых данных [2]. Полученные оценки толщин льда в пределах 70 – 300 см в целом соответствуют и уточняют оценки толщин льда, получаемые на основе альтиметрических измерения превышения льда ИСЗ Cryosat-2 [3]. Данные термопрофилирования поверхностного слоя также в целом соответствуют численным реанализам, например [4], и позволяют верифицировать информацию о таких параметрах, как распространение атлантических вод и теплозапас приповерхностного слоя.

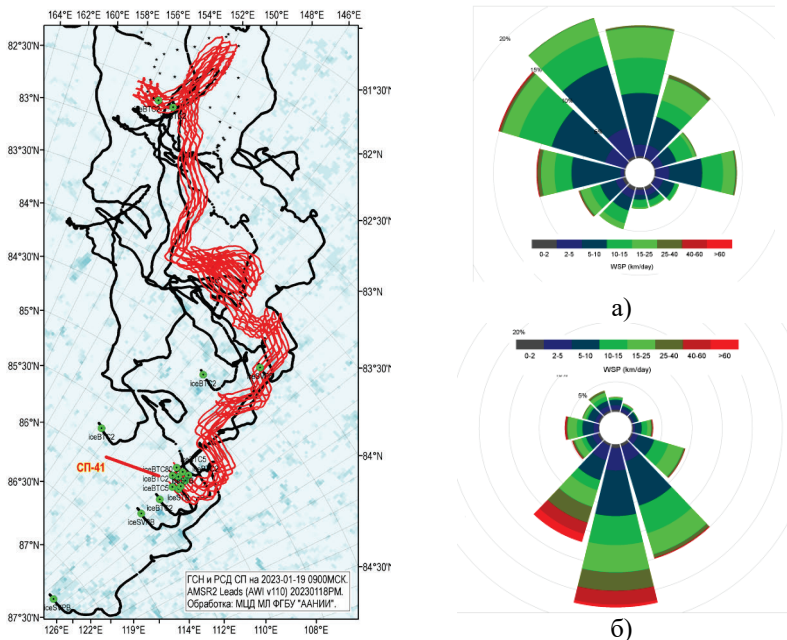


Рис. 2. Траектории дрейфа и розы распределения скоростей и направления дрейфа буев РСН на 20.01.2023.  
 а) центральная точка РСН, б) внешний буй, приблизившейся в январе 2023 г. к проливу Фрама

## ЛИТЕРАТУРА

1. Guide to the WMO Integrated Global Observing System (WMO-No. 1165). WMO; 2019 (2019 edition, updated in 2021).
2. Tschudi, M. A., Meier, W. N., and Stewart, J. S.: An enhancement to sea ice motion and age products at the National Snow and Ice Data Center (NSIDC), *The Cryosphere*, 14, 1519–1536, <https://doi.org/10.5194/tc-14-1519-2020>, 2020.
3. Смоляницкий В.М., Тюряков А.Б., Фильчук К.В., Фролов И.Е. Сравнительный анализ прямых измерений толщин льда и высот снега, наблюдений Cryosat-2 и численных оценок системы PIOMAS // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2020. Т. 66. № 3. С. 337–348. [doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-3-337-348](https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-3-337-348).
4. Copernicus Marine environment monitoring service (CMEMS). URL: <https://resources.marine.copernicus.eu>.

**ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ ПО ДАННЫМ ВИЗУАЛЬНЫХ  
НАБЛЮДЕНИЙ И ТЕЛЕВИЗИОННОГО КОМПЛЕКСА В  
ЭКСПЕДИЦИИ NABOS-2021.**

**Тимофеева А. Б.**

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Россия, 199397 Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38, Телефон: 8 (812) 337 31  
23; Факс: 8 (812) 337 32 41, [aaricoop@aari.ru](mailto:aaricoop@aari.ru)*

ICE CONDITIONS OF NAVIGATION BY VISUAL OBSERVATIONS DATA  
AND BY TELEVISION COMPLEX MONITORING IN THE NABOS-2021  
EXPEDITION.

Anna Timofeeva,

*Arctic and Antarctic Research Institute,  
Bering Str., Saint-Petersburg 199397, Russia*

В статье приводятся результаты обработки специальных судовых наблюдений за ледяным покровом в ходе экспедиции NABOS-2021 в сентябре-октябре 2021г. Дополнительно обработаны и проанализированы данные судового телевизионного комплекса (СТК).

Paper presents the results of special ship ice observations during the NABOS-2021 expedition in September-October 2021. Additionally the monitoring data series of the ship's television complex (STC) were processed and analyzed.

В сентябре-октябре 2021 года на борту НЭС "Академик Трешников" была проведена экспедиция NABOS-2021. На рис. 1 приведена предварительная и фактическая схема маршрута экспедиции. Непосредственно в ходе рейса он претерпел изменения по причине непростой ледовой обстановки.

Попутные ледовые наблюдения проводились во время всего нахождения судна во льдах в соответствии с методикой, разработанной в ААНИИ [1, 2]. Методика предполагает непрерывную фиксацию

параметров ледяного покрова с выделением зон с однородными характеристиками, такими как общая и частная сплоченность льда разной возрастной градации, преобладающие формы ледяных образований, толщина ровного льда и высота снежного покрова, торосистость и наслоенность, стадия разрушенности, интенсивность сжатия и др. Наблюдения проводятся наблюдателем с ходового мостика (рис. 2) с использованием штатных судовых приборов. Экспедиционный журнал наблюдений вошел в базу данных ледовых условий плавания в Арктическом бассейне [3].

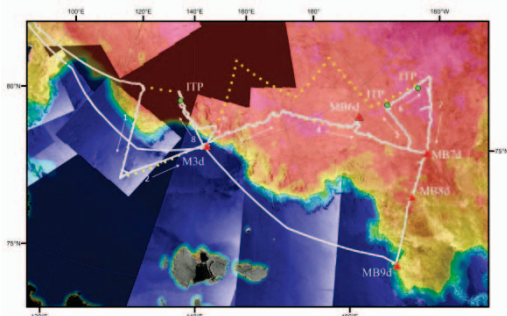


Рис. 1. – Мозаика изображений ИСЗ Sentinel-1АВ и AMSR2 за 04-06.10.2021 с предварительной схемой (желтые точки) и фактическим треком маршрута экспедиции NABOS-2021 (белая линия).

Значимость результатов визуальных наблюдений нельзя недооценить, поскольку даже спутниковая информация нуждается в верификации с натурными данными [4]. Разнообразные контактные и дистанционные методы применяются для оценки толщины льда [5]. В ходе экспедиции в дополнение к визуальным наблюдениям для получения достоверного массива данных по толщине ровного льда был организован инструментальный мониторинг ледяного покрова с помощью судового телевизионного комплекса (СТК) [6, 7]. СТК представляет собой стандартную систему видеоконтроля, адаптированную для судовых ледовых наблюдений. В ходе экспедиции внешняя ТВ камера на специальной выносной раме была установлена на спардеке судна, по средствам судовой сети камера была соединена с ноутбуком со специализированным ПО, расположенным на ходовом мостике (Рис. 3). Камера регистрирует «вывороты» льда под бортом судна, позже снимки анализируются с помощью специального ПО для определения толщины льда и высоты снега на всем протяжении маршрута ледового плавания. Объем данных, полученных при помощи ТВ-комплекса в ходе экспедиции составил 519 Гб, всего 864000 снимков.

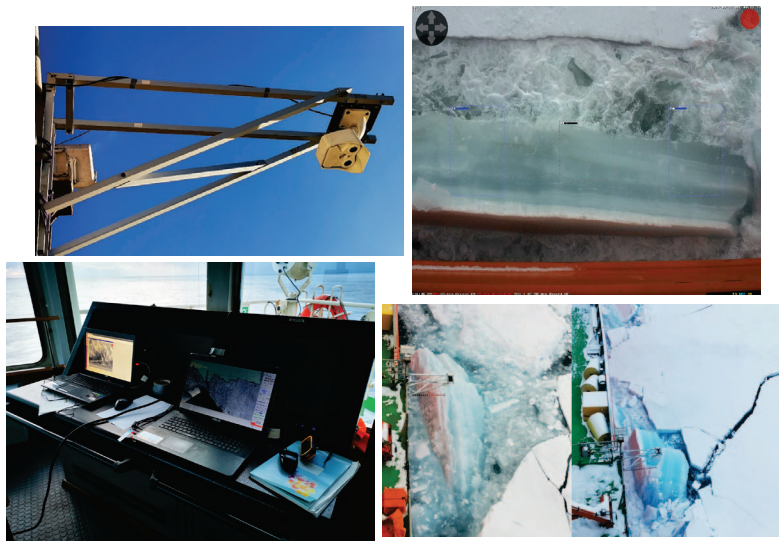


Рис. 3. – Организация работы СТК: камера наблюдения на наружной палубе и рабочее место на ходовом мостике. Пример снимка, полученного с помощью ТК. Ледовые вывороты под ледемерной рейкой и камерой СТК с точки обзора ледового наблюдателя.

В целом, 66% пути во льдах в ходе экспедиции NABOS-2021 [8] были пройдены во льду сплоченностью 10 баллов. На долю остаточных льдов пришлось 26%, молодых льдов — 38%, ниласа и начальных льдов — 36% протяженности пути. Толщина остаточного льда изменялась от 30-50 см до 160 см и выше, в торосистых образованиях свыше 300 см. На толщины остаточного льда 30-50 см и 50-70 см пришлось по 9% протяженности пути, на толщины свыше 70 см — 8% от всего маршрута судна во льдах.

Такое оборудование, как СТК может быть широко используемо, поскольку при размещении на судах, в том числе коммерческого флота, с организацией оперативной передачи данных в центр национальной ледовой службы эти сведения будут весьма полезны, в том числе для работы ледовых экспертов, производства качественных информационных продуктов [9], а также для исследования параметров ледяного покрова и накопления статистики о его прохождении судов во льдах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Наблюдения за ледовой обстановкой: Учебное пособие. – СПб.: ГУ «АНИИ», 2009. 360
2. Руководство по производству судовых специальных ледовых наблюдений. СПб.: АНИИ, 2011.
3. Фролов С. В., Макаров Е. И., Третьяков В. Ю., Сероветников С. С., Алексеева Т. А., Гришин Е. А., Пряхин С. С., Саперштейн Е. Б., Ярославцева С. И., Сергеева И. А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621801 "СТК-ЛЕД" // Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621801 "СТК-ЛЕД"
4. Alekseeva T.A., Tikhonov V.V., Frolov S.V., Raev M.D., Repina I.A., Sokolova Yu.V., Afanasieva E.V., Sharkov E.A., Serovetnikov S.S. Comparison of satellite microwave and visual shipborne data on sea ice concentration. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2019, Vol. 55, No. 9, pp. 1292-1301. DOI: 10.1134/S0001433819090032
5. Алексеева Т.А., Фролов С.В., Сероветников С.С. Обзор методов и основных результатов измерения толщины морского льда в Арктике // *Российская Арктика*. 2021. № 12. С. 33–49. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-1-33-49
6. Сероветников С.С. Судовой телевизионный комплекс – реализация автоматизированной системы натурных измерений толщины морского льда / С.В. Фролов, А.Э. Клейн // *Российская Арктика* – 2018. – №2. – С.41.
7. Клейн А. Э., Третьяков В. Ю., Фролов С. В. Патент на полезную модель № 70983 «УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ЛЬДИН С БОРТА СУДНА» // Правообладатель: «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт».
8. Тимофеева А.Б. Ледовые условия плавания в экспедиции NABOS-2021 в сентябре-октябре 2021 года // *Российская Арктика*. 2021. № 15. С. 54-67. DOI:10.24412/2658-4255-2021-4-54-67
9. Афанасьева Е.В., Сероветников С.С., Алексеева Т.А., Гришин Е.А., Солодовник А.А., Филиппов Н.А. Применение данных судового телевизионного комплекса в оперативном гидрометеорологическом обеспечении морской деятельности на примере картирования толщины ледяного покрова в Арктике // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2022. Т. 68. No 2. С. 96–117. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-96-117>

## **АНАЛИЗ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВОДООБМЕНА МЕЖДУ ТИХИМ И ИНДИЙСКИМ ОКЕАНАМИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АРГО И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Лебедев К.В., Савин А.С.**

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

### **THE MODEL STUDY OF THE INDONESIAN THROUGHFLOW SEASONAL VARIABILITY BASED ON ARGO DATA**

*Lebedev K.V., Savin A.S.  
Shirshov Institute of Oceanology . Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii prospekt, Moscow, 117997, Russia*

В статье представлены результаты модельных расчетов водообмена Тихого и Индийского, полученные по данным Арго.

Circulation associated with the Indonesian Troughflow (ITF) is studied using the Argo-based Model.

Индонезийские моря играют ключевую роль в климатической системе. Именно через них происходит водообмен Тихого и Индийского океанов, который является частью верхней ветви Глобального океанского конвейера. В англоязычной литературе этот водообмен называют Indonesian Throughflow, что можно перевести как Индонезийский поток (ИП), под которым понимается совокупность разнонаправленных океанских течений, перемещающих водные массы из Тихого и Индийского океанов через проливы Зондского архипелага.

Исследование изменчивости водообмена Тихого и Индийского океанов базируется на данных модельных расчетов за 2005–2014 гг. с использованием разработанной в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН Арго-модели исследования глобального океана (АМИГО) [1], которая состоит из блока вариационной интерполяции на регулярную сетку нерегулярно расположенных во времени и пространстве данных профилирования Арго [2] и блока модельной гидродинамической адаптации вариационно проинтерполированных полей [3]. Такая методика

позволяет получать по данным измерений Argo полный набор океанографических характеристик: температуру, соленость, плотность и скоростр течений.

Среднегодовой расход ИП на разрезе 3.5° ю.ш. составляет 15.2±2.3 Св воды, переносится 1.49±0.42 ПВт тепла и 535±81 кт/с солей. Исследование сезонной изменчивости показало, что максимальные значения переносов приходятся на август и составляют, соответственно, 18.8±1.4 Св, 2.09±0.17 ПВт тепла и 667±49 кт/с солей. Минимальные значения переносов приходятся на январь – 11.8±2.1 Св, 0.79±0.25 ПВт тепла и 412±75 кт/с солей в южном направлении.

Исследование пространственной структуры водообмена позволяет сделать вывод, что основная часть переносов приходится на Макасарский пролив, где максимальные значения расхода достигают в августе 22.1±1.2 Св, падая затем в январе более чем в два раза до 9.8±2.1 Св. Анализ сезонной изменчивости течений на разрезе 3.5° ю.ш. показал наличие перемены направления и силы течений. Основной поток воды в южном направлении, то есть из Тихого океана в Индийский, идет через Макасарский пролив в среднем на глубине до примерно 150 м. Однако в приповерхностном, примерно 50-метровом слое, наблюдается заметная сезонная изменчивость направления течений, связанная со значительной сезонной изменчивостью поля ветра, имеющего в этом районе муссонный характер. В январе обнаруживается ярко выраженное движение водных масс из Южно-Китайского в Яванское море (рис. 1), то есть с севера на юг по проливу Каримата. Вместе с этим в приповерхностном слое в Макасарском проливе в январе возникает слабое противотечение со скоростями до 5 см/с (рис. 1). Глубже течение сохраняет южное направление с максимумом скорости 55 см/с на глубине около 150 м. Как отмечалось выше, в январе расход через Макасарский пролив падает до своего годового минимума.

Зимнее реверсивное приповерхностное противотечение в Макасарском проливе отмечалось во время проведения прямых измерений течений на заякоренных буйковых станциях в 1997 г. и детально описано в работе [4]. Появление в Макасарском проливе реверсивного приповерхностного противотечения в период действия зимнего северо-западного муссона является следствием затока в Макасарский пролив легких вод пониженной солености из Яванского моря. Эти воды, обладая высокой плавучестью, создают в приповерхностном слое Макасарского пролива направленный на север меридиональный градиент давления, препятствующий движению приповерхностных вод в южном направлении.



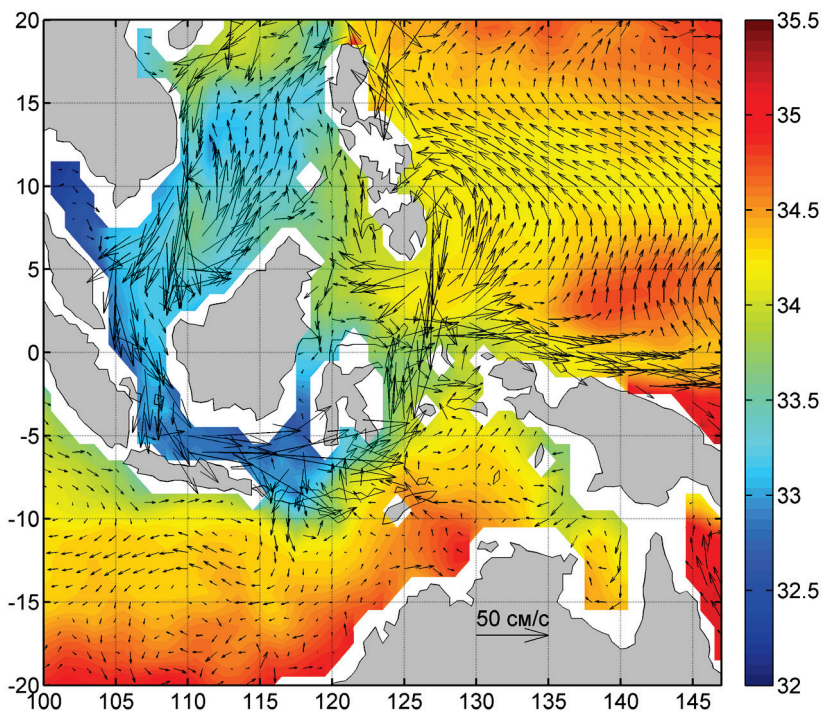


Рис. 1. Соленость и течения на глубине 20 м в январе.

Пониженная соленость вод Южно-Китайского моря является следствием осадков и повышенного стока рек Юго-Восточной Азии в период действия зимнего северо-западного муссона [4]. В это время года значительно возрастает перенос воды через пролив Каримата из Южно-китайского моря в Яванское, достигая в январе своих пиковых значений ( $4.36 \pm 0.56$  Св,  $0.491 \pm 0.061$  ПВт тепла и  $147 \pm 19$  кт/с солей при среднегодовых значениях  $1.75 \pm 1.42$  Св,  $0.204 \pm 0.161$  ПВт тепла и  $58.8 \pm 47.8$  кт/с солей). Ветер восточного направления нагоняет легкую низкосоленую воду мелкого Яванского моря в поверхностный слой южной части Макасарского пролива, что отчетливо видно на рис. 1. В переходные весенний и осенний сезоны ветер заметно ослабевает, а летом, в период действия юго-восточного муссона, имеет западное направление, перемещая в Яванское море соленую поверхностную воду морей Флорес и Банда (рис 2) и освобождая южную часть Макасарского пролива от слабосоленых поверхностных вод.

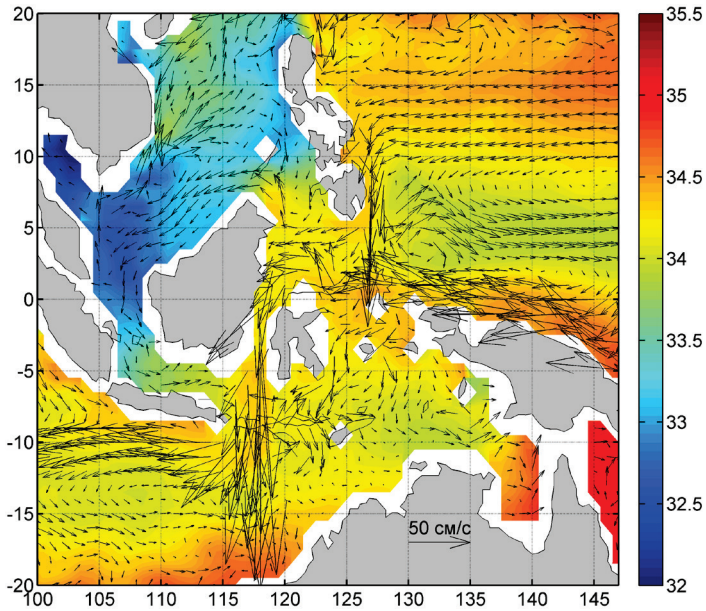


Рис. 2. Соленость и течения на глубине 20 м в августе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00878.

#### 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. Иванов Ю.А., Лебедев К.В. О межсезонной изменчивости климата Мирового океана // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана*. 2000. Т.36. №1. С. 129-140.
4. Gordon A.L., Susanto R.D., Vranes K. A Cool Indonesian throughflow is a consequence of restricted surface layer flow // *Nature*. 2003. Vol. 425. P. 824-828.

## **АВТОНОМНЫЕ БУЙКОВЫЕ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ МОРСКОЙ АРКТИКИ**

**Лунев Е.Г.<sup>1</sup>, Смоляницкий В.М.<sup>2</sup>, Мотыжев С.В.<sup>1</sup>,  
Толстошеев А.П.<sup>1</sup>, Безгин А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный  
университет»,

299053, Севастополь, Университетская ул., 33, +7(8692)22-29-11,  
[eglunev@sevsu.ru](mailto:eglunev@sevsu.ru)

<sup>2</sup> ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский  
институт»,

199397, Санкт-Петербург, Беринга ул., 38, +7(812)337-31-83, [vms@aari.ru](mailto:vms@aari.ru)

В статье представлены некоторые результаты долговременных натуральных экспериментов в Северном Ледовитом океане и приполярных морях, полученные с помощью специализированных автономных буйковых станций, созданных в ООО «Марлин-Юг» (Севастополь, Россия). Обсуждаемые приборы: автономные метеостанции, спутниковые радиомаяки, дрейфующие термопрофилирующие буи, лагранжевые буи, измерители уровня.

Paper presents some results of long-term field experiments in the Arctic Ocean and circumpolar seas, obtained by specialized drifting buoys developed by «Marlin-Yug» (Sevastopol, Russia). The discussed devices include autonomous weather stations, satellite trackers, drifting thermoprofiling buoys, lagrangian buoys, level meters.

Для современного этапа освоения арктической зоны РФ характерны, с одной стороны, повышенное внимание к климатообразующим процессам и явлениям, происходящим в Северном Ледовитом океане и приполярных морях, а с другой – обусловленный особенностями региона дефицит океанографической и гидрометеорологической информации. Активное освоение арктических шельфовых месторождений, развитие портовой и транспортной инфраструктуры в арктическом регионе требует проведения большого объема прикладных исследований и установления регулярного гидрометеорологического мониторинга. Необходимо отметить, что приборный парк, используемый для решения указанных задач до недавнего

времени, был представлен главным образом зарубежными средствами измерений. Собственные технические и методические решения, предложенные сотрудниками лаборатории «Морские наблюдательные системы» Севастопольского государственного университета и ООО «Марлин-Юг» (Севастополь, Россия), реализованные в долговременных полярных экспериментах [1], стали основой для создания специализированных автономных буйковых станций (АБС), обеспечивающих мониторинг водной толщи, ледяного покрова и приповерхностной атмосферы арктической зоны (табл. 1). Оперативная доставка данных мониторинга пользователям обеспечивается средствами спутниковой связи.

Табл. 1 – Автономные буйковые станции арктического применения

№ п/п	Наименование	Характеристики
1	Спутниковый радиомаяк iceST/20DP	Измерения: координаты, температура корпуса, индикация положения "лед/вода"; дискретность измерений 10 мин; продолжительность работы 3 мес
2	Спутниковый радиомаяк iceST-B/40	Измерения: координаты, атмосферное давление, температура поверхности воды/льда; дискретность измерений 1 ч; продолжительность работы 12 мес
3	Поверхностный дрейфующий лагранжевый буй iceSVP-B/40H	Буй стандарта WOCE с подводным парусом типа «Holey Sock», центр на глубине 15 м. Измерения: координаты, атмосферное давление, температура поверхности воды/льда; дискретность измерений 1 ч; продолжительность работы 12 мес
4	Термопрофилирующий дрейфующий буй с глубиной измерений 110 см iceBTC1.1/40-12T0P	Измерения: координаты, атмосферное давление, температура на 12 горизонтах до 1,1 м с интервалом 10 см; один датчик свободного размещения (температура снега); погрешность измерения температуры $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ ; дискретность измерений 1 ч; продолжительность работы 12 мес

№ п/п	Наименование	Характеристики
5	Термопрофилирующий дрейфующий буй с глубиной измерений 200 см iceBTC2/40-10TOP	Измерения: координаты, атмосферное давление, температура на 10 горизонтах до 2 м с интервалом 20 см; погрешность измерения температуры $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ ; дискретность измерений 1 ч; продолжительность работы 12 мес
6	Термопрофилирующий дрейфующий буй с глубиной измерений 500 см iceBTC5/40-10TOP	Измерения: координаты, атмосферное давление, температура на 10 горизонтах до 5 м с интервалом 50 см; погрешность измерения температуры $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ ; дискретность измерений 1 ч; продолжительность работы 12 мес
7	Термопрофилирующий дрейфующий буй с глубиной измерений 60 м – iceBTC60/40-17T3P; 80 м – iceBTC80/40-17T3P	Измерения: координаты, атмосферное давление, температура на 17 горизонтах до 60/80 м, гидростатическое давление на 3 горизонтах; погрешность измерения температуры $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ ; дискретность измерений 15 мин, 1 ч; продолжительность работы 12 мес
8	Автономная дрейфующая метеостанция icemeteo/20PC	Измерения: координаты, атмосферное давление, скорость и направление ветра, температура воздуха, температура корпуса, параметры ориентации; дискретность измерений 10 мин, 1 ч; продолжительность работы 4 мес
9	Измеритель уровня воды WLG-30	Измерения: координаты, гидростатическое давление, атмосферное давление, температура воды, температура корпуса, напряжение батарей; дискретность измерений 30 мин; продолжительность работы 6 мес

Использование указанных средств оперативного контактного мониторинга ориентировано на модернизацию инфраструктуры наблюдательной сети Росгидромета в морской и прибрежной частях Арктики, формирование национального компонента Глобальной опорной сети ВМО, создание распределенной сети наблюдений экспедиций,

включая ледостойкую самодвижущуюся платформу – научно-экспедиционное судно (НЭС) «Северный полюс».

Так, в июле - октябре 2022 г. по району дрейфа НЭС в Арктическом бассейне были установлены 22 АБС производства ООО «Марлин-Юг», в числе которых термопрофилирующие буй с глубинами профилирования до 80 м, спутниковые радиомаяки, метеостанция. Все АБС оснащены измерителями атмосферного давления.

На рис. 1, а показана траектория дрейфа буя iceBTC5/40-11T0P IMEI 300234060325930, измеряющего профиль температуры льда до глубины 5 м. По данным буя в период с июля 2022 г. по январь 2023 г. с интервалом 1 ч было получено более 4500 профилей температуры льда и подледного слоя воды, некоторые из которых показаны на рис. 1, б. Буй за 189 суток дрейфа показал целостную картину теплового режима морского льда и приповерхностного слоя океана на разрезе Северный полюс – пролив Фрама в осенне-зимний период 2022/2023 гг.

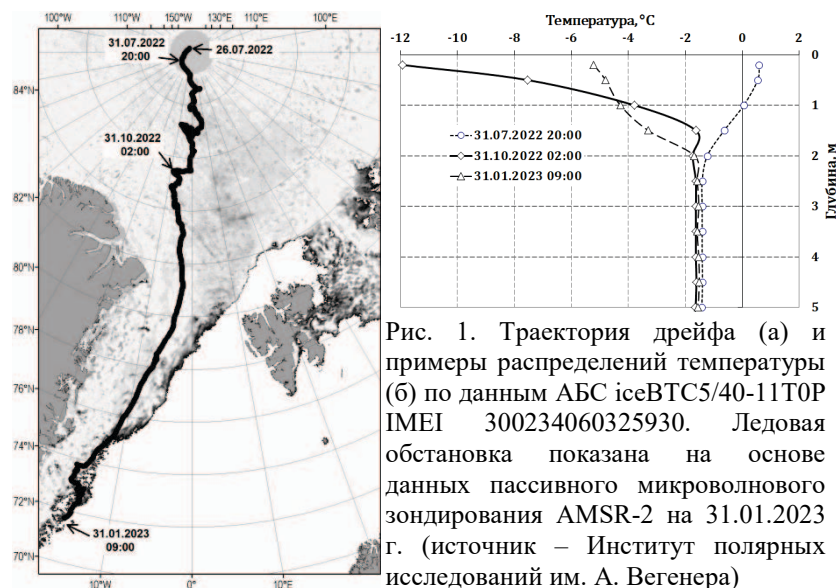


Рис. 1. Траектория дрейфа (а) и примеры распределений температуры (б) по данным АБС iceBTC5/40-11T0P IMEI 300234060325930. Ледовая обстановка показана на основе данных пассивного микроволнового зондирования AMSR-2 на 31.01.2023 г. (источник – Институт полярных исследований им. А. Вегенера)

Для повышения эффективности мониторинга была разработана и реализована технология дистанционного управления дискретностью измерений АБС. Технология позволяет изменять режимы работы как отдельных станций, так и наблюдательной сети в целом. Управление доступно из любой точки Земли по спутниковому каналу связи.

Полученные результаты позволяют сделать обоснованный вывод о возможности и целесообразности построения на базе разработанного приборного парка надежной, технологичной и экономной сети наблюдений в полярных и субполярных зонах Мирового океана.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мотыжев С.В. Опыт применения автономных дрейфтеров в системе наблюдений ледовых полей и верхнего слоя океана в Арктике/ С.В. Мотыжев, Е.Г. Лунев, А.П. Толстошеев // Морской гидрофизический журнал, 2017. - № 2. - С. 54-68.

УДК 634.67

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АВТОНОМНЫЙ ЗОНДИРУЮЩИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ, БИООПТИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ПРИРОДНЫХ ВОД**

**Хлебников Д.В., Илларионов С.Н.,  
Коновалов Б.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-73-92,  
[dx@ocean.ru](mailto:dx@ocean.ru)*

**EXPERIMENTAL AUTONOMOUS PROBING MEASURING  
COMPLEX FOR THE RESEARCH OF HYDROPHYSICAL, BIO-  
OPTICAL AND GEOCHEMICAL FIELDS OF THE UPPER LAYER OF  
NATURAL WATERS**

**Khlebnikov D.V., Illarionov S.N., Kononov B.V.**

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii Prosp., Moscow, 117997*

Представлен проект экспериментального автономного зондирующего измерительного комплекса для исследования гидрофизических, биооптических и геохимических полей в верхнем слое природных вод.

A project of an experimental autonomous sounding measuring complex for the research of hydrophysical, biooptical and geochemical fields in the upper layer of natural waters is presented.

Авторы доклада представляют проект исследовательского экспериментального автономного зондирующего измерительного комплекса для изучения гидрофизических, биооптических и геохимических полей в верхнем слое природных вод в океанах, морях, озерах, водохранилищах и реках. Комплекс состоит из трех основных частей: 1) Погружная ныряющая платформа (гидропланер) для забора проб воды с глубины;

2) Надводная автономная платформа для закачки проб воды, их одновременного анализа и хранения;

3) Кабель-шланг для передачи энергопитания и управления на гидропланер и перекачки с него проб воды на надводную платформу.

Погружная ныряющая платформа для забора проб на глубине состоит из конструктива с двумя горизонтальными крыльями и одним вертикальным, трех вспомогательных подводных двигателей, смонтированных в крылья, насоса подачи воды и датчика давления.

Надводная автономная платформа перемещается по водной поверхности по заданному маршруту при одновременном отборе и анализе проб воды и включает в себя конструктив с двигателями, катушка для кабель-шланга, всасывающий насос, блок преобразователей для анализа параметров прокаченной воды, систему распределения воды, набор емкостей для сбора проб воды, центр управления и обработки информации, эхолот, аккумуляторы, солнечные батареи.

Исследовательский комплекс может работать в трех основных режимах:

- вертикальное профилирование (1-D) при “стоянии на точке”;

- плоскостное профилирование при движении надводной платформы (2-D);

- объемное профилирование при движении надводной платформы (3-D), при этом гидропланер перемещается по спирали.

В набор преобразователей, размещенных в надводной платформе и предназначенных для исследования гидрофизических, биооптических и



геохимических полей верхнего слоя природных вод могут, в зависимости от поставленной задачи, включать следующие датчики: температуры, электропроводности, концентрации растворенного кислорода, спектров прозрачности и подводной облученности, концентрации фитопланктона, ФАР и другие.

Использование предложенного исследовательского экспериментального автономного зондирующего измерительного комплекса позволит в любое время суток получать 1-D, 2-D или 3-D распределение гидрофизических, гидрохимических, гидрооптических и гидробиологических полей верхнего слоя природных вод в исследуемых районах.

## ЭКОЛОГИЯ ОКЕАНА

УДК574.583(26)

### МОНИТОРИНГ МЕЗОПЛАНКТОНА ХАЧМАС – ГИЛЕЗИНСКИМ АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

**А.Г.Джалилов**

*Институт зоологии Национальная Академия Наук Азербайджана, AZ1073,  
Азербайджанская Республика, проезд 1128, квартал 504, г. Баку, +994 12  
539-73-71, email: [anvarj@mail.ru](mailto:anvarj@mail.ru)*

### MONITORING OF MESOPLANKTON IN KHACHMAS-GILEZINSKY WATER AREA OF THE CASPIAN SEA

Jalilov A.G.

*Institute of Zoology National Academy of Sciences of Azerbaijan, AZ1073,  
Republic of Azerbaijan, passage 1128, quarter 504, email: [anvarj@mail.ru](mailto:anvarj@mail.ru)*

В статье рассматриваются результаты мониторинга мезопланктона Хачмас – Гилезинским акватории Каспийского моря. Здесь отслеживаются основные параметры развития мезопланктона и сравниваются с мезопланктоном других частей Каспийского моря.

The article discusses the results of mesoplankton monitoring in the Khachmaz-Gilezi water area of the Caspian Sea. Here the main

parameters of mesoplankton development are monitored and compared with the mesoplankton of other parts of the Caspian Sea

В основу работы положены данные по развитию мезопланктона в Хачмас – Гилезинским акватории Каспия за 2018 г. Для сопоставления состояния развития мезопланктона приводятся данные автора, а также литературные данные, относящиеся в разным акватории Каспия [1; 2]. Так, данные за 2006 г. относятся Устье Куры Каспийского моря, когда шельф представлял собой естественно сложившуюся экосистему [3]. Обильный речной сток обеспечивал на данной акватории благоприятное развитие биоты на всех её уровнях, а высокое весеннее половодье являлось важным экологическим фактором не только для устьевых областей, но и для всего шельфа. В зоопланктонном сообществе Устье Куры Каспийского моря доминирующую роль играют виды-вселенцы [4]. По сравнению с 1990-ми гг., с одной стороны, уменьшилось видовое разнообразие зоопланктона, снизилось развитие отдельных видов, а с другой стороны, из-за усиленного развития практически два вида – кормового *Acartia clausii* некармового эврифага гребневика *M. leidy* возросла численность и биомасса общего зоопланктона. На формирование структуры зоопланктона и его развитие большое влияние имеет целый ряд разной природных факторов.

В 2018 г. проводились круглогодичные исследования в прибрежных стационарных станциях. Также периодически осуществлялись и единичные отборы проб зоопланктона с лодки на несколько больших глубинах (до 3,5 м). В ходе обработки проб были обнаружены различные представители зоопланктона и меропланктона.

Зимой 2018 г. в мезопланктоне встречено 17 видов из трёх групп. Группа Rotifera представлена *Asplanchna priodonta priodonta*-ой и 3 видом из рода *Synchaeta*. Ротиферы обладают высокой экологической пластичностью. Коловратки играют важную роль в планктоне пресноводных бассейнов, но в морях они меньше. В мире известно более 1500 видов. В Азербайджане зарегистрирован 291 вид [5]. Среди них есть эндемики. Примерами каспийских эндемиков являются *Trichocerca caspica caspica*, *T.caspica longicaudata*, *T.heterodactyla*, *Synchaeta litoralis intermedia*. Средиземноморские виды (*Synchaeta cecilia fitsipes*, *S.stylata*, *S.vorax*) также встречаются в мезопланктоне. Отмечено 9 видов из групп Cladocera. В зоопланктона Азербайджанской акватории Каспийского моря было обнаружено 40 видов ветвистоусых рачков (Cladocera) [6]. Встречено 4 вида, входящий в состав группу Copepoda. В Каспийском море насчитывается 47 видов и форм веслоногих ракообразных [7]. Зимний период не обнаружен личинки других беспозвоночных. Зимой 27,42% численности приходились на долю группу Rotifera, 33,79% на группу

Cladocera, а 38,78% на долю группы Copepoda. 0,99% биомассы мезопланктона составляли коловратки, 25,72% ветвистоусые, 73,29% веслоногие.

Весной обнаружено 23 видов, а также личинки *Mnemiopsis*, *Balanus* и Mollusca. Число видов Rotifera составляет – 7 таксонов. Притом, что *Brachionus plicatilis rotindiformis*, *K. cochlearis*, *Testudinella patina patina* появились весной. Среди коловраток доминируют *Keratella cochlearis* и *Synchaeta vorax*. Видовое разнообразие ветвистоусых весной составляло 12 видов. Из них доминирует *Pleopsis polyphemoides*. Общее число видов веслоногих здесь невелико – всего 4 вида: *Calanipeda aquae dulcis*, *Heterocope caspia*, *Acartia tonsa*, *Acartia clausi*. Здесь отмечалось массовое присутствие *A. clausi*, а также некоторых представителей меропланктона: личинки *Mnemiopsis*, *Balanus* и Mollusca. Летом отмечено незначительное уменьшение численности при этом биомасса общего мезопланктона увеличилась. Такая ситуация была вызвана аналогичной тенденцией уменьшение численности коловраток летом. Осенью, были отмечены 4 представителя коловраток, 12 ветвистоусых, 4 веслоногих и личинки *Mnemiopsis*. Отсутствуют коловратки – *Synchaeta cecilia*, *S. vorax*, *Testudinella patina patina*, а также личинки *Balanus* и Mollusca. Общая численность и биомасс мезопланктона осенью по сравнению летом сократилась (Рис.).

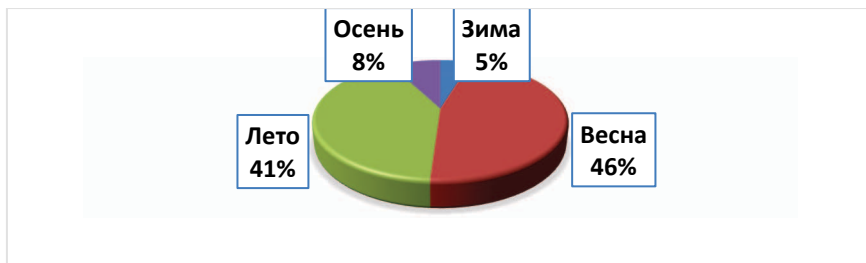


Рис. Сезонная динамика численности мезопланктона.

Осенью, отсутствовали *Brachionus plicatilis rotindiformis*, *Keratella cochlearis*.

На протяжении исследований регулярно отмечалось массовое присутствие: *Brachionus plicatilis rotindiformis*, *Keratella cochlearis*, *Synchaeta vorax*, *Pleopsis polyphemoides*, *Evadne anonyx typica*, *Acartia clausi*, *A. tonsa*, nauplii Copepoda, личинки *Mnemiopsis*, а также некоторые организмы меропланктона из Cirripedia и Mollusca. За период круглогодичных исследований 2018 г. на стационарных станциях наблюдений всего было отмечено 27 различных таксонов (включая

меропланктон). Из них 23 видовом ранге. Следует особо отметить виды – вселенцы. Всего в период наблюдений было обнаружено 7 таксона – вселенца. Личинки *Mnemiopsis* – встречался на протяжении всех исследований. Необходимо отдельно отметить круглогодичность исследований на вышеуказанных стационарных станциях наблюдения, что позволило полнее узнать о сезонных изменениях, чего не удавалось добиться ранее. В 2018 г. круглогодично встречались следующие виды: *Synchaeta* sp., *Polyphemus exiguus*, *Cercopagis* sp, *Pleopis polyphemoides*, *Evadne anonychus typica*, *Podonevadne trigona typica*, *P.angusta*, *P.camptonychus typica*, *Calanipeda aquae dulcis*, *Heteroscope caspia*, *Acartia tonsa*, *Acartia clausi*, и некоторые представители меропланктона: *Bivalvia*, *Cirripedia*, *Polychaeta*, *Stenophora*.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Джалилов А.Г. Распределение ветвистоусых рачков (*Cladocera*) в Усть – Куринском районе Каспийского моря //Мат. IV межд. научно-практ. конф. «Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений», Россия, Астрахань, 2011, с. 89 – 94.
2. Джалилов А.Г. Оценка кормовой базы мальков осетровых в районе Устье – Куры Каспийского моря // Мат. XII межд. научно-техн. конф. «Современные методы и средства океанологических исследований» МСОИ-2011. Россия, Москва, 2011, т.1, с. 197 – 201.
3. Джалилов А.Г., Алекперов И.Х. Планктон Усть – Куринского района Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2014, №1, с.122 – 128.
4. Джалилов А.Г. Биоразнообразие зоопланктона Устье Куры Каспийского моря //Мат. межд. конф. «Экология водных беспозвоночных», посв. 100-летию Ф.Д. Мордухай-Болтовского. 2010, Россия, Ярославль, Борок, с.78 – 82.
5. Джалилов А.Г. Распределение коловраток (*Rotifera*) в Каспийском море и водоемов Азербайджана // VIII научно-практической конференции с международным участием «Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений» Астрахань, 22 октября 2021 г. 88 – 99.
6. Джалилов А.Г. Распределение *Cladocera* в Азербайджанской акватории Каспийского моря // «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2021) / Материалы XVII международной научно-технической конференции. Том II. – М.: 2021. 191-195.

7. Jalilov A.G. Systematic composition and distribution of copepods (Copepoda) in different parts of the Caspian sea // 2.International Antalya Scientific Research and Innovative Studies Congress,17-21 March 2022, Antalya – Turkey, p. 15 – 18.

УДК 574.504

## **ВЛИЯНИЕ СВАЛА ГРУНТА И ДНОУГЛУБЛЕНИЯ НА ЗООПЛАНКТОН ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ**

**Селифонова Ж.П., Боран-Кешишьян А.Л.**

*Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф.  
Ушакова,  
пр. Ленина, 93, 353924, г. Новороссийск, 8 (8617) 71-75-25,  
[Selifa@mail.ru](mailto:Selifa@mail.ru)*

### **EFFECT OF GROUND DUMPING AND DREDGING ON ZOOPLANKTON OF THE BLACK SEA AND THE SEA OF AZOV**

Selifonova Zh.P., Boran-Keshishayn A.L.

*Admiral Ushakov Maritime State University,  
93, Lenin ave., 353924, Novorossiysk, Russia*

В статье рассмотрено влияние на голопланктон и меропланктон свала грунта в Темрюкском заливе, южной части Азовского моря, Керченском проливе, в районе мыса Дооб (Новороссийская бухта, Черное море) и дноуглубительных работ грейфером и землесосом в Таманском порту.

Paper shows a effect on holoplankton and meroplankton of ground dumping in the Temryuk Bay, the southern part of the Sea of Azov, the Kerch Strait, in the area of Cape Doob (Novorossiysk Bay, Black Sea) and dredging with a grapple and a pump-dredge in the Taman port.

Цель – рассмотреть влияние дампинга грунта и дноуглубления в портовых районах на гололанктон и меропланктон (личинки донных

животных) Черного и Азовского морей. В литературе этот вопрос освещен недостаточно, несмотря на его важное природоохранное значение.

Зоопланктон собирали средней сетью Джеди по стандартной методике [1]. Сбор материала проводили осенью и зимой в районах свалок грунта портов Новороссийска, Тамани, Темрюка и Порт-Кавказа. В холодное время года скорость самоочищения морских вод минимальна и сбросы в море органических загрязнителей с грунтом в виду их слабой ассимиляционно-деструкционной трансформации наиболее опасны [2]. Район свала грунта Порта-Кавказ располагался в юго-западной части Азовского моря на глубине 11–12 м (прозрачность воды 2 м, соленость 12–12,5 ‰). Сбор материала проводили в феврале 2019 г. при температуре воды 6°C. Свалку грунта из порта Темрюк производили в Темрюкском заливе Азовского моря, куда впадает основное русло р. Кубань. Сбор материала здесь выполняли в декабре 2018 г. при температуре воды 3°C (глубина 7–10 м, прозрачность воды 0,9 м, соленость 9–10 ‰). Район свала грунта порта Тамань располагался в южной части Керченского пролива на глубине 18 м. Сбор материала проводили в ноябре 2019 г. при температуре воды 10°C (соленость 18 ‰). Район свала грунта Новороссийского порта находился в открытой части Новороссийской бухты у мыса Дюб на глубине 1200–1500 м (прозрачность воды 10–17,5 м, соленость 18 ‰). Материал собирали в ноябре 2018 г. при температуре воды 15°C.

Влияние дноуглубления на зоопланктон изучали в районе причала Таманского терминала навалочных грузов в июне 2021 г. при температуре воды 23°C. В каждом районе зоопланктон изучали на площади, отведенной под свал грунта или дноуглубление, и далеко за его пределами (фон), где воздействие изучаемых факторов должно сводиться к нулю.

**Дампинг. Темрюкский залив.** В голопланктоне обнаружены 4 таксона: Copepoda – 3, Rotifera – 1 при температуре 3°C. Его суммарная численность колебалась от  $5,2 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup> (свал грунта) до  $4,6 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup> (фон). В составе голопланктона преобладали каланоидные копеподы *Eurytemora affinis* (57,6–64 % от общей численности) и коловратки *Synchaeta* sp. (40–32,3 %). В меропланктоне абсолютно доминировал недавний вселенец в Таганрогский залив и Азовское море многощетинковый червь *Marenzelleria neglecta* (Polychaeta). Численность личинок новых для региона полихет в районе свала грунта в среднем была почти в два раза выше в сравнении с фоновыми станциями.

**Юго-западная часть Азовского моря.** В голопланктоне идентифицировано 2 таксона: Copepoda – 1, Rotifera – 1. Общая численность голопланктона колебалась от 19,5 (свалка) до  $17,8 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup> (фон). Повсеместно доминировали коловратки синхеты (99,9% общей численности голопланктона). Отмечено мощное «цветение» воды

диатомовыми водорослями. Циклопидные копеподы *Oithona davisae* были немногочисленны. В меропланктоне идентифицировано 3 таксона: Polychaeta – 2, Cirripedia – 1. Среди них – усоногие раки *Amphibalanus improvisus* и многощетинковые черви *Harmothoe* sp., *M. neglecta*. При температуре воды 6°C меропланктон был беден из-за слабого размножения донных беспозвоночных. Его суммарная численность колебалась от  $0,02 \cdot 10^3$  (свалка) до  $0,017 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup> (фон).

*Мыс Дооб, Черное море.* В 25-ти м слое облова при температуре 15°C найдено 8 таксонов голопланктона: Copepoda – 6, Appendicularia – 1, Dinophyta (*Noctiluca*) – 1. Суммарная численность голопланктона колебалась от  $6,2 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup> (свал грунта) до  $4,8 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup> (фон). В составе голопланктона доминировали каляноидные *Acartia clausi*, *Paracalanus parvus* и циклопидные копеподы *O. davisae*. В меропланктоне идентифицировано 4 таксона: Bivalvia – 2, Gastropoda – 1, Cirripedia – 1, среди них – усоногие раки *A. improvisus*, двустворчатые моллюски *Mytilus galloprovincialis*, *Anadara kagochinensis* и брюхоногие моллюски *Bittium reticulatum*. Показатели суммарной численности меропланктона имели сходные значения –  $1,0 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup>.

*Керченский пролив.* При температуре 10°C найдено 6 таксонов голопланктона: Copepoda – 5, Dinophyta (*Noctiluca*) – 1. Суммарная численность голопланктона в районе дампинга в среднем была в 1,5 раза выше в сравнении с фоном –  $5,5 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup>. В составе голопланктона доминировали копеподы *A. clausi* и *O. davisae*. В меропланктоне обнаружены: Bivalvia – 1, Cirripedia – 1, среди них – усоногие раки *A. improvisus* и двустворчатые моллюски *M. galloprovincialis*. Показатели суммарной численности меропланктона на площадях, отведенных под свал грунта и фон, имели сходное значение.

**Дноуглубление.** В районе дноуглубления Таманского терминала навалочных грузов идентифицировано 7 таксонов голопланктона: Cladocera – 2, Copepoda – 5. Общая численность голопланктона в районе дноуглубления колебалась от 0,6 до  $4,7 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup>, при средних значениях  $2,2 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup>. На фоновой станции, расположенной противоположно течению, численность была в два раза ниже средних значений района дноуглубления. Здесь отмечены копеподы *Centropages ponticus*, *A. tonsa* и бентические гарпактикоидные копеподы. При дноуглублении грейфером на расстоянии 25 м от места работ зарегистрировано 3 таксона голопланктона и минимальная численность. При дноуглублении землесосом на этом же расстоянии – 6 таксонов и максимальная численность организмов. В меропланктоне отмечено 4 таксона: Polychaeta – 1, Bivalvia – 1, Gastropoda – 1, Cirripedia – 1. Доля меропланктона в общей численности зоопланктона в районе дноуглубления составляла – 28,9 %, на фоновой станции – 50 %.

Общая численность меропланктона в районе дноуглубления колебалась от 0,3 до  $2,3 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup>, при средних значениях  $0,9 \cdot 10^3$  экз./м<sup>3</sup>. Здесь найдены личинки: двустворчатых моллюсков *Mytilaster lineatus*, брюхоногих моллюсков *B. reticulatum*, и усоногих раков *A. improvisus*. В среднем общие показатели меропланктона в районе дноуглубления были сравнимы с фоновой станцией. В районе дноуглубления грейфером на расстоянии 25 и 50 м от места проводимых работ отмечен 1 таксон и минимальная численность меропланктона. На фоновой станции обнаружены личинки двустворчатых моллюсков *M. lineatus*, многощетинковых червей сем. *Nereididae* и усоногих раков *A. improvisus*.

Голопланктон – это часть зоопланктонных организмов, которые проводят весь свой жизненный цикл в пелагиали, кроме донной стадии покоя (яйца) и др., поэтому дноуглубительные работы и дампинг грунта таким организмам наносят минимальный вред. В пределах районов, отведенных под свал грунта, голопланктон и личинки недавнего вселенца *M. neglecta* (Polychaeta) были более обильными в сравнении с фоном. Наиболее подвержены воздействию дноуглубительных работ – донные животные и их личинки, которые проводят в толще воды пелагическую стадию развития. Тем не менее, средние показатели личинок донных животных в районе дноуглубления были сравнимы с фоном. Однако доля меропланктона в общей численности зоопланктона в районе дноуглубления была в 1,7 раза ниже. Минимальную численность меропланктона наблюдали в районе дноуглубления грейфером на расстоянии 25 и 50 м от места проводимых работ. Дноуглубление землесосом не оказывало заметного влияния на голопланктон и меропланктон.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Современные методы количественной оценки распределения морского планктона / под. ред. М.Е. Виноградова. М.: Наука, 1983. – 280 с.
  - 2 Селифонова Ж.П. Оценка запаса усвояемого органического вещества и скорости его деструкции в воде Новороссийской бухты Черного моря / Ж.П. Селифонова, Н.В. Лукина // Биология моря. – 2001. – Т. 27. - № 3. - С. 212–215.
- УДК 528.8:599.745.3(268.46)



**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ  
ТЕХНОЛОГИИ АВИАСЪЁМКИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ  
ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ СОСТОЯНИЯ И  
ЧИСЛЕННОСТИ ПОПОЛНЕНИЯ БЕЛОМОРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ  
ГРЕНЛАНДСКОГО ТЮЛЕНЯ  
(*PHOCA GROENLANDICA*)**

**Забавников В.Б.**

*Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им.  
Н.М. Книповича – ПИНРО), ул. Академика Книповича, 6,  
183038, г. Мурманск, +7 (815) 240-26-11,  
+7 (815) 247-33-31, ltei@pinro.ru*

EXPERIENCE OF AIR SURVEY MULTISPECTRAL TECHNOLOGY USING  
IN CARRYING OUT OF RESEARCHES BY STUDY OF THE WHITE SEA  
HARP SEAL POPULATION  
(*PHOCA GROENLANDICA*) REPLACEMENT STATUS AND NUMBERS

Zabavnikov V.B.

*Polar branch of “VNIRO” (“PINRO” named after N.M.  
Knipovich – PINRO), 6, Academician Knipovich st., Murmansk,  
183038, Russia*

В статье представлены сведения об использовании мультиспектральной технологии авиасъёмки при осуществлении исследований по изучению состояния и численности пополнения беломорской популяции гренландского тюленя (*Phoca groenlandica*).

Information about of air survey multispectral technology using in carrying out of researches by study of the White Sea harp seal population (*Phoca groenlandica*) replacement status and numbers in paper are presented.

В материале рассматривается мультиспектральная технология осуществления авиасъёмки с целью проведения исследований по изучению состояния и численности пополнения (щенки или детёныши) беломорской популяции гренландского тюленя (далее – гренландский тюлень).

Мультиспектральная технология в целом предполагает осуществление авиасъёмки одного объекта аппаратурой, одновременно

работающей в нескольких диапазонах длин электромагнитных волн. Для рассматриваемой ситуации, имеющей отношение к гренландскому тюленю, как объекту исследования, это инфракрасный (ИК) и оптический (видимый) диапазоны, представленные, соответственно, как ИК-изображения и цифровые цветные фотографии.

Идея использования мультиспектральной технологии при авиасъёмке пополнения гренландского тюленя, разработанная в 1998 г. в ПИПРО, основана на том, что детёныши также, как и взрослые животные, имеют температуру тела примерно 37°C. Однако, в течение приблизительно трёх первых недель от момента рождения они, исходя из собственных биологических особенностей, находятся только среди льдов и не сходят в воду. А льды, как известно, имеют существенно более низкую температуру поверхности по сравнению с температурой тела животных.

Указанное обстоятельство позволяет обнаружить всех тюленей, находящихся на поверхности льдов, которые на черно-белом ИК-изображении представлены яркосветящимися точками на фоне льдов, представленных в виде чёрного фона. Синхронно полученные цифровые фотографии дают возможность исключить при обработке и анализе места, где встречаются трещины и разводья, которые на ИК-изображениях представлены также в виде яркосветящихся вытянутых полос или точек. Фотографии одновременно позволяют более надёжно, чем ИК-изображения, по размеру и окраске, идентифицировать взрослое это животное или детёныш. При этом, относительно возможности использования фотографий следует отметить, что на них не всегда удаётся обнаружить детёныша, особенно вблизи торосов и ледовых нагромождений, поскольку щенок и лёд имеют близкую белую окраску, ИК-изображение позволяет устранить этот недостаток.

Далее непосредственно рассмотрим мультиспектральную технологию проведения авиасъёмки пополнения гренландского тюленя, залежки которого преимущественно формируются среди льдов на акватории Белого моря и существенно реже на льдах юго-восточной части Баренцева моря. Это, исходя из биологических особенностей, происходит ежегодно, начиная с конца последней декады февраля до начала третьей десятидневки марта, в зависимости от «суровости» зимы и текущей ледовой обстановки. Пик щенки приходится чаще всего на середину марта. В указанный промежуток времени, т.е., начиная с первых чисел марта и заканчивая второй декадой этого же месяца и выполняются учётные авиасъёмки ценных залежек гренландского тюленя. Они предусматривают в комплексе два основных уровня их осуществления, это спутниковый и самолётный, а также реже, по возможности, наземный, на специальных ледовых калибровочных площадках. В настоящей работе рассматриваются

только спутниковый и самолётный уровни. Такой подход позволяет провести исследования на обширной акватории, где могут встречаться животные с использованием специально оборудованного самолёта, подготовленного на базе Ан-26 или Л-410, что обеспечивает максимально короткий срок их осуществления, тем самым уменьшая погрешности учёта, связанные с дрейфом льдов.

До начала проведения авиаисследований (самолётный уровень), в течение месяца осуществляется мониторинг ледовых условий на акватории Белого моря и примыкающей к ней юго-восточной части Баренцева моря. Для этой цели используются спутниковые изображения и обобщённые карты ледовой обстановки, свободно распространяемые в сети Internet (спутниковый уровень).

Обычно, в отношении карт, это данные, представляемые Норвежским метеорологическим институтом, а для спутниковых изображений – информация, полученная с американских ИСЗ Terra и Aqua и серии NOAA (последний из них NOAA-20), а также со спутников Radarsat-1,2 и Sentinel-1.

Полученные таким образом сведения позволяют с высокой долей вероятности определить места пригодные для образования ценных залежек гренландского тюленя, т.к. они приурочены ко льдам с определёнными характеристиками.

После этого осуществляются собственно учётные авиасъёмки. Основным аэропортом базирования является г. Архангельск. Всего, начиная с 1998 г. до настоящего момента, по рассматриваемой технологии, успешно были осуществлены 10 подобных исследовательских авиасъёмок. Основная аппаратура, использовавшаяся для этих целей, была представлена:

- усовершенствованным тепловизором «Малахит» (ИК-сканер);
- двумя цифровыми фотоаппаратами NIKON D1X с фокусными расстояниями объективов 35 мм;
- спутниковой навигационной системой глобального позиционирования (GPS) Garmin II Plus, обеспечивающей точное самолётовождение и «привязку» ИК-изображений и фотографий по координатам.

Оптимальной высотой проведения учётных авиасъёмок с использованием мультиспектральной технологии является высота полёта 230-250 м, предпочтительно – 250 м. При этом, съёмка выполняется по регулярной сетке параллельных галсов, ориентированных вдоль меридианов, с «шагом» между ними от 7,5 до 15 км, в зависимости от присутствия, визуальной определяемой частоты и плотности, обнаруженных залежек. Вся аппаратура авиасъёмки включается синхронно при появлении

первых особей гренландского тюленя, независимо взрослые это животные или детёныши. Выключение происходит после того, как объект исследования перестаёт наблюдаться или после выхода на чистую воду и береговую черту.

При проведении учётных авиасъёмок, немаловажное значение имеют погодные условия, от которых во многом зависит качество и надёжность, полученных результатов, поскольку исследования выполняются с использованием авиасъёмочной аппаратуры не являющейся всепогодной. В связи с этим, при подготовке и проведении каждого авиасъёмочного полёта регулярно осуществляется мониторинг синоптической ситуации.

Наибольшая надёжность, результативность и качество учётных авиасъёмок с использованием мультиспектральной технологии могут быть получены, если этот вид исследований будет проведён, как можно, за более короткий промежуток времени на акватории Белого моря и примыкающих к ней участках юго-восточной части Баренцева моря. Как показывает накопленный нами опыт осуществления рассматриваемых исследований, оптимально это за период не более семи дней, при общем количестве лётных часов не более 40.

Использование мультиспектральной технологии при осуществлении учётных авиасъёмок пополнения гренландского тюленя впервые было представлено на совместной РГ ИКЕС/НАФО/НАММКО по гренландскому тюленю и хохлачу в 1998 г., где она получила высокую оценку, поддержку и одобрение, и была рекомендована к использованию на других морских акваториях, где обитают тюлени ледовых форм.

**ПРОВЕРКА ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА  
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СКОРОСТЬ БИОКОРРОЗИИ НА СТАЛЬНЫХ И  
ПЛАСТИКОВЫХ ОБРАЗЦАХ, РАЗМЕЩЕННЫХ В МОРСКОЙ  
ВОДЕ КАРСКОГО МОРЯ**

**Васильев Н.В.<sup>1</sup>, Сапожников Ф.В.<sup>2</sup>, Торопов М.Н.<sup>1</sup>, Зубов П.А.<sup>1</sup>, Чикина  
М.В.<sup>2</sup>, Калинина О.Ю.<sup>2</sup>, Кондарь Д.В.<sup>2</sup>, Удалов А.А.<sup>2</sup>, Любимов И.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*«Российский университет транспорта (МИИТ)», 127994, Москва, ул  
Образцова д.9 стр 9 +7(495)684-24-98, +7(909)669-40-28, [tu@miit.ru](mailto:tu@miit.ru)*

<sup>2</sup>*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 117997, Российская  
Федерация, Москва, Нахимовский проспект, дом 36*

**CHECKING THE EFFECT OF ENERGY METHOD OF IMPACT ON THE  
RATE OF BIOCORROSION ON STEEL AND PLASTIC SAMPLES PLACED  
IN THE WATER OF THE KARA SEA**

**Vasilev N.V.<sup>1</sup>, Sapozhnikov Ph.V.<sup>2</sup>, Toropov M.N.<sup>1</sup>, Zubov P.A.<sup>1</sup>, Chikina  
M.V.<sup>2</sup>, Kalinina O.Y.<sup>2</sup>, Kondar D.V.<sup>2</sup>, Udalov A.A.<sup>2</sup>, Liubimov I.V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Russian University of Transport (MIIT) 9b9 Obrazcova Ulitsa, Moscow 127994*  
<sup>2</sup>*P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences 36  
Nakhimovsky prospect, Moscow 117997*

О первых результатах эксперимента по снижению скорости биокоррозии материалов в морской воде с использованием экологически чистого "метода энергетического воздействия", применяемого для продления ресурса теплоэнергетического оборудования

About the first results of an experiment to reduce the rate of biocorrosion of materials in seawater using an environmentally friendly "energy impact method" used to extend the life of thermal power equipment.

Статья посвящена исследованиям по изучению изменений стальных и пластиковых образцов в процессе морской биокоррозии в зависимости от концентрации в воде и на границах фаз механоактивированных химически инертных минералов (цеолитов) - далее «энергента» и является продолжением работ [1,2]

Постановка и проведение эксперимента стала возможной благодаря сотрудничеству специалистов Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН (ИОРАН) и Института транспортной техники и систем управления РУТ (МИИТ).

*Кратко об эксперименте.*

С целью проведения эксперимента при реальных, динамически меняющихся условиях (качка, ускорения, температура, давление), кассеты из ПВХ (рис. 1) с закреплёнными на них образцами материалов были помещены в восемь 20-литровых флаг (рис. 2). На борту НИС «Академик Мстислав Келдыш» флаги разместили на открытой палубе, закрепив на паллетах к фальшборту. Заполнение флаг №№1-4 морской водой и внесение энергента проводилось 24.09.22 на станции №7473, в заливе Благополучия архипелага Новая Земля, по схеме: флага №1- контрольная вода, флаги №№ 2-4 с вода с пошаговым (500 мг/л) увеличением дозы энергента в каждой последующей флаге (т.е. 500, 1000, 1500 мг/л). Заполнение флаг №№ 5-8 проводилось 29.09.2022 на станции №7494, к северу от архипелага Северная Земля, по той же схеме. Координаты станций приведены в таблице 1. Одновременно с отбором воды из поверхностного слоя моря и заполнением флаг замерялись физико-химические характеристики воды в этом слое.

Таблица 1 Локации и время заливки кассет морской водой

Станция/ Дата	Время (GMT)	Долгота	Широта	Глубина моря, м	Соленость (S), ‰
7473/09.24.22	12:45	63,631	75,634	60	25,11
7494/09.29.22	21:30	78,486	82,228	1652	32,33

После окончания рейса флаги с водой и образцами были доставлены в ИОРАН в прочных пластиковых ящиках и размещены для дальнейшей экспозиции образцов в морской воде (с энергентом и без) в периодически освещаемом коридоре, при температуре 15-20 °С. В ходе текущего экспонирования производятся плановые осмотры образцов с фотофиксацией и плановая выемка образцов для анализов. Время первой экспозиции указано в таблице 2.

Таблица 2 Время экспозиции образцов до первой выемки

Номер станции/ номера фляг	Дата и время заполнения водой, мск	Дата окончания первого этапа экспозиции, длительность дн, ч
7473/1-4	24.09.2022, 12.45	13.10.2022, (19 дн) - 469ч
7494/5-8	29.09.2022, 21.30	13.10.2022, (15 дн) - 357ч



Рис. 1 - кассеты из ПВХ



Рис.2- размещение кассет

Для образцов использовались следующие материалы:

- стальные образцы – труба ст.3, протравленная, по 4 образца в каждой кассете; всего 32 образца.

- основные пластиковые образцы в кассете - пластины из листового полимерного материала – по 7 шт (ПЭТ, ПЭВД, ПП, ПС).

Пластины различаются по типу полимера и форме поверхности: плоская гладкая (ПЭТ толстый и тонкий, ПЭВД, ПС), гофрированная в плоскости (ПС, ПП), изогнутая гофрированная (ПС). Материалы были подобраны исходя из распространения в составе пластикового мусора (одноразовой упаковки), наиболее часто встречающегося в морях. Всего было экспонировано 56 образцов.

-дополнительные пластиковые образцы - материал кассеты ПВХ белый, ремешки-стяжки белые -полиамид 66, ремешки-стяжки черные – капрон, материал фляг – полиэтилен низкого давления, используемый для хранения пищевых продуктов и питьевой воды.

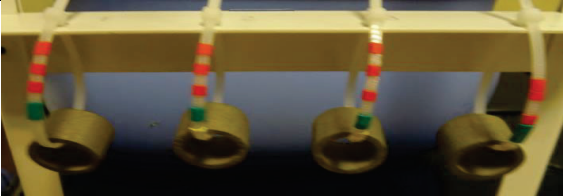
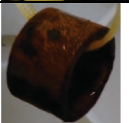
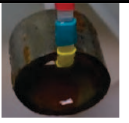


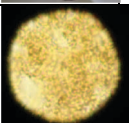
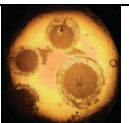
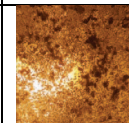
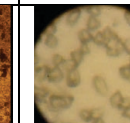



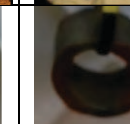
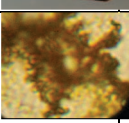
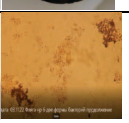
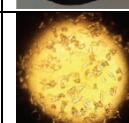
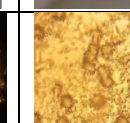
На момент написания статьи происходит обработка материала из первой выемки образцов (по 1 образцу металла и по 7 фрагментов пластика, отрезанных от пластин). Оставшиеся во флягах образцы будут изыматься для исследований в соответствии с временным шагом эксперимента. Для удобства работы был введен термин СЭО (стенд

экспозиции образцов). СЭО1 – состоит из фляг №№1-4, а СЭО2 – состоит из фляг №№ 5-8

*Предварительные результаты.*

Результаты визуального осмотра стальных и пластиковых образцов соответствуют ожиданиям в части снижения скорости обрастания, являющегося фактором биологической коррозии (см таблицу 3).

Таблица 3

Концентрация энергента, мг/л	0 мг/л	500 мг/л	1000 мг/л	1500 мг/л
Исходное состояние				
СЭО 1 сталь Экспозиция 469 часов				
СЭО 1 пластик Экспозиция 469 часов				
СЭО 2, сталь Экспозиция 357 часов				
СЭО2, пластик Экспозиция 357 часов				

Фотографии пластиковых образцов, приведённые в таблице 3, вносят определённую ясность в понимание причины состояния поверхности стальных образцов в средах с различным содержанием энергента (от 0 до 1500 мг/л). В фоторядах фрагментов пластика, находившихся совместно со стальными в СЭО1 и СЭО2, прослеживается изменение количества железобактерий: от обильных колоний при



отсутствии энергента в среде, до полного исчезновения колоний бактерий (содержание энергента 1000 и 1500 мг/л). Колонии бактерий – в виде жёлто-бурых и красноватых хлопьев, плотно покрывающих поверхность пластика - выглядят на ч/б фотографии как черные «цифры» в таблице по проверки цветного зрения (СЭО1) или как черный иероглиф (СЭО2), а осевший на такие же поверхности энергент - как разноплотные поля из микрочастиц, в т.ч. формирующие собственные орнаменты, конфигурация которых зависит от концентрации энергента. Значимое присутствие колоний железобактерий не прослеживается на пластике уже при концентрации энергента 500 мг/л.

### *Заключение*

Предварительное знакомство с состоянием образцов позволяет сделать следующие выводы.

1. В морской воде Карского моря при температурах воды в районе нуля градусов по Цельсию при реальных эксплуатационных судовых динамических нагрузках в частично изолированных испытательных объемах (при доступе кислорода извне), идет активное обрастание таких конструкционных материалов как сталь, ПЭТ, ПЭВД, ПП, ПС, полиамид, капрон и поливинилхлорид. При наличии в объемах стальных изделий в обрастании преобладают железобактерии (матрикообразующие формы, биогенная ржавчина). При этом на синтетических полимерах развивается налёт из тех же морфотипов колоний ржавчинных бактерий, что и на металле.

2. В морской воде Карского моря при тех же условиях и температурах, но с добавками энергента, заметно значительное снижение интенсивности образования колоний матрикообразующих железобактерий на образцах из стали, ПЭТ, ПЭВД, ПП, ПС, полиамида 66, капрона и поливинилхлорида, т.е. заметно снижение скорости обрастания и размеров зон биокоррозии.

3. Существенного влияния разной солености воды на скорость обрастания образцов в чистой воде и в воде с энергентом - не замечено.

4. Учитывая экологическую безвредность энергента, представляется вероятным, что выявленные свойства помогут удешевить процессы очистки балластных вод и зачистки балластных танков судов, работающих в северных морях.

5. Ожидается, что результаты лабораторных исследований будут доложены на конференции МСОИ 2023.

Выражаем благодарность руководству института и сотрудникам лаборатории Экологии прибрежных донных сообществ и Экологии

планктона ИО РАН, обеспечившим возможность проведения внепланового эксперимента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Н.В. Метод снижения скорости коррозии и образования отложений в морской и пресной воде. // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции «МСОИ2017». Том 2. М., 2017. С155157.
2. Васильев Н.В., Торопов М.Н., Селиванов А.С. Проверка метода снижения скорости коррозии в морской и пресной воде в застойных зонах затопленных конструкций// Современные методы и средства океанологических исследований («МСОИ 2021») : Материалы XVII Международной научно-технической конференции Том 2. М., Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 2021. 278 с

УДК 504.42(269.718):504.054

### **МОРСКОЙ МУСОР В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ 2016-2022 ГГ.**

**Погожева М.П.<sup>1,2</sup>, Гонзалес-Фернандес Д.<sup>3</sup>, Третьяк И.П.<sup>4</sup>,  
Котельникова Ю.<sup>4</sup>, Мачидадзе Н.<sup>5,6</sup>, Билашвилли К.<sup>5</sup>, Ханке Г.<sup>7</sup>**

<sup>1</sup>Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Москва, Россия, [pogojeva\\_maria@mail.ru](mailto:pogojeva_maria@mail.ru), 8-909-945-80-40

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г.Москва, Россия,

<sup>3</sup>Университет Кадиз, г.Кадиз

<sup>4</sup>Украинский центр экологии моря, г. Одесса,

<sup>5</sup>Тбилисский государственный университет имени Ивана Джавахишвили, г. Тбилиси,

<sup>6</sup>Институт Геологии Ал. Джанелидзе, г. Тбилиси,

<sup>7</sup>ЕК Центр совместных исследований, г. Испра

### MARINE LITTER IN THE BLACK SEA ACCORDING TO OBSERVATIONS 2016-2022

M. Pogojeva<sup>1,2</sup>, D. González-Fernández<sup>3</sup>, I. Tretiak<sup>4</sup>, Y. Kotelnikova<sup>4</sup>,  
N. Machitadze<sup>5</sup>, K. Bilashvili<sup>5</sup>, G. Hanke<sup>6</sup>

<sup>1</sup>*N.N.Zubov's State Oceanographic Institute, Roshydromet, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*University Kadiz.*

<sup>4</sup>*Departamento de Biología, Instituto Universitario de Investigación Marina, University of Cádiz and European University of the Seas, Puerto Real, Spain*

<sup>5</sup>*Ukrainian Center of Ecology of the Sea, Odessa, Ukraine*

<sup>6</sup>*Iv. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

<sup>7</sup>*EC Joint Research Centre, Ispra, Italy*

В данной работе подводятся итоги первичной оценки загрязненности морским мусором Черного моря в масштабах всего бассейна. Рассматривалось его поступление с водами рек, концентрации пляжного и плавающего мусора, а также микропластика в водной толще и в донных отложениях.

This paper summarizes the results of the initial basin wide assessment of marine litter pollution in the Black Sea. Marine floating macro litter, riverine litter, beach litter, as well as microplastics in the water column and in bottom sediments were considered in this study.

В настоящее время загрязнение морским мусором, особенно состоящим из пластика, является одной из наиболее актуальных проблем антропогенного воздействия на морскую среду в глобальном масштабе [1]. По текущим оценкам количество пластика, поступающего с суши в морскую среду ежегодно, варьируется от 4,5 до 12,7 млн т, еще 1,75 млн т происходит из морских источников, таких как рыболовство, аквакультура (рыбоводство) и судоходство [2]. Макропластик (бутылки, пакеты и пр.) и микропластик (фрагменты и синтетические волокна размером менее 5 мм) [3] обнаруживаются во всех природных средах. В 2013-2020 гг. на Черном море осуществлялся ряд проектов, нацеленных на усовершенствование методов мониторинга морской среды (ЭМБЛАС-I, ЭМБЛАС-II, ЭМБЛАС-Плюс) и выполняющихся в поддержку реализации Бухарестской Конвенции с целью развития системы комплексного мониторинга Черного моря, сбора и управления данными и повышения уровня квалификации профильных специалистов в причерноморских государствах. В рамках этих проектов была проведена первичная оценка загрязненности морским мусором Черного моря в масштабах всего бассейна. Рассматривалось его поступление с водами рек [4], концентрации пляжного и плавающего мусора [5], а также микропластика в водной толще и в донных отложениях. Для регистрации данных о макромулосоре использовалась международная

методика, включающая визуальные наблюдения и регистрацию мусора с помощью специализированных мобильных приложений. Методика содержит единый перечень и классификацию наблюдаемого мусора, что упрощает процесс обработки и анализа данных и позволяет их сравнивать с данными подобного мониторинга в других районах. Полученные данные помогают получить представление о количестве плавающего мусора, проанализировать его состав по категориям и приблизительный размер. Наблюдения проводились силами предварительно обученных наблюдателей на специально выбранных репрезентативных пляжах, с мостов в устьях рек в течение года и во время проведения комплексных экспедиций на научных судах в море. Средняя концентрация пляжного мусора составила 652 шт/100 м (83% пластик), средняя концентрация плавающего мусора составила 90.4 шт/км<sup>2</sup> (97% пластик), а количество мусора, поступающего с водами рек, варьировало от 6 до 72 шт/час (84 % пластик). Микропластик в водной толще был обнаружен в 10 пробах из 14, и в 83% проб донных отложений. Наибольшее содержание частиц микропластика было отмечено в северо-западной шельфовой части моря, средняя концентрация составила 107 шт/кг [6].

В настоящее время существенно недостает данных по оценке уровня загрязнения морским мусором в Черном море и путях его поступления, которые связаны в основном с отсутствием программ регулярного мониторинга морского мусора в странах Черного моря. В то же время это является глобальной экологической проблемой, которая угрожает морской фауне, прибрежным экосистемам, приморскому населению и развитию морской экономики, включая туристическую индустрию, рыболовство и судоходство. Это постоянно и быстро нарастающая проблема, которую необходимо должным образом решать с помощью целенаправленного сокращения производства пластиковых отходов, регулирования законодательства, усовершенствования системы обращения с отходами и сопутствующей инфраструктуры на местном, национальном и региональном уровнях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kershaw P.J. Marine plastic debris and microplastics global lessons and research to inspire action and guide policy change. Nairobi: UNEP, 2016. 192 с.
2. Jambeck J.R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T.R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K.L. Plastic waste inputs from land into the ocean // Science. American Association for the Advancement of Science. 2015. V. 347. № 6223. P. 768–771.

3. Galgani F., Hanke G., Werner S., Oosterbaan L., Nilsson P., Fleet D., Kinsey S., J. van Franeker R. T., Vlachogianni T., Scoullou M., Mira Veiga J., Palatinus A., Matiddi M., Maes T., Korpinen S., Budziak A., Leslie H., Gago J., Liebez G. Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas // European Commission, Joint Research Centre. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter (TG ML). 2013. № EUR 26113. P. 1-126.
4. González-Fernández D., Pogojeva M., Hanke G., Machitadze N., Kotelnikova Y., Tretiak I., Savenko O., Gelashvili N., Bilashvili K., Kulagin D., Fedorov A., M. Şenyiğit Ç. Anthropogenic litter input through rivers in the Black Sea. In: Marine Litter in the Black Sea (eds., Aytan, Ü., Pogojeva, M., Simeonova, A.). Marine Litter in the Black Sea. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV). – 2020. – Publication No: 56. – Istanbul, Turkey – C. 183-191
5. D. González-Fernández, G. Hanke, M. Pogojeva, N. Machitadze, Y. Kotelnikova, I. Tretiak, O. Savenko, K. Bilashvili, N. Gelashvili, A. Fedorov, D. Kulagin, A. Terentiev, J. Slobodnik. Floating marine macro litter in the Black Sea: Toward baselines for large scale assessment // Environmental Pollution. – 2022. – Volume 309, 119816. – ISSN 0269-7491. – <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119816>.
6. "Alessandra Cincinelli, Costanza Scopetani, David Chelazzi, Tania Martellini, Maria Pogojeva, Jaroslav Slobodnik, Microplastics in the Black Sea sediments, Science of The Total Environment, Volume 760, 2021, 143898, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143898> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720374295>)

УДК 551.46.0

## ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ ВОД НА ФОРМИРОВАНИЕ СКОПЛЕНИЙ АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ

**Фофанов Д.В.<sup>1</sup>, Семькина М.А.<sup>2</sup>**

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

<sup>1</sup>*e-mail: [fofanov.dv@phystech.edu](mailto:fofanov.dv@phystech.edu)*

<sup>2</sup>*e-mail: [semykina.m@ocean.ru](mailto:semykina.m@ocean.ru)*

# INFLUENCE OF WATER DYNAMICS IN THE ATLANTIC PART OF ANTARCTIC ON THE FORMATION OF ANTARCTIC KRILL ACCUMULATIONS

Fofanov D.V.<sup>1</sup>, Semykina M.A.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii Prosp., Moscow, 117997*

Исследовано влияние параметров динамики вод в Атлантической части Антарктики на плотность скоплений антарктического криля. Выполнен качественный анализ реконструированной альтиметрии проведено сопоставление с данными антарктической экспедиции 2019-2020 гг.

The effect of water dynamics parameters in the Atlantic part of the Antarctic on the density of Antarctic krill aggregations has been studied. A qualitative analysis of the reconstructed altimetry was carried out and compared with the data of the 2019-2020 Antarctic expedition.

Специфику океанологических процессов в АЧА определяют такие макромасштабные процессы как: огибные течения, круговорот моря Уэдделла (КУ), антарктический конвергенция (АК) и антарктическая дивергенция (АД), которые существуют в силу взаимодействия Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) с материком и островами. В зависимости от географического положения, рельефа и морфологии дна, климатических отличий, в АЧА можно выделить воды различной модификации. Различным модификациям вод соответствуют специфические биотопы, в свою очередь динамика вод разной модификации влияет на состояние и развитие биоценозов, в том числе на криль. Под действием климатических факторов формируется поверхностный слой вод различной модификации, обладающие разными характеристиками и залегающие на различных глубинах (от 150 до 200 м): «антарктическая поверхностная водная масса (АПВ), субантарктическая поверхностная водная масса (САПВ), субтропическая поверхностная водная масса (СПВ)» [1].

В работе также задействованы данные реконструированной альтиметрии. Данная реконструкция выполнена с помощью циклостационарных эмпирических ортогональных функций (далее - CSEOF), полученных на основе спутниковой альтиметрии, с историческими измерениями уровня моря мареографами [2]. Предыдущие

реконструкции уровня моря использовали эмпирические ортогональные функции (далее - EOF) в качестве базовых функций. С использованием циклостационарных эмпирических ортогональных функций оказалось возможным вычислить альтернативную реконструкцию уровня моря, которая оказывается более точной.

Авторами были обработаны данные промысловых атласов по основным районам вылова антарктического криля с целью вычисления динамики вылова траловым флотом на судосутки в тоннах. В результате анализа были получены кривые вылова по подрайонам и их суммирующая (рис. 8). С целью сопоставления динамики вылова криля и влияния на него гидрофизических процессов было также проведено осреднение и визуализация реконструированной динамической топографии за 1980-1989 гг. Путем наложения данных суммарного тралового вылова на карту осредненной реконструированной альтиметрии за каждый год были получены визуальные результаты для качественного анализа влияния динамики вод на вылов за 1980-89 гг.

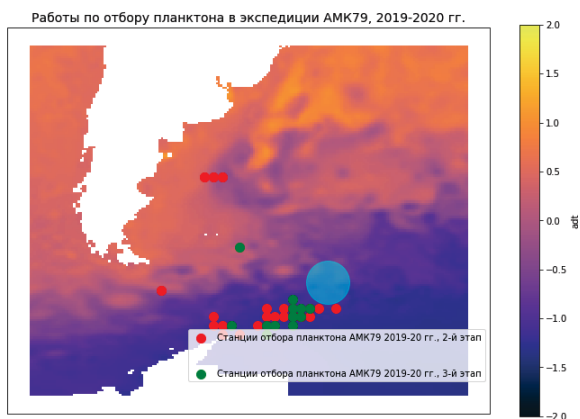


Рис. 1. Выполненные станции по отбору планктона АМК79 на карте АДТ.

В работах 79-го рейса НИС “АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ”, длительность которого составила 160 дней (с 1 декабря 2019 г. по 8 мая 2020 г.) мы выполняли задачи по оценке гидрофизических процессов, оценке состояния морской структуры и биологической продуктивности антарктических вод с целью определения характера влияния струйной структуры АЦТ на главные этапы жизненного цикла антарктического криля. При этом всего было выполнено 179 станций STD-зондирования и 168 станций LADCP-зондирования. Экспериментальный

вылов выполнялся конусной сетью планктонного лова Апштейна (всего - 29 станций), сетями Джели (всего - 35 станций), сетями Бонго (всего — 38 станций), а также тралами Айзека-Кидда РТАКСА и Сигсби (17, 12 станций, соответственно) [3].

Отмеченные на рис. 1 станции второго и третьего этапа на пространственной карте спутниковых данных АДТ выполнялись соответственно:

- во втором этапе в период 09.01-07.02.2020г. после захода в п. Монтевидео (7-8.01.2020г.) в проливе Дрейка и проливе Брансфилда, и в бассейне Пауэлла;

- в третьем этапе в период 9.02-3.03.20г. в тех же акваториях.

Полученные в антарктической экспедиции 2019-20 гг. результаты, после обработки и сопоставления с подспутниковыми измерениями, и подкрепленные выявленными зависимостями между (статистический анализ) между данными реконструированной ДАТ и данными промысловых атласов, в дальнейшем позволят прогнозировать области повышенной концентрации крилевых скоплений в традиционных и океанических районах промысла на основе особенностей мезомасштабной динамика вод за 4-6 месяцев до начала промысла. Это в свою очередь позволит лимитировать величины промыслового изъятия в конкретном районе промысла с учетом потребностей птиц, рыб и млекопитающих.

Работа поддержана грантом РФФ 21-77-20004.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Морозов Е.Г., Спиридонов В.А., Молодцова Т.Н., Фрей Д.И., Демидова Т.А., Флинт М.В. Исследования экосистемы атлантического сектора Антарктики (79-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш»), Океанология 2020, том 60. № 5. С. 823-825
- 2 Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Водные массы и циркуляция Южного океана. - Л.: Гидрометеоздат, 1986. - С. 288.
- 3 Hamlington, B. D., R. R. Leben, R. S. Nerem, W. Han, and K.-Y. Kim (2011), Reconstructing sea level using cyclostationary empirical orthogonal functions, Journal of Geophysical Research, 116.



**РАЗРАБОТКА МНОГОВИДОВОЙ МОДЕЛИ СООБЩЕСТВА РЫБ  
НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ЕГО ВЕСОВОГО СПЕКТРА**

**Подгорный К. А.<sup>1</sup>, Дмитриева О. А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»),  
236022, Калининград, Россия, ул. Дм. Донского, д. 5,  
факс: 8(4012)21-99-97, E-mail: [kapborok@mail.ru](mailto:kapborok@mail.ru), [phytob@yandex.ru](mailto:phytob@yandex.ru)*

<sup>2</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36  
факс: 8(499)124-59-83, E-mail: [phytob@yandex.ru](mailto:phytob@yandex.ru)*

**DEVELOPMENT OF A MULTI-SPECIES MODEL FOR A FISH  
COMMUNITY BASED ON THE USE OF ITS WEIGHT SPECTRUM**

**Podgornyy K. A.<sup>1</sup>, Dmitrieva O. A.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography "VNIRO"  
Atlantic branch of VNIRO ("AtlantNIRO"),*

*5 Dm. Donskogo Str., 236022, Kaliningrad, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36 Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia*

Рассмотрена разработка многовидовой модели сообщества рыб на основе весового спектра особей и источников их питания. Описаны процессы, которые имеют место на индивидуальном уровне и на уровне сообщества. Для параметризации процессов использовано аллометрическое масштабирование.

The development of a multi-species model for a fish community based on the weight spectrum of individuals and their food sources is considered. The processes that take place at the individual level and at the community level are described. Allometric scaling was used to parameterize the processes.

В последнее время все большее развитие получают такие модели водных экосистем, которые дополнительно включают в себя и многовидовые модели рыб. Структура комплексных моделей предполагает,

что в них должны быть представлены все ключевые компоненты экосистемы – от первичных продуцентов до высших хищников, связанные между собой посредством трофических взаимодействий и подверженные влиянию абиотических условий среды. Использование соответствующих моделей рассматривают в качестве основы реализации экосистемного подхода к организации и ведению рыболовства.

В данной работе представлена общая теоретическая основа, которая позволяет построить многовидовую модель сообщества рыб применительно к разным типам водных экосистем с учетом конкретной структуры пищевой сети. Она может быть использована для расчета ряда практически важных характеристик промысловых запасов рыб на основе имеющихся их размерных данных.

В водных экосистемах размер (вес) организма является важным параметром, который регулирует многие биологические процессы. Использование спектров размеров для характеристики водной экосистемы представляет собой подход, который позволяет свести сложную пищевую сеть к достаточно простому ее представлению. Многовидовая модель построена с использованием размерных характеристик особей разных видов рыб и источников их питания. Модель основана на признаках. Поэтому она не является моделью трофической сети в традиционном ее понимании, когда все виды в ней представлены явно. Применение аллометрического масштабирования при описании процессов на основе индивидуального и асимптотического размера делает количество управляющих параметров в модели относительно небольшим. Большинство из них может быть определено на основе базовых физиологических соотношений масштабов или межвидового анализа сообществ рыб [4].

В модели описаны процессы, которые имеют место на индивидуальном уровне: встречи с разными источниками пищи, рост, смертность и воспроизводство [3]. Она представляет сообщество рыб как континуум «видов» с возрастающей асимптотической массой тела. В вычислительной реализации континуум представлен в виде дискретного количества асимптотических весовых классов, которые в модели для простоты называются «видами». Каждый такой «вид»  $j$  в модели характеризуется своей асимптотической массой тела  $W_{\infty}^j$ , а популяция – распределением по размерам  $N_j(w)$  (размерным спектром) [5]. На этой основе появляется возможность моделирования временной динамики размерного (весового) спектра сообщества. Чтобы построить спектр размеров, необходимо в заданном объеме системы подсчитать и/или смоделировать количество особей (независимо от их «вида») в выделенных

весовых группах [3]. Теоретически количество особей в каждой размерной группе часто демонстрирует степенную зависимость от веса. Однако в силу локальных особенностей функционирования экосистем теоретические закономерности масштабирования в некоторых случаях могут иметь ограниченный диапазон действия и претерпевать переход от одного показателя масштабирования к другому при некотором характеристическом размере [2].

У модели, которая строится на основе размерных характеристик, есть целый ряд важных преимуществ. Такая модель открывает новые возможности для применения при оценке запасов с недостаточным объемом данных, а также оценке тех изменений, которые вызваны ведением промысла.

Существует важный проблемный вопрос современных исследований: как мы можем выполнить оценку запасов с недостаточным объемом данных, когда параметры, необходимые для оценки на основе возраста, неизвестны? Ответить на этот вопрос на основе модели Бивертон-Холта достаточно сложно. Это связано с тем, что фундаментальный недостаток теории, основанной на возрасте, заключается в том, что возраст является слабым предиктором многих соответствующих процессов [1]. Размер тела – будь то длина или вес – оказываются более важным для описания физиологических процессов, чем возраст. С биологической, рыбопромысловой и экономической точек зрения размер тела является естественной структурной переменной для описания процессов в популяциях рыб.

У теории, которая строится на основе размерных характеристик, есть целый ряд важных преимуществ по сравнению с теорией, построенной на возрасте [1]:

- измерять размер проще, дешевле и точнее, чем измерять возраст;
- она открывает новые возможности для применения при оценке запасов с недостаточным объемом данных, а также оценке тех изменений, которые вызваны ведением рыбного промысла;
- она представляет собой всеобъемлющее построение, в рамках которой теория, основанная на возрастной структуре, является ее частным случаем.
- теория, основанная на размерах, позволяет прогнозировать количество образующихся икринок. Следовательно, для характеристики пополнения не требуется внешний параметр, зависящий от запаса. Такой прогноз выполняется на основе составления биоэнергетического бюджета рыб;
- параметры в теории, основанной на размерах, по большей части представляют собой константы (инварианты) жизненного

цикла. Таким образом, теорию, основанную на размерах, можно интерпретировать как теорию, основанную на признаках, из-за постоянных параметров жизненного цикла. «Главный признак» – это асимптотический вес  $W_{\infty}$  рыбы. Поэтому можно сделать ряд общих предсказаний для всех видов рыб, просто зная значение  $W_{\infty}$ . Разработка теории, основанной на размере, не заменяет существующую теорию, основанную на возрасте, а расширяет и дополняет ее.

Методы и подходы, основанные на использовании весовых и размерных характеристик популяций рыб, вполне созрели для того, чтобы быть полезными для выработки практических рекомендаций по рыболовству. Они уже активно применяются для разработки оценок запасов с недостаточным объемом данных, а также при разработке программных продуктов и построении экосистемных моделей. В этом направлении нужны дальнейшие, более систематические исследования. Особенно это относится к исследованиям энергетического бюджета рыб.

*Исследования проведены в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00007-22-00 часть II, раздел 5 и государственного задания ИО РАН им. П.П. Ширшова № FMWE-2021-0007.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Andersen, K. H. Size-based theory for fisheries advice // ICES Journal of Marine Science. 2020. Vol. 77. P. 2445–2455. doi: 10.1093/icesjms/fsaa157
2. Andersen, K. H. Characteristic sizes of life in the oceans, from bacteria to whales / K. H. Andersen, T. Berge, R. J. Gonçalves, M. Hartvig, J. Heuschele, S. Hylander, N. S. Jacobsen, C. Lindemann, E. A. Martens, A. B. Neuheimer, K. Olsson, A. Palacz, F. Prowe, J. Sainmont, S. J. Traving, A. W. Visser, N. Wadhwa, T. Kiørboe // Annu. Rev. Mar. Sci. 2016a. Vol. 8. P. 1–25.
3. Andersen, K. H. Asymptotic size determines species abundance in the marine size spectrum / K. H. Andersen, J. E. Beyer // The American Naturalist. 2006. Vol. 168. P. 54–61.
4. Andersen, K. H. Damped trophic cascades driven by fishing in model marine ecosystems / K. H. Andersen, M. Pedersen // Proc. R. Soc. B. 2010. Vol. 277. P 795–802. doi: 10.1098/rspb.2009.1512
5. Jacobsen, N. S. The consequences of balanced harvesting of fish communities / N. S. Jacobsen, H. Gislason, K. H. Andersen // Proc. R. Soc. B. 2014. Vol. 281: 20132701. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2701>

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
ТРАНСФОРМАЦИИ DON, DOP, DOSi В ЭКОСИСТЕМЕ  
ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

**Подгорный К. А.<sup>1</sup>, Дмитриева О. А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»),  
236022, Калининград, Россия, ул. Дм. Донского, д. 5,  
факс: 8(4012)21-99-97, E-mail: [kapborok@mail.ru](mailto:kapborok@mail.ru), [phytob@yandex.ru](mailto:phytob@yandex.ru)*

<sup>2</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36  
факс: 8(499)124-59-83, E-mail: [phytob@yandex.ru](mailto:phytob@yandex.ru)*

**MATHEMATICAL MODELING OF THE DON, DOP, DOSi  
TRANSFORMATION PROCESSES IN THE VISTULA LAGOON  
ECOSYSTEM, THE BALTIC SEA**

**Podgorny K. A.<sup>1</sup>, Dmitrieva O. A.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography "VNIRO"  
Atlantic branch of VNIRO ("AtlantNIRO"),*

*5 Dm. Donskogo Str., 236022, Kaliningrad, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36 Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia*

Приведены результаты моделирования процессов трансформации соединений растворенных органических веществ (DON, DOP, DOSi) в экосистеме Вислинского залива (ВЗ) Балтийского моря. Описаны характерные особенности их внутригодовой динамики, значений времени оборота и составляющих годового баланса.

The results of modeling the processes of transformation for compounds of dissolved organic substances (DON, DOP, DOSi) in the ecosystem of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea are presented. The characteristic features of their intra-annual dynamics, the values of the turnover times and the components of the annual balance are described.

Разработка и формирование структуры экологической имитационной модели выполнены с учетом имеющейся гидробиологической и гидрохимической базы данных наблюдений АтлантНИРО. Методика построения математической модели ВЗ и проверка ее адекватности рассмотрены ранее [1, 2]. Результаты моделирования показали, что по характерным особенностям внутригодовой динамики значений времени оборота модельных переменных, а также потоков растворенных и взвешенных веществ между выделенными компонентами модели, можно выделить три временных промежутка: 1–120, 121–273, 274–365 сут.

**Растворенный органический азот.** В течение первых 120 сут концентрация DON в воде ВЗ менялась в пределах от 0.24 до 0.51 мг/л и в среднем составила около 0.35 мг/л. В этот период временная изменчивость содержания DON в воде относительно невелика. Коэффициент вариации не превышает 20 %. На временном промежутке 121–273 сут концентрация DON в воде постепенно снижается. В этот период существенно возрастает ее временная изменчивость. Коэффициент вариации близок к 50 %. На промежутке 120–273 сут концентрация DON в воде ВЗ менялась в пределах от 0.14 до 0.55 мг/л и в среднем составляла около 0.26 мг/л. На временном промежутке 274–365 сут средняя концентрация DON в воде увеличивается до 0.2 мг/л, а диапазон изменения составил 0.15–0.3 мг/л. Коэффициент вариации не превышал 19 %.

Количественная оценка значений времени оборота DON позволяет оценить интенсивность круговорота DON в экосистеме ВЗ. Данные моделирования показали, что на промежутке 1–120 сут среднее время оборота DON составляет около 14 сут, а диапазон изменчивости – от 8 до 19 сут. На втором временном промежутке (121–273 сут) среднее время оборота снижается до 4.6 сут, а минимальное значение составляет 2.4 сут. Это свидетельствует о существенной интенсификации биогидрохимических процессов трансформации DON. К концу года на промежутке 274–365 сут время оборота DON снова увеличивается и составляет в среднем 9 сут, а диапазон изменчивости – от 4 до 14 сут.

Модельный расчет составляющих баланса DON в экосистеме ВЗ показал, что на временных промежутках 1–120 и 274–365 сут наиболее важными факторами, которые определяют содержание DON в воде залива, являются его поступление из внешних источников и вынос в море. На втором временном промежутке (121–273 сут) существенно возрастает роль внутриводоемных процессов биогидрохимической трансформации. Наиболее важными являются процессы потребления DON гетеротрофными бактериями, экскреции DON планктонными и бентосными организмами. Следует отметить и достаточно существенную роль простейших организмов. В суммарном годовом балансе потребление DON

простейшими составляет примерно половину от суммарного потребления DON гетеротрофными бактериями.

**Растворенный органический фосфор.** Результаты моделирования показали, что внутригодовая динамика содержания DOP в водной среде ВЗ не имеет четко выраженных сезонных особенностей. На протяжении всего года средняя концентрация DOP в воде близка к 0.02 мг/л. Диапазон изменений значений DOP невелик: от 0.01 до 0.03 мг/л. Коэффициенты вариации для рассматриваемых временных промежутков меняются в пределах от 14.9 до 18.8 %.

Данные моделирования показали, что на промежутке 1–120 сут среднее время оборота DOP составляет около 12 сут, а диапазон изменчивости – от 4.2 до 16.5 сут. На втором временном промежутке (121–273 сут) среднее время оборота снижается до 3.5 сут, а минимальное значение составляет 2.4 сут. Это свидетельствует о существенной интенсификации биогидрохимических процессов трансформации DOP. К концу года на промежутке 274–365 сут время оборота DOP снова увеличивается и составляет в среднем 10 сут, а диапазон изменчивости – от 4.4 до 16.7 сут. Коэффициенты вариации для рассматриваемых временных промежутков меняются в пределах от 20 до 31 %.

Можно отметить высокую степень соответствия основных качественных особенностей и характера временной динамики времени оборота для DOP и DON. Это свидетельствует о тесной сопряженности процессов трансформации органических веществ в воде ВЗ.

Данные моделирования свидетельствуют о том, что наиболее важным источником поступления DOP в водную среду ВЗ является процесс экскреции растворенного органического вещества планктонными организмами и макрофитами. По сравнению с этим, экскреция DOP бентосными организмами меньше в 3.6 раза, а поступление DOP с речным стоком – в 5.5 раз. Наиболее важными процессами, которые приводят к уменьшению содержания DOP в водной среде, являются: потребления DOP гетеротрофными бактериями, фитопланктоном и простейшими, а также вынос DOP из залива в море. В суммарном годовом балансе потребление DOP простейшими составляет примерно половину от суммарного потребления DOP гетеротрофными бактериями.

**Растворенный органический кремний.** По данным моделирования в течение всего года средняя концентрация  $\text{DOSi}$  в воде ВЗ менялась незначительно – от 0.08 до 0.12 мг/л. Диапазон изменения  $\text{DOSi}$  составил 0.04–0.21 мг/л. Коэффициенты вариации в разные периоды года менялись от 22.3 до 31.5 %.

Данные моделирования показали, что в течение первых 120 суток года среднее время оборота  $\text{DOSi}$  в воде ВЗ составило около 14.2 сут, а

диапазон изменения – от 5.2 до 22.7 сут. На втором временном промежутке (121–273 сут) среднее время оборота снижается до 3.8 сут, а минимальное значение составляет 2.7 сут. Это свидетельствует о существенной интенсификации биогидрохимических процессов трансформации  $DOSi$ . К концу года на промежутке 274–365 сут время оборота  $DOSi$  снова увеличивается и составляет в среднем 8.1 сут, а диапазон изменчивости – от 3.5 до 13.1 сут. Коэффициенты вариации для рассматриваемых временных промежутков меняются в пределах от 21 до 35.5 %.

Соответствие основных качественных особенностей и характера временной динамики времени оборота органических веществ в воде ВЗ ( $DOP$ ,  $DON$  и  $DOSi$ ) достаточно высокое. Поэтому можно говорить о том, что модель позволяет воспроизвести тесную сопряженность процессов трансформации органических веществ в воде ВЗ.

Данные моделирования свидетельствуют о том, что наиболее важным источником поступления  $DOSi$  в водную среду ВЗ является процесс экскреции растворенного органического вещества планктонными организмами. По сравнению с этим вклад поступления  $DOSi$  с речным стоком меньше в 7 раз, а трансформации  $Si\_Detr$  в  $DOSi$  – в 27 раз. Наиболее важными процессами, которые приводят к уменьшению содержания  $DOSi$  в водной среде, являются: потребление  $DOSi$  гетеротрофными бактериями и простейшими, а также вынос  $DOSi$  из залива в море. В суммарном годовом балансе потребление  $DOSi$  простейшими составляет примерно 0.6 от суммарного потребления  $DOSi$  гетеротрофными бактериями и сопоставимо с уровнем выноса  $DOSi$  из залива в море.

*Исследования проведены в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00007-22-00 часть II, раздел 5 и государственного задания ИО РАН им. П.П. Ширшова № FMWE-2021-0007.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Подгорный, К. А. Математическая модель для изучения экосистемы Вислинского залива Балтийского моря. Часть 1. Теоретические основы и структура модели, методология подготовки исходных данных для выполнения расчетов. Калининград: АтлантНИРО, 2018. 271 с.
2. Подгорный, К. А. Математическое моделирование процессов трансформации соединений биогенных элементов в экосистеме Вислинского залива Балтийского моря / К. А. Подгорный, О. А. Дмитриева // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 6. С. 142–160. doi: 10.17076/lim1605



## МИКРОПЛАСТИК В МОРСКИХ ЛЬДАХ: ПОЧЕМУ ТАКИЕ ОСОБЕННОСТИ?

**Чубаренко И.П., Бочерикова И.Ю.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,  
[irina\\_chubarenko@mail.ru](mailto:irina_chubarenko@mail.ru)*

MICROPLASTICS IN SEAICE:  
WHY THESE FEATURES?

Chubarenko I.P., Bocherikova I.Yu.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

Натурные исследования загрязнения поверхностных льдов Арктики частицами пластика указывают, что материал значительной части частиц тяжелее воды. Проведены лабораторные эксперименты, впервые указывающие на важность процесса образования пузырьков газа на частицах пластика.

Field investigations of contamination of surface ice in the Arctic with plastic particles indicate that the material of a significant part of the particles is heavier than water. Laboratory experiments have been carried out, indicating for the first time the importance of the process of formation of gas bubbles on plastic particles.

Загрязнение Мирового океана частицами синтетических полимеров нарастает, но характер их переноса и картина накопления еще далеко не ясны. Морской лёд оказался наиболее загрязненной средой океана, с содержанием частиц микропластика (МП) до 75 143 шт. (диапазон размеров 11 мкм - 5 мм, без волокон, без вискозы) на литр талой воды паковых льдов пролива Фрама [1]. Однако наблюдаемая картина загрязнения крайне неоднородна, что затрудняет выявление даже основных механизмов её формирования.

Анализ имеющихся на сегодняшний день публикаций по количеству и распределению частиц МП в толще льда указывает на следующие факты. (1) Лёд на поверхности океана загрязнен частицами МП на несколько порядков больше, чем вода под ним [2, 3, 4, 5, 6]. (2) Частицы МП присутствуют по всей толщине льда, их распределение по вертикали неизменно характеризуется как «хаотичное», «неравномерное» [3, 4, 7]. (3) Ряд исследований [4, 7] указывает на дефицит мелких частиц, особенно мелких волокон. (4) В каждом исследовании и в каждом ледяном керне обнаруживается значительное количество частиц МП с плотностью материала больше, чем плотность морской воды, как, например, до 99 % (диапазон размеров 0.1–5 мм) в многолетних арктических льдах [3], более 76 % (50 мкм – 5 мм) в плавающих льдинах севернее Шпицбергена [2]. Это намного больше, чем доля тяжелых пластиков и в мировом производстве – 40% [8]. При этом в свободных ото льда поверхностных и подповерхностных водах Северного Ледовитого океана доля тяжелых пластиков составила около 60% (0.2-5 мм) в работе [9] и 75% (0.3-5 мм) в [10].

Для исследования причин и механизмов захвата частиц тяжёлых (т.е. тонущих) пластиков при формировании льда были проведены серии лабораторных экспериментов по замораживанию с поверхности (-18 °С) пресных и морских (34 г/л, NaCl х/ч) вод в сосуде, на подогреваемом дне которого располагались экспериментальные пластиковые частицы, изготовленные из полистирола (плотность около 1.05 г/см<sup>3</sup>), полиуретана (1.2 г/см<sup>3</sup>), нейлона (1.3 г/см<sup>3</sup>), полиэстера (1.34 г/см<sup>3</sup>) и полиэтилентерефталата (1.34 г/см<sup>3</sup>). Набор включал более 60 частиц размером от 0.25 до 60 мм и нити от 10 до 100 мм с максимально различными свойствами: трёхмерные фрагменты, двумерные хлопья различных размеров, нити, волокна; среди материалов представлены новые, после механического старения, с поверхности пляжа, с биообрастанием, вспененные. Автоматический контроль режима замерзания с помощью набора термисторов позволял оценивать интенсивность вертикальной конвекции. После 72-144 часов замерзания керн (длиной 18-22 см при различных режимах охлаждения) извлекался и помещался горизонтально на стенд для таяния, обеспечивающий раздельный сбор талой воды по 5-см-слоям (для дальнейшего измерения солёности), с отфильтровыванием частиц пластика, находящихся в этих слоях.

Результаты анализа распределения пластиковых частиц по вертикали во льду в 20 экспериментах показали, что в воде на дне оставалось от 40 до 80 % частиц, в верхнем 5-см слое льда частиц пластика не обнаружено, и множество частиц находятся в толще льда. Выше в толще льда (т.е.

захвачены раньше) во всех случаях оказались наиболее крупные частицы полистирола (1-6 см); случаи захвата мелких (0.25-0.5 мм) частиц полистирола единичны. Мелкие (1 см) волокна полиэстера остаются на дне, в то время как нити (1-10 см) захватываются льдом. Новые материалы захватываются в лёд чаще, чем состаренные и с биоплёнками/обрастанием. Не выявлено зависимости положения частицы в керне от скорости её оседания в спокойной воде, точного размера, формы, смачивания материала, солёности в слое, но обнаружена очевидная связь количества частиц пластика и пузырьков воздуха в слое керна.

Дополнительная серия экспериментов по наблюдению процесса образования пузырьков на тех же частицах показала, что на крупных частицах пластика образуется много относительно крупных пузырьков, они не отрываются при росте – так что частицы всплывают и устойчиво держатся на поверхности воды. На мелких частицах и нитях пузырьки образуются и растут не так интенсивно, но, как правило, одного сформировавшегося пузыря уже достаточно, чтобы частица всплыла; однако при касании поверхности пузырёк лопается – и частица снова падает. Таким образом, гидрофобность поверхности пластика [11], способствующая образованию на ней пузырьков газа, в наших экспериментах оказалась существенно более весомым фактором, чем вертикальная (термическая и халинная) конвекция.

В условиях морской среды частицы МП находятся в окружении гораздо менее гидрофобных частиц естественного происхождения. В начале формирования льда при охлаждении с поверхности вертикальная конвекция перемешивает насыщенные атмосферными газами и кислородом холодные поверхностные воды с более тёплыми глубинными; затем перемешивание усиливается за счёт выделения рассола. Поскольку растворимость газов с ростом температуры и солёности падает, вполне вероятно пересыщение и выделение газов в виде пузырьков, а это энергетически более выгодно именно на более гидрофобных поверхностях. Таким образом, подобно тому, как биообрастание служит причиной накопления частиц МП из лёгких материалов в донных осадках; так образование пузырьков на поверхности пластика в морской среде может быть механизмом, поставляющим значительные количества частиц тяжёлых пластиков со дна и из толщи вод к поверхности. Исследования поддерживаются РФФ, грант № 19-17-00041.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Peeken, I., Primpke, S., Beyer, B., Gütermann, J., Katlein, C., Krumpfen, T., Bergmann, M., Hehemann, L., Gerdts, G. 2018. Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nat Commun.* 9, 1505. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03825-5>
2. Friesen, L.W., Granberg, M.E., Pavlova, O., Magnusson, K., Hassellöv, M., Gabrielsen, G.W. 2020. Summer sea ice melt and wastewater are important local sources of microlitter to Svalbard waters. *Environ. Int.* 139, 105511. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105511>
3. Kanhai, L.D.K., Gardfeldt, K., Krumpfen, T., Thompson, R.C., O'Connor, I. 2020. Microplastics in sea ice and seawater beneath ice floes from the Arctic Ocean. *Sci Rep.* 10, 5004. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61948-6>;
4. Kim, S.-K., Lee, H.-J., Kim, J.-S., Kang, S.-H., Yang, E.-J., Cho, K.-H., Tian, Z., Andradý, A. 2021. Importance of seasonal sea ice in the western Arctic ocean to the Arctic and global microplastic budgets. *J. Hazard. Mater.* 418, 125971. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125971>
5. Obbard, R. W., Sadri, S., Wong, Y.Q., Khitun, A.A., Baker, I., Thompson, R.C. 2014. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earths. Future.* 2(6), 315–320. <https://doi.org/10.1002/2014EF000240>
6. Бочерикова, И.Ю., Чубаренко, И.П. 2022. Содержание микропластика во льду, снеге и подлёдной воде Куршского залива зимой 2021 г. *Океанологические исследования.* 50(3). С. 102-117. [https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50\(3\).6](https://doi.org/10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(3).6)
7. Chubarenko, I., Lazaryuk, A., Orlova, T., Lobchuk, O., Raguso, C., Zyubin, A., Lasagni, M., Saliu, F. 2022. Microplastics in the first-year sea ice of the Novik Bay, Sea of Japan. *Mar. Pollut. Bull.* 185 (2022): 114236. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114236>
8. Plastics – the Facts 2022. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>
9. Yakushev, E., Gebruk, A., Osadchiv, A. *et al.* Microplastics distribution in the Eurasian Arctic is affected by Atlantic waters and Siberian rivers. *Commun Earth Environ* 2, 23 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00091-0>
10. Lusher, A. L., Burke, A., O'Connor, I., Officer, R. 2014. Microplastic pollution in the Northeast Atlantic Ocean: validated and opportunistic sampling. *Mar. Pollut. Bull.* 88, 325–333. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.023>
11. Chubarenko, I. 2022. Physical processes behind interactions of microplastic particles with natural ice. *Environ. Res. Commun.* 4, 012001. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac49a8>

**АНАЛИЗ СКОПЛЕНИЙ АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ НА БАЗЕ  
РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
«МОБИЛЬНЫЙ БИОЛОГ»**

**Семыкина М.А.<sup>1</sup>, Фофанов Д.В.<sup>2</sup>**

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

<sup>1</sup>*e-mail: [semykina.m@ocean.ru](mailto:semykina.m@ocean.ru)*

<sup>2</sup>*e-mail: [fofanov.dv@phystech.edu](mailto:fofanov.dv@phystech.edu)*

**ANALYSIS OF ANTARCTIC KRILL ACCUMULATIONS ON  
THE BASIS OF THE DEVELOPED ROBOT-TECHNICAL  
SYSTEM "MOBILE BIOLOG"**

**Semykina M.A.<sup>1</sup>, Fofanov D.V.<sup>2</sup>**

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii Prosp., Moscow, 117997*

Авторами рассматриваются вопросы применения методики изучения влияния параметров динамики вод на плотность скоплений антарктического криля в традиционных районах промысла на базе разрабатываемой системы автономных необитаемых подводных роботов..

The authors consider the issues of applying the methodology for studying the influence of water dynamics parameters on the density of Antarctic krill aggregations in traditional fishing areas based on the developed system of autonomous underwater vehicle (underwater robots).

Динамика вод является детерминантой, определяющей цикличность распространения популяций криля, возможный обмен между популяциями, их восполнение и поддержание [1]. В свою очередь под динамикой вод подразумевается комплекс физических процессов, которые в разной степени вносят вклад в образование и пополнение крилевых скоплений. Первым фактором являются крупномасштабные течения, вторым – квазистационарные вихри.

Масленников В.В. считал, что основной ареал всей популяции криля приурочен к «высокоширотной модификации антарктических вод», а массовый перенос криля осуществляется на периферии приматериковых

циклонических круговоротов, причем дальность миграции криля на север происходит по западным ветвям данных круговоротов и находится в прямой зависимости от дальности развития их ветвей [2].

Так в пределах круговорота Уэдделла Марр обособлял друг от друга две группы криля: «крыль течения Восточных ветров и крыль уэдделловского происхождения» [3]. Цикличность дрейфа обеих группировок в итоге возвращает скопления криля в благоприятные для воспроизводства места.

В традиционных районах промысла криля наблюдаются описанные выше явления, которые способствуют формированию скоплений криля высокой плотности, обладающих относительно долгосрочной стабильностью в течение сезона. В море Скотия такими районами стали области около островов Южной Георгии, Южных Шетландских и Южных Оркнейских островов.

Разрабатываемая автономная роботизированная система, составленная из набора патентуемых в данный момент робототехнических комплексов основывается на идее применения автономных (непривязных) подводных аппаратов с борта судна-носителя. Так называемые разносредовые дроны («беспилотники», «автономники») стремительно находят применение во всех областях исследований и мониторинга, где важен площадной охват, в том числе и в морских изысканиях. Система, основанная на таких аппаратах позволит производить комплексную оценку угроз современных климатических трендов наряду с их влиянием на экологические системы Южного океана. С помощью такой системы также будет возможно осуществлять мониторинг биологической продуктивности, структуру и пространственно-геометрическую организацию антарктических пелагических экосистем. Таким образом собранные с использованием системы данные позволяют проводить мониторинг комплексного воздействия океанической динамики на прогнозируемые объемы изъятия биоресурсов и других форм антропогенного влияния. Это обеспечивается на основе получаемых материалов в результате маршрутных проходов подводных аппаратов и судовых данных, собранных в комплексных морских экспедициях с их применением.

Система отличается тем, что комплексировывает данные с нескольких подводных аппаратов в единую базу. Подводный робот, входящий в такую систему, благодаря извлекаемому из океана данным, поможет внести весомый научный вклад в исследования влияния физических параметров течений на базовые трофические уровни экосистем в условиях Антарктики.

Особенности разрабатываемой системы «МОБИ» («Мобильный биолог», «Mobile biologist»):

1) состоит по крайней мере из одного АНПА (автономного необитаемого подводного аппарата);

2) подводный робототехнический комплекс способен обеспечить экспериментальный исследовательский вылов элементов трофических цепей с различных подводных горизонтов в конкретных географической точках океана;

3) данные при постобработке могут комплексироваться с данными спутниковой альтиметрией (АДТ) и, например, данными буев АРГО;

2) проработка корпусной, навигационной и движительно-рулевой систем аппарата основана на отечественной элементной базе;

3) подводные аппараты осуществляют непосредственный вылов продукции с применением бортовых сетей в заданной географической точке на требуемом горизонте глубины;

4) выбор и доработка бортового оборудования, инерциальной системы навигации и программно-управляющего обеспечения аппарата может базироваться на решениях-прототипах ДВО РАН;

5) запуски аппарата могут быть обеспечены с борта научно-исследовательских судов Института океанологии РАН им. Шишова;

6) с использованием предлагаемой методики может быть осуществлена оценка полученных аппаратом данных на предмет изучения гидрологических процессов и состояния морской толщи и ее структуры (CTD, ADCP), продуктивности и основных параметров экосистемы вод Антарктики в ее главных районах, а также океанографических фронтов и зон циркуляции.

Своего рода аналогом по функционалу и географии применения является недавно разработанный подводный аппарат «Mesobot» (Мезобот) Вудсхольского Института Океанологии (США). АНПА «Мезобот», дорабатываемый в настоящее время, предназначен для изучения мезопелагических процессов. При этом он оснащен фото- и видеокomплексом, группой подводных светильников, что позволяет ему наблюдать *in-situ* за мезопелагическими животными, отслеживать вертикальный дрейф взвешенных частиц и пузырей. Автономность подводного аппарата «Мезобот» превышает полный день, в связи с чем, наблюдения за крилем, другими видами животных, могут быть длительными, захватывая всю полноту динамики миграций частиц. Робот также оснащен пробоотборной насосной подсистемой с фильтром для сбора геохимических образцов, планктонных проб, микроорганизмов или морской воды.

При всех преимуществах аппарат «Мезобот» имеет ряд недостатков — аппарат не подразумевает работы в сети или системе (стаинное решение для подводных аппаратов) себе подобных комплексов с целью более

широкого географического охвата и одновременных исследованиях. Также «Мезобот» не подразумевает возможности захвата биоорганики экспериментальными сетями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Р.Р., Масленников В.В., Солянкин Е.В., Шевцов В.В. Особенности количественного распределения и условия формирования скоплений *Euphausia superba* Dana на примере некоторых районов Атлантического и Тихоокеанского секторов Южного океана // Биологические ресурсы Антарктического криля. М.: ВНИРО, 1980. С. 114-145.
2. Масленников В.В. О роли климатических колебаний в распределении антарктического криля (*euphasia superba dana*) и изменчивости популяций некоторых его основных потребителей // Сборник статей: Проблемы Арктики и Антарктики, выпуск 74, Спб.: Гидрометеоздат, 2003. С. 103-129.
3. Marr J.W.S. The natural history and geography of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) // Discovery Rep. 1962. Vol. 32.

УДК 574.586:681.7

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ ПЛАНКТОНА «*IN SITU*»

**Левашов Д.Е., Кравченко Ю.Н., Анисимова Л.А.**

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного  
хозяйства и океанографии  
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19  
[levashov@vniro.ru](mailto:levashov@vniro.ru)*

## TECHNICAL FACILITIES OF PLANKTON VIDEO REGISTRATION «*IN SITU*»

**Kravchenko Yu.N., Levashov D.E., Anisimova L.A.**

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography  
19 Okružhnoy proezd, Moscow, 105187*



В докладе представлены результаты разработки технических средств видеорегистрации планктона «*in situ*» во ВНИРО. Обсуждаемые приборы: «КАРП», «КАРП-2», «Акваскоп».

Paper presents results of technical facilities development of plankton video registration «*in situ*» in VNIRO. The discussed devices are CARP, CARP-2, Aquascop.

Авторы доклада представляют результаты исследований ФГБНУ «ВНИРО», посвященных разработке аппаратуры для видеорегистрации и оценки характеристик планктона «*in situ*» в экспедиционных исследованиях. Разработан ряд оптоэлектронных регистраторов мезопланктона, в том числе:

- «КАРП» – комплексный автономный регистратор планктона, платформа для отработки конструкции;
- «КАРП-2» – усовершенствованный комплексный автономный регистратор планктона, дополнительный датчик для СТД-зондов;
- «АКВАСКОП» – регистратор планктона для мелководья с проточной камерой.

В основу приборов «КАРП» положен патент ВНИРО [1], сущность которого поясняется на рис. 1.

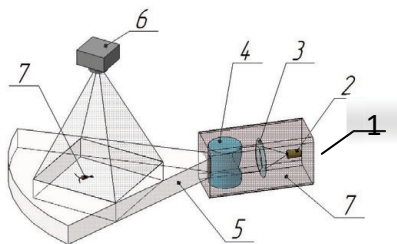


Рис. 1. Функциональная схема принципа работы подводного видеорегистратора планктона (пояснения в тексте)

Прибор состоит из модуля видеорегистратора (6) и модуля подсветки (1) с полупроводниковым лазером (2), формирующим плоский световой объем (5). Оптический коллиматор (3) задает его толщину, а цилиндрическая линза (4) определяет угол расходимости. Видеорегистратор направлен перпендикулярно к световой плоскости, и прямоугольная граница поля зрения объектива определяет реперный объем, где регистрируются частицы планктона (7).

Конструкция прибора КАРП [2] (рис. 2, слева) состоит из трех пластин из конструкционного пластика, соединенных П-образно. В центре верхней части расположен герметичный контейнер с модулем видеорегистратора (разрешение видеосъемки – 1920x1080 пиксель, 60 кадр/с; фотосъемки – 2668x1520/3840x2160 пиксель). В нижней части П-образной рамы установлены два встречно направленных герметичных контейнера с модулями лазерной подсветки в красной области. Все блоки соединены между собой герметичными кабелями.

Прибор «КАРП-2» (рис. 2, справа) разработан с целью оптимизации в эксплуатационном плане, и в нем используется только один осветитель. В качестве основы используется швеллер из нержавеющей стали, на обоих концах которого крепятся поворотные площадки, на которых под углом 45 град к швеллеру установлены контейнеры видеорегистратора и излучателя с расстоянием между осями вращения порядка 500 мм.

В связи с тем, что применение приборов с открытым реперным объемом из-за паразитной солнечной засветки возможно только на глубине более 5-7 м (или ночью), для работы в мелководных водоёмах разработан прибор «Акваскоп».

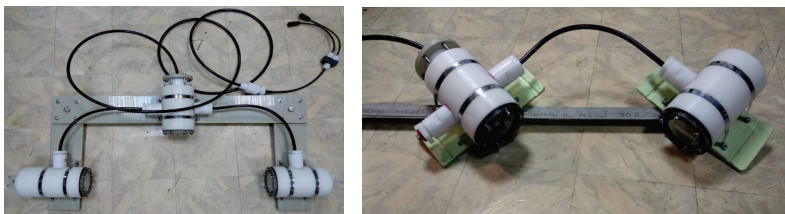


Рис. 2. Приборы «КАРП» (слева) и «КАРП-2» (справа)

Минимизация засветки достигается использованием проточного канала с применением на его входе и выходе роторных затемнителей в виде крыльчатки насоса. Перпендикулярно потоку установлен модуль видеорегистратора от прибора «КАРП». Для подсветки реперного объема на дне проточного канала закреплена электролюминесцентная панель. Внешний вид прибора «Акваскоп» представлен на рис. 3.

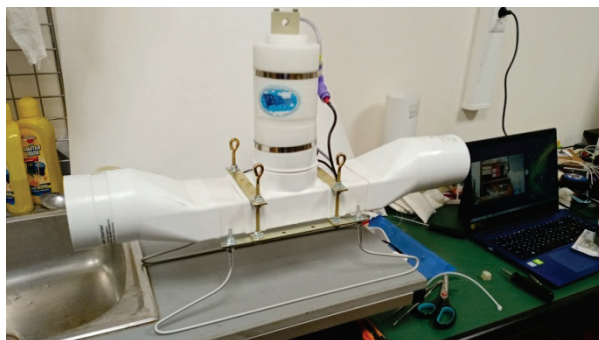


Рис. 3. Внешний вид ПУ прибора «АКВАСКОП»

Экспериментальная оценка характеристик приборов осуществлялась в темноте, при их размещении в аквариуме. Типичный вид планктона в световой плоскости лазера прибора «КАРП» представлен в верхней части рисунка 4 (слева). На рисунке справа также представлено выделенное изображение отдельной особи дафнии с оценкой линейных размеров. Вычисленный размер отдельно взятой особи равен 3,11 мм, что составляет 33 пикселя.

Для оценки прибора «Акваскоп» применяли воду с массовым содержанием артемии в период выклева науплий из цист. На рис. 4 (внизу слева) видны темные точки цист размером примерно 0,2-0,3 мм, а также менее контрастные науплии и остатки оболочек цист. Также, использовался планктон, собранный в водах лесного пресноводного водоема. Некоторые из организмов видны на рис. 4 (внизу справа).

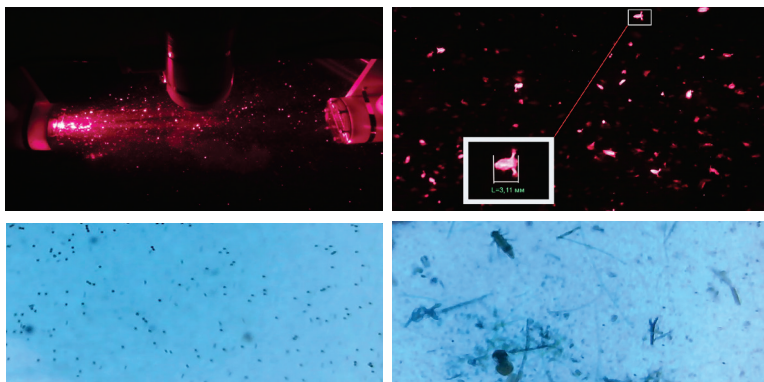


Рис. 4. Вверху: вид на световую плоскость прибора «КАРП» сверху (слева) и кадр зарегистрированный прибором в реперном объеме со вставкой - выделенной измеренной особью дафнии (справа);

Внизу: кадры регистрации частиц в проточной камере прибора «Акваскоп» - артемия в период вылупления науплий из цист (слева) и природный планктон из пресноводного водоема (справа).

Исследования продолжаются, предполагается разработанные приборы объединить в комплекс с набором унифицированных модулей и гибкой конфигурацией, изменяемой в зависимости от поставленных задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Левашов Д.Е., Буланова Н.П. 2014. Подводный видеорегистратор планктона. Патент на полезную модель. Заявка №2014129440/28(047512) от 18.07.2014
2. Буланова Н.П., Левашов Д.Е., Иващенко Д.А. Гайский П.В., Литвиненко Л.И., Куцанов К.В. 2021. Новый лазерный планктомер КАРП – комплексный автономный регистратор планктона. Труды ВНИРО. Т. 184. С. 140–148.

УДК 551.46

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫБРОСОВ МОРСКОГО МУСОРА С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**Фетисов С.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01,  
[mr.fetiss@gmail.com](mailto:mr.fetiss@gmail.com)*

## PREDICTION OF MARINE LITTER BEACHING USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Fetisov S.V.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

Предложена архитектура нейронной сети для решения задачи прогнозирования выброса морского мусора на берег Самбийского полуострова. Оценена валидационная точность работы.

A neural network architecture is proposed for solving the problem of predicting the wash-outs of marine debris onto the coast of the Sambian Peninsula. The validation accuracy of the model was evaluated.

Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) являются мощным инструментом для анализа большого количества данных. В науках о Земле МО используется для прогнозирования, классификации, кластеризации исследуемых данных. МО отлично подходит для распознавания объектов на изображениях, например вихрей на спутниковых снимках или видов облаков по фотографиям с земли. Модели МО позволяют выделить и более сложные природные явления, такие как сезонный апвеллинг [1], грозовые явления [2].

Модели МО используются также для оценки загрязнения Мирового Океана. Особенно это касается прибрежной зоны, т.к. гидрофизические особенности не позволяют в полной мере использовать численное моделирование. Для различных задач используют от простых моделей линейной регрессии и деревьев решений, до более сложных и гибких искусственных нейронных сетей (ANN), глубокого обучения, сверточных нейронных сетей (CNN). Выбор модели напрямую зависит от решаемой задачи. Например, для оценки влияния внешней среды на распределение морского мусора используют самоорганизующейся карты Кохонена, для оценки количества морского мусора многослойную модель персептрона (MLP, Multilayer Perceptron) [3], для идентификация морского мусора в воде и на пляже - сверточные нейронные сети [4]. Нейронные сети совместно с лагранжевыми моделями активно применяют для прогнозирования движения частиц пластика в прибрежной зоне и Мировом Океане [5].

Цель данной работы - предложить архитектуру сверточной нейронной сети, которая способна спрогнозировать место выброса морского мусора на берег на основании гидрофизических и метеорологических параметров, протестировать полученную модель на данных натурных наблюдений и оценить точность её работы.

В качестве района исследования было выбрано северное побережье Самбийского полуострова от мыса Таран ( $54.9602^{\circ}$  N,  $19.9788^{\circ}$  E) на западе до корня Куршской косы на востоке. Общая протяженность 37 км. На этом участке с 2011 до 2020 года было зафиксировано более 150 случаев выброса морского мусора совместно с биотой в виде водорослей [6]. Для каждого случая были отмечены GPS координаты, метеорологические условия. В дальнейшем для обучения модели было выбрано 103 наиболее репрезентативных случая.

Прогнозирование места выброса происходит с помощью решения задачи бинарной классификации. Для этого исследуемый тестовый полигон разделен на два участка: от мыса Таран до мыса Гвардейский, которому соответствует класс «0» и от мыса Гвардейский до корня Куршской косы, которому соответствует класс «1». Каждый случай промаркирован советующим классом, что является целевой переменной в данной задаче.

Исходя из натуральных наблюдений, выброс мусора на берег происходит преимущественно после штормовых событий. Поэтому входными параметрами или признаковым описанием модели являются: скорость ветра, направление ветра, высота преобладающей волны, направление преобладающей волны, скорость течения, направление течения, период волнения и крутизна волны. Для описания предшествующей метеорологической и гидрофизической ситуации каждый параметр представляется вектором значений за период 5 суток до наблюдения выброса с дискретностью 1 час (всего 120 значений для каждого параметра) [7].

Для решения поставленной задачи была выбрана сверточная нейронная сеть. Архитектура модели состоит из двух сверточных слоев с размером ядра 2x2, двух пулинговых слоев с функцией вычисления максимума (max pooling). Общая структура сети представлена на рис. 1.

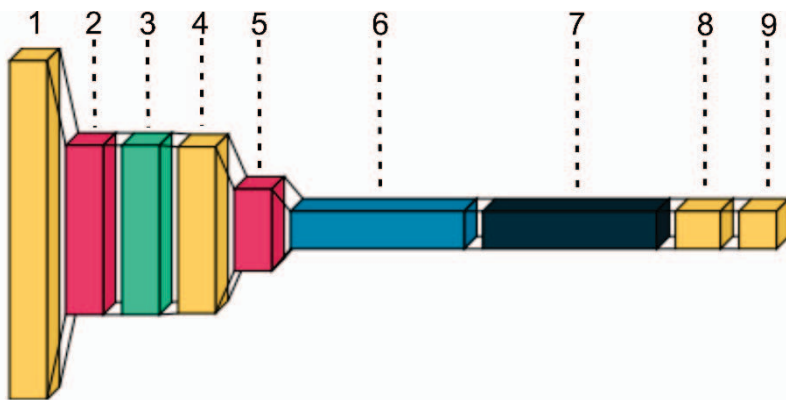


Рис. 1. Архитектура сверточной нейронной сети: 1, 4 – слои свертки; 2, 5 – слои пулинга; 3 – слой Dropout; 6 – слой сглаживания (Flatten); 7 – слой регуляризации (гауссовский шум); 8,9 – полносвязные слои.

Тренировочная выборка состоит из 80% всех данных, т.е. 82 случая. 20% оставшихся случаев используются для валидации модели. Обучение производилось на 100 эпохах. Для вычисления ошибки

используется оптимизатор Адам с коэффициентом скорости обучения 0.0001. Критерий качества модели определяется метрикой бинарной кросс-энтропии.

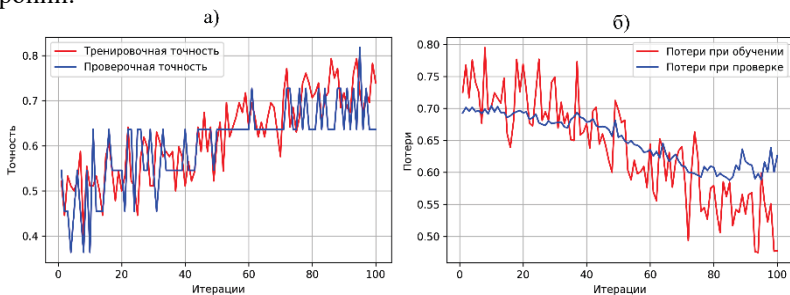


Рис. 2. а) График тренировочной и валидационной точности модели; б) график потерь при обучении и валидации.

Результат работы модели представлен на рис.2. Максимальная точность прогнозирования на текущем наборе данных составила 81.82%. После 10 запусков модели средняя точность  $63.64 \pm 0.11\%$ . В дальнейшем планируется увеличения точности за счет увеличения количества данных для обучающей выборки. Также планируется модернизация полученной модели до мультиклассовой классификации и, тем самым, повышение территориальной точности прогнозирования.

Автор выражает благодарность Есюковой Е.Е. за предоставление данных натуральных наблюдений. Работа выполнена в рамках проекта РФФ №19-17-00041.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bouzegag, C. Forecasting the upwelling phenomenon using an artificial neural network / Bouzid-Lagha, S. // *Pol. J. Soil Sci.* 2020, 53, 245–259, doi:10.17951/pjss/2020.53.2.245.
2. Litta, A.J. Artificial Neural Network Model in Prediction of Meteorological Parameters during Premonsoon Thunderstorms / Idicula, S.M., Mohanty, U.C. // *Int. J. Atmos. Sci.* 2013, 2013, doi:10.1155/2013/525383
3. Franceschinia, S. Rummaging through the bin: Modeling marine litter distribution using Artificial Neural Networks // *Marine Pollut. Bull.* 2019, 149, 110580, doi:10.1016/j.marpolbul.2019.110580.
4. Odei Garcia-Garin. Automatic detection and quantification of floating marine macro-litter in aerial images: Introducing a novel deep learning approach connected to a web application in R / Monleón-Getino, T., López-Brosa, P.,

Borrell, A., Aguilar, A., Borja-Robalino, R., Cardona, L., Vighi, M. // Environmental Pollution, Volume 273, 2021, 116490, ISSN 0269-7491

5. Kaandorp, M. L. A. Using machine learning and beach cleanup data to explain litter quantities along the Dutch North Sea coast / Ypma, S. L., Boonstra, M., Dijkstra, H. A., van Sebille, E. // Ocean Sci., 18, 269–293, <https://doi.org/10.5194/os-18-269-2022>, 2022.

6. Фетисов С.В. Анализ метеорологических и гидрофизических факторов массового вымывания морского мусора на берег Самбийского полуострова (Балтийское море) / Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е. // Процессы в геосредах. 2 (28), С. 1146-1154. 2021.

7. Fetisov S. Marine Litter Stormy Wash-Outs: Developing the Neural Network to Predict Them / Chubarenko I. // Pollutants 2021, 1, 156–168. <https://doi.org/10.3390/pollu-tants1030013>.

УДК 551.46:061.3

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦВЕТЕНИЯ КОККОЛИТОФОРИД В ЧЕРНОМ МОРЕ**

**Лишаев П.Н., Кубрякова Е.А., Кубряков А.А.**

*Морской гидрофизический институт РАН,  
299011, Севастополь, ул. Капитанская, 2, 8(8692)54-52-41,  
office-mhi@mail.ru*

### **UNDERWATER TECHNICAL MEANS OF THE WORLD OCEAN RESEARCH**

**Lishaev P.N., Kubryakova E.A., Kubryakov A.A.**

*Marine Hydrophysical Institute of RAS,  
2, Kapitanskaya str., Sevastopol, 299011*

В работе представлены результаты моделирования сезонной изменчивости кокколитофорид в Черном море на основе совместной трехмерной модели NEMO-BFM.



Paper presents the results of modelling the seasonal variability of coccolithophores in the Black Sea based on the three-dimensional model NEMO-BFM.

Одним из наиболее распространенных видов фитопланктона, обитающего в Черном море, являются кокколитофориды вида *Emiliania huxleyi*. Эти водоросли имеют важную особенность: они преобразуют углекислый газ в карбонат кальция, создавая вокруг себя скелет из известняковых пластин – кокколит, которые оседают на дно и во многом формируют состав донных осадков. Этот процесс значительно влияет на потоки неорганического углерода, способствуя сокращению количества углекислого газа в атмосфере. Кроме этого, кокколитофориды существенно влияют на сезонную сукцессию видов и оптические свойства Черного моря.

Для расчета гидродинамических параметров была взята региональная конфигурация модели NEMO-BAMS24 [1]. Шаг по горизонтали 10 км, 65 горизонтов с неравномерным шагом по вертикали от поверхности до 2000 м. В качестве начальных полей температуры и солености использовались климатические поля из [2]. Поля атмосферного воздействия были взяты из реанализа ERA5 за 2008–2014 гг.

Для расчета эволюции биогеохимических составляющих использовалась модель BFM (Biogeochemical Flux Model). Фитопланктон ( $P_i$ ) представлен следующими группами:  $P_1$  – диатомовые водоросли,  $P_3$  – кокколитофориды,  $P_4$  – крупный, медленно растущий фитопланктон. Зоопланктон ( $Z_i$ ) представлен группами:  $Z_3$  – плотоядный мезозоопланктон,  $Z_4$  – всеядный мезозоопланктон,  $Z_5$  – микрозоопланктон. Также в модель включен бактериопланктон ( $B_1$ ).

В модели включена параметризация ослабления света растворенным органическим веществом. На основе литературных и экспериментальных данных были подобраны фоновый коэффициент ослабления чистой водой, коэффициент ослабления света растворенным органическим веществом, параметр  $Q_{10}$  для различных типов фито- и зоопланктона, коэффициент поглощения света хлорофиллом «а».

В модели BFM включена параметризация окислительно-восстановительных реакций. Начальные поля кислорода ( $O_2$ ), фосфатов ( $PO_4^-$ ), нитратов ( $NO_3^-$ ), марганца ( $Mn^{2+}$ ), аммония ( $NH_4^+$ ), сероводорода ( $HS^-$ ) заданы согласно данным работ [3,4] и значениям из Базы данных МГИ [5] с учетом начального поля плотности.

Согласно литературным и натурным данным развитие кокколитофорид в Черном море начинается в верхнем слое после весеннего цветения диатомей, в мае-июне, в водах, обедненных биогенными элементами. Среди возможных причин развития кокколитофорид в этот

период выделяют их способность потребления растворенного органического вещества (РОВ) – осмотрофию [6,7]. В уравнение переноса фитопланктона было добавлено слагаемое:

$$\left. \frac{dP_n}{dt} \right|_{bio} = \sum_{j=3,4} \left. \frac{dP_n}{dt} \right|_{N_i}^{upt} - \sum_{j=1,6} \left. \frac{dP_n}{dt} \right|_{R_n}^{lys} - \frac{P_n}{P_c} \sum_{k=4,5,6} \left. \frac{dP_c}{dt} \right|_{Z_c}^{prd} + k_2 \cdot r_2 \cdot DOM_{labile}, \quad (1)$$

где  $k_2 = 0,6$  – коэффициент,  $r_2$  – лимитирующий фактор.

В верхнем слое под воздействием солнечной радиации в процессе фотодеградации РОВ становится лабильным. Такой процесс позволяет объяснить, зачем в летний период в верхнем слое на кокколитофоридях появляется большое количество кокколит, защищающих их от избыточной солнечной радиации и в то же время позволяющих оставаться в верхнем слое, где находится лабильное РОВ. Для описания этого процесса уравнение переноса РОВ было дополнено слагаемым

$$R_{photo} \cdot \left. \frac{dDOM_i}{dt} \right|_{bio} = \sum_{j=1}^3 \left. \frac{dP_i^{(j)}}{dt} \right|_{DOM_i}^{exu} - \left. \frac{DOM_i dB_c}{DOM_c dt} \right|_{DOM_c}^{upt} + \sum_{k=5,6} \left. \frac{Z_i^{(k)} dZ_c^{(k)}}{Z_c^{(k)} dt} \right|_{DOM_c}^{rel} + R_{photo} \quad (2)$$

$R_{photo}$  – переход  $DOM$  в  $DOM_{labile}$  – лабильное органическое вещество – при значениях освещенности выше  $200 \text{ Вт/м}^2$ .

На рис.1 представлена средняя за расчетный период сезонная изменчивость средней по горизонтам концентрации хлорофилла-а и кокколитофорид ( $P_3$ ). Отметим максимальные величины концентрации в поверхностном слое 0 – 20 м.

Добавленные в модель параметризации (1)-(2) для описания процессов осмотрофии и фотодеградации позволили воспроизвести сезонную изменчивость биологических параметров, характерную для центральной части Черного моря:

- зимнее цветение диатомовых водорослей (январь-март) в верхнем слое 0-40 м;
- выделение РОВ в процессе жизнедеятельности диатомей;
- переход РОВ в процессе фотодеградации в лабильное состояние;
- цветение кокколитофорид в мае-июне.

Эти особенности согласуются с данными, полученными с помощью спутниковых данных и данных буев Био-Арго.

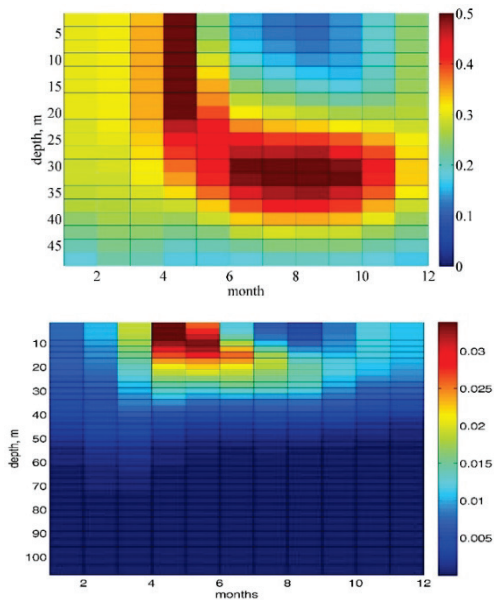


Рис.1. Диаграмма сезонной изменчивости концентрации Chl-a (ммоль/м<sup>3</sup>) и P<sub>3</sub> (Кокколитофорид), осредненной за 2008 – 2014 гг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мизюк А.И., Коротаев Г.К., Григорьев А.В., Пузина О.С., Лишаев П.Н. Долгопериодная изменчивость термохалинных характеристик Азовского моря на основе численной вихреразрешающей модели // Морской гидрофизический журнал. – 2019. – Т.35, №3. – С. 496-510.
2. Багаев А.В., Демьшев С.Г. Численное моделирование климатической циркуляции Черного моря с использованием параметризации Меллора – Ямады 2.5 // Морской гидрофизический журнал. – 2011. – №3. – С. 66-76.
3. Дорوفеев В.Л., Сухих Л.И. Изучение долговременной изменчивости экосистемы черного моря на основе ассимиляции данных дистанционных измерений в численной модели // Водные ресурсы. – 2019. – Т. 46. – №1. – С. 58-69.
4. Кубрякова Е.А. Моделирование процессов горизонтального и вертикального транспорта соли и биогенных элементов в Черном

море: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 25.00.28 / Кубрякова Елена Адилловна. – Севастополь, 2019. – 179 с.

5. Халиулин А.Х., Годин Е.А., Ингеров А.В., Жук Е.В., Галковская Л.К., Исаева Е.А. Банк океанографических данных Морского гидрофизического института: информационные ресурсы для поддержки исследований прибрежной зоны Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2016. – №1. – С. 89-95.
6. Benner, I. and Passow, U. (2010) Utilization of organic nutrients by coccolithophores, *Marine Ecology Progress Series* 404, pp. 21-29. doi:10.3354/meps08474 , hdl:10013/epic.34792
7. Godrijan, J., Drapeau, D. and Balch, W.M. (2020), Mixotrophic uptake of organic compounds by coccolithophores. *Limnol Oceanogr*, 65: 1410-1421. <https://doi.org/10.1002/lno.11396>

УДК 57.087.3, 599.5, 59.08

## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ АНОМАЛИЙ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ ПОИСКА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЕЛЬФИНОВ В УЧЕТНЫХ ФОТОГРАФИЯХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

**Хабутдинов И.А.<sup>1</sup>, Криницкий М.А.<sup>2</sup>, Беликов Р.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Московский физико-технический институт, Институтский пер., 9, Долгопрудный, Московская обл., 141701, 8(495)408-45-54, [info@mipt.ru](mailto:info@mipt.ru)*

<sup>2</sup> *Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, [resty@mail.ru](mailto:resty@mail.ru)*

**COMPARISON OF ANOMALY DETECTION TECHNIQUES ON THE DETECTION PROBLEM OF FINDING SMALL SCALE IMAGES OF DOLPHINS IN ACCOUNTING FOR HIGH RESOLUTION PHOTOGRAPHS**

**Khabutdinov I.A.<sup>1</sup>, Krinitskiy M.A.<sup>2</sup>, Belikov R.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Moscow Institute of Physics and Technology, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701*

<sup>2</sup> *P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

В докладе представлены методы идентификации аномалий для поиска дельфинов в учетных оптических снимках высокого разрешения. Обсуждаемые методы: константный детектор, выступающий в качестве опорного метода; модель, основанная на построении статистических доверительных интервалов для аппроксимации истинного распределения и выявления аномалий;

In this study, we present anomaly detection methods for finding dolphins in high-resolution images. We discuss several methods, including constant detector considered as a baseline, and a statistical model based on the inference of confidence intervals for approximating the true distribution and detecting anomalies;

Популяции китообразных млекопитающих в последнее время испытывают существенные давление, приводящее к сокращению их численности по разным причинам[1, 2]. При этом тесное вовлечение их в локальные и глобальные процессы позволяют говорить о том, что нарушение экосистемного баланса за счет снижения численности китообразных может представлять существенную угрозу в том числе для человека[3, 4]. В настоящем исследовании мы сосредоточились на вопросе учета численности дельфинов в акватории Черного моря. Для анализа изменения численности морских китообразных млекопитающих проводится учет с применением различных методов, в различных регионах Мирового океана. С этой целью проводятся экспедиции для фотографирования регионов обитания дельфинов[5]. На данный момент подсчет дельфинов в высокоразрешающих снимках поверхности океана осуществляется экспертно, что представляет собой трудоемкий процесс, так как в среднем изображение одного дельфина занимает 0.01% изображения. Целью настоящего исследования является автоматизация поиска частей (патчей) изображения, в которых могут находиться дельфины. Такие патчи предполагается передавать на просмотр оператору для того, чтобы последний подтвердил или опроверг наличие дельфина.

В нашем исследовании мы работаем с набором данных, полученным в ходе серии учетных морских экспедиций ИОРАН в Черном море в 2018-2019 г.г [5]. Фотографии были сделаны с вертолета и имеют разрешение 8256 x 5504. Подготовка набора данных включала в себя три стадии – просмотр всех фотографий, разметку фотографий с дельфинами, очистку от нерелевантных фотографий. При просмотре было замечено, что на некоторых фотографиях большую часть занимает суша. Также на многих фотографиях присутствует тень от вертолета и большое количество солнечных бликов, что сильно отражается на распределении их

насыщенности. Для разметки дельфинов было использовано программное обеспечение “label-studio”[6], которое позволяет выделить в прямоугольники дельфинов на каждой фотографии, сохранив при этом координаты левого верхнего угла, высоту и ширину этих прямоугольников. После очистки набор данных содержит 3269 фотографий, на 205 из них есть дельфины, что составляет 6.3% от общего количества фотографий. Данная разметка является “истинной” и будет использоваться для оценки качества работы моделей, а также для их сравнения. Появление дельфина является маловероятным событием, поэтому было решено подойти к данной задаче в постановке идентификации аномалий[7, 8].

Обнаружение аномалий относится к поиску непредвиденных значений (паттернов) в потоках или наборах данных. В настоящем исследовании мы выдвигаем предположение, что изображения дельфинов являются такими нехарактерными паттернами являются на фотографиях. Так как снимки имеют высокое разрешение, то было решено разбивать каждый снимок на патчи размера 256 x 256 пикселей с перекрытием в 128 пикселей и решать задачу на уровне патчей. Таким образом, постановка задачи состоит в построении отображения из множества патчей во множество бинарных меток, отражающих факт, является ли данный патч аномалией или нет. В качестве метрики для проверки качества работы моделей мы использовали меру Жаккара.

Существуют различные методы, с помощью которых извлекаются признаки для построения предположений о распределении данных и поиска в них аномалий. Мы использовали метод, основанный на построении доверительных интервалов[9] для оценки статистических параметров истинного распределения. Для поиска аномалий мы использовали следующие статистики патчей – среднее значение, медиану и дисперсию. Статистики считались отдельно по каждому из трех каналов в двух цветовых пространствах: HSV и RGB. Таким образом, общее количество возможных комбинаций параметров – 18. Для построения оптимальных доверительных интервалов перебирались всевозможные симметричные перцентили на отрезке [1, 49]. Оптимальность определяется с точки зрения выбранной метрики качества - чем выше значение, тем оптимальнее метод. Также в качестве опорного метода мы использовали константный детектор, который отображает каждый патч в положительную метку (патч считается аномальным). Прimitивный опорный метод используется для оценки нижнего порога для рациональных значений метрики качества.



Рис. 1. Пример результата функционирования детектора аномалий. Красным квадратом отмечен патч, сочтенный аномальным; розовыми квадратами отмечены дельфины, выделенные экспертом при разметке изображений набора данных.

Значение меры Жаккара для опорного метода составляет  $5,96 \times 10^{-5}$ . Для метода, основанного на построении доверительных интервалов, были получены следующие оптимальные параметры: кодировка – HSV, номер канала – 2 (яркость V), оптимальная статистика – медиана, значение уровня перцентиля – 46. На Рис. 1 показан пример функционирования предлагаемого алгоритма идентификации аномалий. При оптимальных значениях параметров значение меры Жаккара на размеченной выборке составило  $8,5 \times 10^{-5}$ . Можно отметить, что представленный метод работает лучше опорного, однако видно, что он может быть сочтен слишком слабым для рассматриваемой задачи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цалкин В.И. Морфологическая характеристика, систематическое положение и зоографическое значение морской свиньи Азовского и Черного морей // Зоол. журн. 1938. Т. 17. Вып. 4. С. 705–732.
2. Daskalov G.M. Overfishing drives a trophic cascade in the Black Sea // Marine Ecology Progress Series. 2002. V. 225. P. 53–63.
3. Gomoiu M.T. Scapharca inaequivalvis (Bruguère), a new species in the Black Sea // Cercetări marine / IRCM. 1984. V. 17. P. 131–141

4. Purcell J.E., Shiganova T.A., Decker M.B., Houde E.D. The ctenophore *Mnemiopsis* in native and exotic habitats: U.S. estuaries versus the Black Sea basin // *Hydrobiologia*. 2001. V. 451. P. 145–176.
5. Chernetsky, A.D., Krasnova, V.V., Boltunov, A.N. et al. Occurrence and Distribution of Cetaceans in the Northeastern Part of the Black Sea. *Oceanology* 61, 488–498 (2021).
6. Maxim Tkachenko, Mikhail Malyuk, Andrey Holmanyuk, & Nikolai Liubimov. (2020-2022). Label Studio: Data labeling software.
7. A. Toshniwal, K. Mahesh and R. Jayashree, "Overview of Anomaly Detection techniques in Machine Learning," 2020 Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), Palladam, India, 2020, pp. 808-815, doi: 10.1109/I-SMAC49090.2020.9243329.
8. Gilberto Fernandes, Eduardo H. M. Pena, Luiz F. Carvalho, Joel J. P. C. Rodrigues, and Mario L. Proença. 2015. Statistical, forecasting and metaheuristic techniques for network anomaly detection. In Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC '15). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 701–707.
9. G. Knafl, J. Sacks, & D. Ylvisaker (1982). Model robust confidence intervals. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 6(4), 319-334.

УДК 551.46.06

## **СПЕЦИФИКА УЧЕТА МАКРОФАУНЫ НА ВИДЕОДАНЫХ БНПА «ВИДЕОМОДУЛЬ».**

**Залота А.К.<sup>1</sup>, Залота М.К.<sup>2</sup>, Анисимов И.М.<sup>1</sup>, Фетисова В.В.<sup>3</sup>, Удалов А.А.<sup>1</sup>, Чикина М.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова, РАН, 117997, Москва, Нахимовский просп. 36, Тел: 8(499)1246149, e-mail: azalota@gmail.com*

<sup>2</sup> *WhoTalks.app, 17 Post avenue, Westbrook, CT 06498, USA, тел: +1 860 3995499, Email: [max.zalota@gmail.com](mailto:max.zalota@gmail.com)*

<sup>3</sup> *Псковский государственный университет, 180000, Псков, пл-дь Ленина 2, Тел: 8(8112)201699, email: [fvv.valeria@gmail.com](mailto:fvv.valeria@gmail.com)*

THE ASPECTS OF QUANTITATIVE SURVEY OF MACROFAUNA ON  
THE VIDEO DATA OF THE TUV "VIDEOMODUL".

Zalota A.K.<sup>1</sup>, Zalota M.K.<sup>2</sup>, Anisimov I.M.<sup>1</sup>, Fetisova V.V.<sup>3</sup>, Udalov A.A.<sup>1</sup>,  
Chikina M.V.<sup>1</sup>



<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, RAS, 36, Nakhimovsky prosp. Moscow 117997 Russia. Tel.: 8(499)1246149, e-mail: azalota@gmail.com*

<sup>2</sup> *WhoTalks.app, 17 Post avenue, Westbrook, CT 06498, USA, мел: +1 860 3995499, Email: max.zalota@gmail.com*

<sup>3</sup> *Pskov State University, 180000, Pskov, Lenin sq-r 2, Tel: 8(8112)201699, email: fvv.valeria@gmail.com*

В работе проанализированы особенности обработки и количественного учета донной фауны на основе видеоданных полученных при помощи БНПА «Видеомодуль», разработанного в ИО РАН. Представлены наработки для стандартизации записи видеоизображений и создания шкал учета качества изображения.

The paper analyzes the aspects of processing and quantitative survey of benthic fauna based on video data obtained using the TUV "Videomodul", developed at the IO RAS. The developments for standardizing the recording of video images and creating scales for recording image quality of the video data are presented.

В отличие от наземных биотопов, изучение донных ландшафтов, их структурных особенностей и временной динамики затруднено за счет того, что исследователь практически не имеет к ним прямого доступа, за исключением небольшого диапазона водолазных глубин. В то время когда в наземных условиях исследователь может детально описать топографию, геологические свойства района и сопоставить распределение организмов в пространстве относительно этих данных, это крайне сложно осуществить для водных биотопов. Классические методы отбора биологических проб (дночерпатель, донные тралы и т.д.) имеют малую эффективность в выявлении мозаичности и в масштабном синтезе распределения организмов относительно донной топографии.

Такие исследования на относительно пологом дне возможны при помощи буксируемых аппаратов, благодаря их стабильному движению, а также возможности наблюдений и многопараметрической съемки поверхности дна на протяженных маршрутах с передачей данных в реальном времени [1]. В ИО РАН для этих целей используется БНПА «Видеомодуль» собственной разработки.

В процессе анализа видеоизображений можно определить тип грунта (твердый/мягкий субстрат, наличие валунов или гальки и т.д.), который далее привязывается к топографической карте. При просмотре видеозаписей поверхности дна специалист-наблюдатель может описать

типы нор и выходов полихетных трубок, их процентный/площадной объем, скученность и мозаичность. Анализ полученных данных совместно со сборами, выполненными с помощью дночерпателя и трала, позволяет соотнести эти норы/трубки с конкретными таксонами. На основе видеоданных возможны исследования плотности изучаемых видов (особи на м<sup>2</sup>), уровня мозаичности сообществ, площади покрытия осадка.

Для количественного, сравнимого учета мегафауны по видеоданным в первую очередь необходимы как можно более точный расчет площади осмотренного дна и стандартизация параметров, влияющих на качество видеоизображения. Так, при использовании классических методов сбора макрофауны (тралы, дночерпатели) есть понятие уловистости орудия, где основными параметрами являются площадь покрытия/пройденный путь орудия, а также частота попадания тех или иных организмов в данное орудие. За счет своих малых размеров дночерпатели не используются для учета мегафауны, а тралы в зависимости от разных характеристик (например, раскрытие рамы) имеют больший или меньший успех в поимки подвижной мегафауны. При использовании подводных фото- и видеоаппаратов также есть свои технические конструктивные особенности, влияющие на качество получаемых видеоданных (разрешение, скорость фокусировки, характер и т.д.), а так же физические условия во время съемки (прозрачность воды, уровень волнения и т.д.). В данном докладе будут представлены наработки для стандартизации записи видеоданных и создания шкал оценки их качества для повышения достоверности количественного учета и сравнимости видеоданных, полученных при помощи БНПА «Видеомодуль».

Во время прохождения маршрута для регистрации морских организмов, аппарат удерживается примерно в 1.5 м над дном. При изменении рельефа (глубины места), его расстояние корректируется оператором для создания наиболее последовательной и систематизированной процедуры съемки. Таким образом, достигается наиболее возможная стандартизация параметров осмотра. Процесс съемки усложняется изменением прозрачности воды (изменение видимости), волновой качкой (резкое поднятие и опускание аппарата над дном), подводными течениями и неровным ходом судна (отклонение аппарата от маршрута и ускорение/замедление движения). Качка аппарата над дном сильно затрудняет расчет площади осмотренного дна и снижает достоверность определения видов. При подъеме видны только крупные формы на большом участке дна, а при спуске аппарату требуется время для фокусирования. При удачной фокусировке виден малый участок ранее заснятого дна (при подъеме) с возможностью определения малых форм биоты. Боковое смещение аппарата за счет подводных течений и

нестабильного хода судна могут привести к потере части снятого материала. К тому же возникают ситуации кругового движения аппарата, и этот участок должен быть вырезан из анализа для исключения повторности.

В связи с этим, нарезка видеозаписей на площадные участки на основе пройденного времени или количества кадров может привести к большим погрешностям и повторным подсчетам. Во избежание таких ошибок нами используется оригинальная компьютерная программа, которая использует алгоритмы на основе корреляции между соседними кадрами для определения смещения текущего изображения дна [2]. Программа выделяет отдельные участки и автоматически определяет расположение в кадре лазерных пятен, после чего рассчитывает реальную площадь дна [3]. Низкая прозрачность воды может сильно увеличить минимальный размер определяемых на видео организмов, что необходимо учитывать при анализе материала.

При анализе видеорядов помимо технических особенностей, необходимо принимать во внимание возможные ошибки, связанные с биологией изучаемого объекта (размеры, поведение и т.д.). Так, например, краб-стригун (особенно ювенильные стадии) зарывается в грунт. Тем не менее, на видеоизображениях дна хорошо видно, как крабы частично или полностью погружены в субстрат, и на поверхности грунта заметен только их силуэт. Второй существенной проблемой учета подвижной мегафауны, такой как рыбы и крабы, является их возможный уход из поля зрения видеосистемы. Подводный аппарат при буксировке не соприкасается с дном и не создает сильных возмущений среды, однако он толкает перед собой некую массу воды и ярко освещает поверхность дна, что может распугивать животных. При просмотре видеорядов наблюдались случаи ухода крабов и рыб из поля зрения видеокамеры: на илистом грунте возникало облако мути, связанное с движением крупных организмов. В целом, присутствие облака мути на видеозаписях было довольно редким.

На основе большого количества отснятого материала в ходе рейсов ИО РАН в Карское море с 2016-2022 гг. мы разрабатываем и улучшаем протоколы для стандартизации съемки видеоданных, полученных при помощи БНПА «Видеомодуль». А так же вводим шкалы для учета качества, которые позволят учесть ошибки для количественного учета и сравнения видеоданных, полученных при разных физических условиях.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-27-00028

## ЛИТЕРАТУРА

1. Jones D. [и др.]. The use of towed camera platforms in deep-water science // Underwater Technology. 2009. № 2 (28). С. 41–50.
2. Лесин А.В [и др.]. данный сборник МСОИ – «Программная обработка видео данных бнпа «видеомодуль» для повышения эффективности исследований состава и плотности макробентоса»
3. Залота А. К. [и др.]. Популяционная структура краба-вселенца (*Chionoecetes opilio*) в Карском море (траловые сборы и видеочет) // Океанология. 2020. № 1 (60). С. 97–103.

УДК 551.46.06

### **ПРОГРАММНАЯ ОБРАБОТКА ВИДЕО ДАННЫХ БНПА «ВИДЕОМОДУЛЬ» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТАВА И ПЛОТНОСТИ МАКРОБЕНТОСА**

**Лесин А.В.<sup>1</sup>, Залота М.К.<sup>2</sup>, Залота А.К.<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширинова, РАН, 117997, РФ, Москва, Нахимовский пр-кт, 36, Телефон: 8(499)1246149, e-mail: office@ocean.ru*

<sup>2</sup> *WhoTalks.app, 17 Post avenue, Westbrook, CT 06498, USA, тел: +1 860 399-5499, Email: [max.zalota@gmail.com](mailto:max.zalota@gmail.com)*

**SOFTWARE PROCESSING OF VIDEO DATA FROM TUV “VIDEOMODUL”  
FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF STUDYING THE COMPOSITION  
AND DENSITY OF MACROBENTHOS**

**Lesin A.V.<sup>1</sup>, Zalota M.K.<sup>2</sup>, Zalota A.K.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, RAS, 117997, Moscow, Nakhimovsky pr-t 36, Tel.: 8(499)1246149, e-mail: 8246wasd@gmail.com*

<sup>2</sup> *WhoTalks.app, 17 Post avenue, Westbrook, CT 06498, USA, тел: +1 860 399-5499, Email: [max.zalota@gmail.com](mailto:max.zalota@gmail.com)*

В круг задач, решаемых с помощью необитаемого подводного аппарата «Видеомодуль», разработанного в ИО РАН, входят биологические исследования донной фауны Карского моря. В настоящем докладе анализируется операционная программа, разработанная для обработки полученных видеорядов.

The towed underwater vehicle “Videomodule”, developed at the IO RAS, is used to solve a range of tasks including biological studies of the bottom fauna of the Kara Sea. This report analyzes the operating program developed for processing the received video sequences.

Применение буксируемых необитаемых подводных аппаратов (БНПА), оснащенных фото, видео и гидролокационными системами, доказало свою эффективность в наблюдении поверхности дна в рамках комплексных исследований Мирового океана. В круг задач, решаемых с помощью аппаратов этого класса, входят биологические исследования донной фауны. БНПА «Видеомодуль», разработанный в Институте океанологии им. П.П. Ширшова, на протяжении нескольких лет используется для решения этих задач.

При исследовании донных животных акваторий определяется плотность изучаемых видов (особи на  $m^2$ ), уровень мозаичности сообществ, площадь покрытия осадка и сипов, и формирование кластеров/ровность распределения особей в пространстве. Для этого необходим как можно более точный расчет площади осмотренного дна. В связи с волнением, течением и неровным ходом судна, нарезка видеозаписей, полученных с помощью БНПА, на площадные участки на основе пройденного времени или количества кадров может привести к большим погрешностям и повторным подсчетам. В ранних работах [2] нарезка видео на кадры и измерения на основе положения лазерных указателей производились вручную. В последующих работах стала использоваться оригинальная компьютерная программа, написанная с использованием языка программирования Python.

Программа по своей структуре состоит из нескольких подпрограмм, решающих следующие задачи:

- определение положения лазерных отметок на изображении;
- расчет смещения изображений (дрифта) относительно друг друга;
- расчет площади поверхности дна в кадре;
- установка отметок на учитываемых видах;
- измерение характерных размеров крупных видов.

Определение местоположения лазерных отметок производится путем фильтрации пикселей с определенными значениями цветности, яркости и насыщенности. К отфильтрованному изображению применяется гауссовское размытие, чтобы исключить из расчетов «висящие» одиночные пиксели. В результате получается черное изображение с белыми областями – кандидатами местоположения лазерных отметок. Вокруг каждой белой области рисуется контур, в который вписана область. Два контура

наибольшей площади соответствуют положению лазерных указателей. Процедура повторяется для всего видео с заданным интервалом между кадрами. Полученные значения положения лазерных отметок могут содержать выбросы, которые должны быть скорректированы вручную. Далее вычисляется расстояние между отметками в каждом кадре, которое используется как опорный размер для вычисления площади дна, видимой в кадре и для проведения измерений биологических объектов.

Дрифт между близлежащими кадрами рассчитывается на основе корреляции между отдельными частями изображений. Для каждой пары изображений выделяется 9 участков на первом изображении и производится поиск, посредством корреляции, соответствующих участков на втором. Для каждого участка вычисляется его смещение по осям X и Y. От общего смещения каждого участка отнимается вектор смещения образовавшийся в следствии изменения масштаба между кадрами (приближением/удалением дна). Результирующим дрейфом считается среднее значение остаточных смещений для всех участков. После выполнения данной процедуры для всех изображений видеозаписи формируется массив дрейфов, которые затем используются для выбора изображений, не содержащих перекрытий.

В процессе обработки видео встречаются кадры, непригодные для анализа по разным причинам, как то: засвеченные области, высокая мутность воды, большое отстояние БНПА от грунта и т.д. Такие кадры помечаются пользователем и исключаются из дальнейшего анализа. В дальнейшем предполагается разработать систему параметров, позволяющих автоматически отфильтровывать непригодные кадры из видеоряда.

Последней задачей программы является создание удобного инструмента для просмотра отдельных участков дна и установки меток на объекты. Все метки и размеры автоматически сохраняются в таблицах с привязкой к отдельным участкам дна. В программе заложена 21 метка, соответствующая отдельным видам. Одна из меток позволяет поставить две точки на изучаемом объекте для расчета его размера. Так, к примеру, при обработке видео для определения плотности и размерной структуры краба вселенца в Карском море программа позволяет померить ширину карапакса каждого обнаруженного краба [1]. Это позволяет пользователю рассчитать общую площадь просмотренного дна, посчитать количество и размеры донных объектов в мм, посчитать плотность, а так же их скученность (Рис. 1).

Анализ маршрутных видеозаписей с учетом возможных технических ошибок и особенностей биологии изучаемых видов, может позволить рассчитывать не только плотность и размерную структуру популяции, но и

наблюдать за приуроченностью вида к физико-географическим факторам, топографии и биоценозам. При хорошем качестве видеозаписи возможно полное воссоздание изображения площади исследованного дна, что позволит рассчитать удаленность особей друг от друга, образование возможных кластеров поселений и количественно оценить мозаичность донных сообществ.

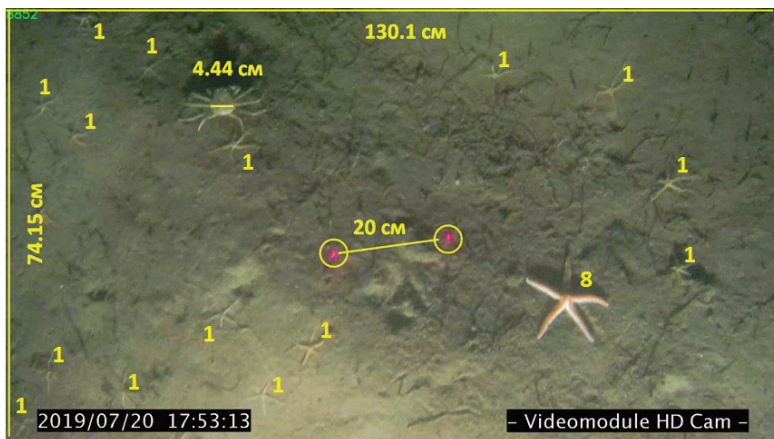


Рис. 1. Стоп-кадр видеосъемки поверхности дна Карского моря, снятый БНПА «Видеомодуль» в 76 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», 2019 г. На снимке присутствует краб-стригун с шириной карапакса 4.44 см, рассчитанной относительно расстояния между лазерными отметками, которое на дне составляет 20 см, 13 фигур, и одна морская звезда. Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0010). Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект № 23-17-00156).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Залота А. К., Спиридонов В. А., Галкин С. В., Пронин А. А. Популяционная структура краба-вселенца (*Chionoecetes opilio*) в Карском море (траловые сборы и видеоучет) // *Океанология*. 2020. № 1 (60). С. 97–103.
2. Zalota A. K., Zimina O. L., Spiridonov V. A. Combining data from different sampling methods to study the development of an alien crab *Chionoecetes opilio* invasion in the remote and pristine Arctic Kara Sea // *PeerJ*. 2019. (7). С. e7952.

**ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
АКВАТОРИИ ЗАТОПЛЕННЫХ ХИМИЧЕСКИХ БОЕПРИПАСОВ В  
БАЛТИЙСКОМ МОРЕ, ПОСЛЕ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО  
ПОДРЫВА ДОННЫХ ГАЗОПРОВОДОВ**

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

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, г. Москва, Нахимовский просп., 36,  
nba1940 @ yandex. ru.*

THE PROBLEM OF ASSESSING THE ECOLOGICAL STATE OF THE  
WATER AREA OF STOCKED CHEMICAL IN TNE BALTIC SEA AFTER A  
TERRORIST EXPLOSION OF BOTTON GAS PIPELINES

**Nersesov B. A., Rimsky Korsakov N. A.**

*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences,  
36 Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997*

В статье обсуждается проблема оценки экологического состояния акватории затопленных химических боеприпасов, после террористического подрыва донных газопроводов в акватории Балтийского моря, носящая геополитический характер.

The article discusses the problem of assessing the ecological state of the water area of the flooded chemical munitions after a terrorist explosion of bottom gas pipelines in the Baltic Sea, which is of a geopolitical nature.

При проведении подводных хозяйственных работ (геологоразведка, рыболовство, прокладка донных трубопроводов) в Балтийском море возникала специфическая проблема, связанная с наличием массового скопления трофейных химических боеприпасов (ХБ), затопленных после Второй мировой войны.

Согласно архивным данным на дне Борнхольмской котловины оказалось более 35 тысяч ХБ (бомб, снарядов, контейнеров), начиненных



боевыми отравляющими веществами (ипритом, зоманом, заринном, люизитом, синильной кислотой, циклоном и др.) [1].

**Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН периодически проводились экспедиции по обследованию подводных потенциально опасных объектов в Балтийском море с использованием судовых геофизических и геохимических средств [2].**

К настоящему времени, по оценкам экспертов, под действием коррозии уже разгерметизировано около 90-100% тонкостенных контейнеров с отравляющим веществом, а также 80-90% снарядов и бомб, имеющих более прочные корпуса [3].

**Кроме того, как показали экспедиционные исследования, проведенные в районе острова Борнхольм, затопленные ХБ находятся в разных условиях: одни оказались погребенными под многометровым слоем ила, другие - чуть прикрыты осадками, третьи – легли на каменистое дно прибрежных шельфов.**

Предложена концепция создания акваторий контролируемой экологической безопасности в Борнхольмском и Южно-Готландском районах массовых захоронений трофейных химических боеприпасов, как зон экологически опасных природно-техногенных комплексов, исключающих судоходство, проведение военно - морских учений, а также различную подводную производственную деятельность [1,4].

Однако, произведенные 26 сентября 2022 года террористические подрывы донных газопроводов «Северный поток – 1» и «Северный поток - 2» в акватории датского острова Борнхольм с массовыми донными захоронениями химических боеприпасов, поставили Балтийское море на грань экологической катастрофы. Ведь на его берегах проживает около 50 млн. человек.

Следует особо отметить, что проблема оценки экологического состояния акватории затопленных ХБ, после террористического подрыва донных газопроводов, носит не только научный, но и геополитический характер.

Необходимо срочно разработать и принять Международную конвенцию стран Балтии, предусматривающую оперативный контроль с использованием донных станций и радиобуев для определения масштаба и купирования экологической катастрофы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0010)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нерсесов Б.А., Спиридонов М.А. Проблема создания акваторий контролируемой экологической безопасности в Борнхольмском и Южно-Готландском районах массовых захоронений трофейных химических боеприпасов.// Тезисы докладов Международной конференции по проблеме затопленного химического оружия. – М., 1995. Т.1.- С. 7-18.
2. Вялышев А.И., Нерсесов Б.А., Римский–Корсаков Н.А. Исследование подводных потенциально опасных объектов в Балтийском море (монография)// ФГБНУ «Аналитический центр» Минобрнауки РФ, - М., 2015 -271с.
3. Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А. Мониторинг экологически опасных акваторий в зоне прокладки подводного трубопровода «Северный поток». //Современные методы и средства океанологических исследований: материалы XI Международной научно-технической конференции.- М., 2009, - Т.3.- С.8-11.
4. Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А. Проблема обнаружения затопленных химических боеприпасов в Балтийском море. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. Т.14 №2, 2021 г

## **РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ**

УДК 551.465

### **ОСОБЕННОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ В ЗАЛИВАХ ЮЖНОГО ОСТРОВА АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ И ИХ ВОДООБМЕНА С АКВАТОРИЕЙ КАРСКОГО МОРЯ**

**Недоспасов А.А., Поярков С.Г.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский проспект,  
36. 117997, г. Москва, 8(499)124-59-83, [nedospasov.aa@ocean.ru](mailto:nedospasov.aa@ocean.ru)*

**FEATURES OF HYDROPHYSICAL STRUCTURE IN THE BAYS OF THE SOUTHERN ISLAND OF THE NOVAYA ZEMLYA AND THE WATER EXCHANGE BETWEEN GULFS AND THE OPEN KARA SEA**

**Nedospasov A.A., Poyarkov S.G.**

В работе представлены результаты гидрофизических исследований, выполненных в 2021 году в заливах Южного острова Новой Земли. Проведена оценка интенсивности водообмена между заливами и открытым морем.

In the article the results of hydrophysical research in the Bays of the Southern island of Novaya Zemlya that were carried in the expeditions to the Kara Sea in 2021 are given. The evaluation of the water exchange between the Gulfs and the open Kara sea was made.

Гидрофизические исследования в заливах восточного берега Южного острова Новой Земли проводились в сентябре 2021 г. в 85 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в рамках мониторинга состояния захоронений затопленных радиоактивных объектов.

В заливах Степового и Абросимова были выполнены поперечные гидрофизические разрезы (Рис.1), по результатам которых рассчитаны параметры структуры и переносов вод в заливе.

С целью оценки интенсивности водообмена между заливами и прилегающей акваторией Карского моря были также выполнены гидрофизические разрезы от заливов в открытое море до склона Новоземельской впадины.

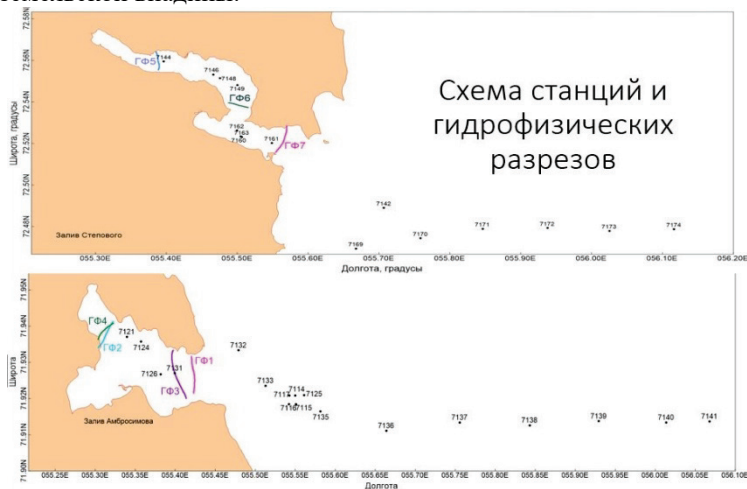


Рис. 2. Схема расположения гидрофизических разрезов и станций в заливах Степового (вверху) и Абросимова (внизу).

Распределение солености на кроссшельфовом разрезе (Рис. 2) на траверзе залива Абросимова демонстрирует распространение тонкого (до 7 м) опресненного слоя в прилегающую акваторию Карского моря.

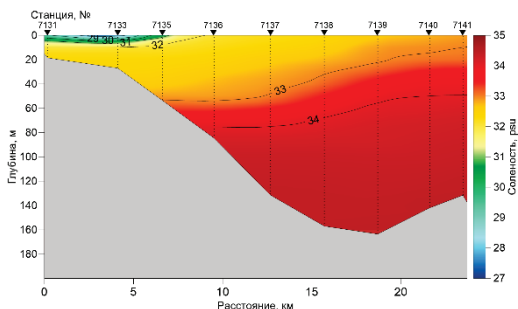


Рис. 3. Вертикальное распределение солености (psu) на разрезе от залива Абросимова к Новоземельской впадине.

Батиметрия и орография береговой черты залива практически не препятствуют водообмену с юго-западной частью Карского моря. Расчет геострофической скорости течений поперек входного створа в залив Абросимова показал значительное влияние приливно-отливных явлений (Рис. 3).

В период отлива практически во всей толще между входными мысами наблюдается отток вод из залива. При приливе отмечаются струи как направленные внутрь залива, так и выносящие более опресненную воду в открытое море.

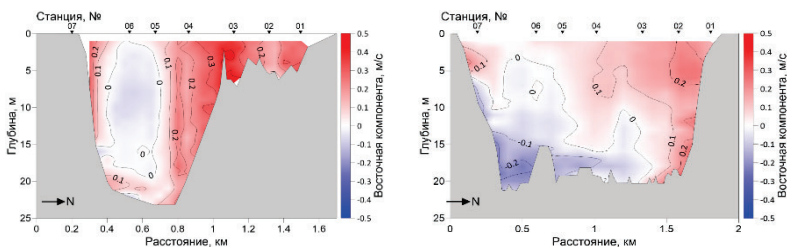


Рис.4. Зональная компонента скорости течения (м/с, красным – перенос на восток, синим – перенос на запад) на разрезах ГФ1 (слева, фаза отлива) и ГФ3 (справа, фаза прилива) в заливе Абросимова

Оценка водообмена залива Абросимова с окружающей акваторией юго-западной части Карского моря показывает свободную его вентиляцию. Вертикальное перемешивание, вызванное зимней конвекцией, здесь достигает дна. В отличие от заливов Северного острова Новой Земли [1, 2], здесь отсутствуют естественные барьеры в виде баров на входе в залив. Интенсивное вдольсклоновое Восточно-Новоземельское течение южного направления способно распространять вынесенные из залива воды по акватории юго-западной части Карского моря. Скорость переноса воды в ядре была несколько выше, чем на траверзе залива Степового и достигала 55 см/с.

В отличие от залива Абросимова, топография берегов залива Степового препятствует свободному проникновению вод из открытой акватории Карского моря в его кутовую часть, однако не мешает приливно-отливным колебаниям, интенсивность которых в куту залива может превышать наблюдаемые в его более широкой входной части. Измеренный в течение 16-ти часов на донной станции временной ход изменения давления показал, что амплитуда главной лунной полусуточной гармоникки прилива M2 превышала 50 см, что в условиях узкой кутовой части залива создавало реверсивный перенос вод со скоростями до 40 см/с. Таким образом, характер водообмена в заливе Степового преимущественно приливной.

По данным измерений была рассчитана меридиональная компонента геострофической скорости течения (Рис. 4).

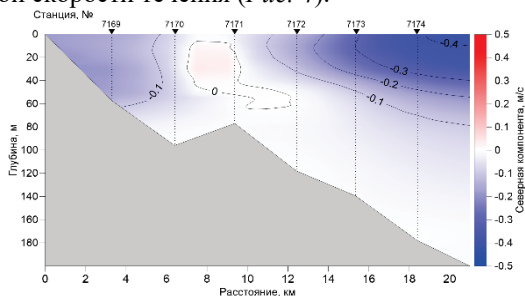


Рисунок 5. Меридиональная компонента геострофической скорости течения (м/с, красным – перенос на север, синим – перенос на юг) на разрезе от залива Степового к Новоземельской впадине.

На траверсе залива Степового, как и у залива Абросимова, в прибрежной части наблюдалось заглужение термо-пикноклина, связанное с воздействием вдольберегового переноса. Было выявлено Восточно-Новоземельское течение южного направления, ядро которого расположено

над западным склоном Новоземельской впадины. Скорости в струе потока достигают 40 см/с (ст. 7174, *Рис. 1*).

Гидрофизическая структура вод в заливе Степового характеризуется относительно слабым опреснением и меньшим сносом терригенного материала береговым стоком, что делает воду залива значительно прозрачнее, чем в заливе Абросимова. Расположенный между 30-40 метрами термоклин отделяет верхний квазиоднородный слой, прогретый до 6°C и глубинную воду с отрицательными значениями температуры, подверженную зимней конвекции, однако не успевающую прогреться даже в условиях долгого и аномально теплого лета.

Работа проведена в рамках Государственного контракта № 98-22 (участие в экспедиции) при поддержке госзадания по теме 0128-2021-0002 (обработка и анализ полученных данных). Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФ (проект № 23-17-00156).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Степанова С.В., Недоспасов А.А. // Особенности гидрофизического и гидрохимического режимов залива Благополучия (Новая Земля). *Океанология*. 2017. Т. 57. № 1. С. 75-85. DOI: 10.7868/S0030157417010191.
2. Недоспасов А.А., Поярков С.Г., Очередник В.В. // Особенности гидрофизической структуры и переноса вод в заливах Северного острова Новой Земли // *Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2021) / Материалы XVII международной научно-технической конференции*. Том 1. – М.: Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 2021. с. 115-120.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННОЙ ФАУНЫ В 89 РЕЙСЕ НИС  
«АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
БНПА "ВИДЕОМОДУЛЬ"**

**Удалов А.А., Анисимов И.М., Муравья В.О., Лесин А.В.,  
Кузьмин В.Ю., Залота А.К., Чикина М.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, [aludal@mail.ru](mailto:aludal@mail.ru)*

**INVESTIGATIONS OF BOTTOM FAUNA IN 89 CRUISE OF R/V  
"AKADEMIK MSTISLAV KELDYSH" BY TUUV "VIDEOMODUL"**

**Udalov A.A., Anisimov I.M., Muravya V.O., Lesin A.V., Kuzmin V.Yu.,  
Zalota A.K., Chikina M.V.**

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,  
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

Представлены основные данные о работах по учету донной мегафауны с использованием БНПА «Видеомодуль», проведенных в 89 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море.

The first data on megafauna obtained by the video surveillance of "Videomodul" towed camera system at 89 cruise of the R/V "Akademik Mstislav Keldysh" in the Kara Sea at 2022 are presented.

Исследования донных сообществ Карского моря с целью оценки их современного состояния были проведены в ходе 89 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (сентябрь - октябрь 2022 г). Было выполнено 12 станций в трех районах моря - в заливе Благополучия (2 станции), в западной части моря (2 станции), в восточной части моря на разрезе в диапазоне глубин от 1650 до 70 м (8 станций) (Рис. 1). Помимо стандартных гидробиологических методов исследования (траловая и дночерпательная съемки) были проведены видеонаблюдения с использованием БНПА «Видеомодуль» [1].

Общая протяженность маршрутов БНПА «Видеомодуль» по дну составила 7 144 м. Получено и дешифровано 7 часов 22 минуты видеозаписи и 708

подводных фотографий. Суммарный объем видеoinформации составил 62,45 Гб (Таблица 1).

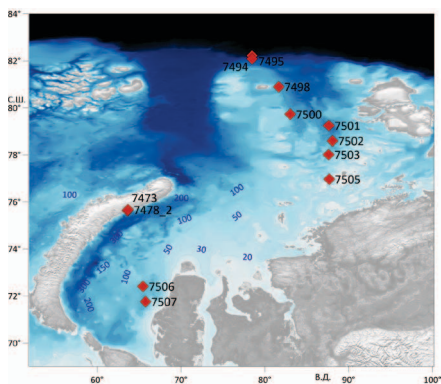


Рис. 1. Карта станций 89 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш»

Станция	Дата	Координаты	Диапазон глубин, м	Длина трека, м	Площадь покрытия видео, м <sup>2</sup>
7478_2	26.09.2022	75 40.1035 N 063 41.0908 E	172-176	336	403
7473_2	27.09.2022	75 38.0991 N 063 37.7094 E	71-54	603	7246
7494	30.09.2022	82 13.5918 N 078 29.3749 E	1666-1680	602	722
7495	30.09.2022	82 05.0057 N 078 30.6397 E	448-446	1004	12058
7498	01.10.2022	80 53.8674 N 081 38.7246 E	192-206	602	722
7500	02.10.2022	79 44.0646 N 083 02.3016 E	80-86	601	721
7501	02.10.2022	79 15.9779 N 087 37.8236 E	290-283	601	721
7502	02.10.2022	78 36.0713 N 088 04.6699 E	239-232	402	483
7503	03.10.2022	78 00.8646 N 087 37.3647 E	101-106	601	721
7505	03.10.2022	76 58.0687 N 087 40.8157 E	75-72	601	721
7506	05.10.2022	72 24.8286 N 065 29.0439 E	109-113	600	720



7507	05.10.2022	71 45.7362 N 065 46.5077 E	151-158	591	709
				<b>7144</b>	<b>8573</b>

Таблица 1. Погружения БНПА «Видеомодуль в 89 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Впервые был получен большой массив подробных видеозаписей донных ландшафтов восточной части Карского моря на шельфе и склоне. Предварительный анализ видеотреков показал, что основную долю организмов здесь составляли иглокожие, среди которых первое место занимали офиуры. Практически все виды распределены на протяжении всей трансекты, их встречаемость и количественное распределение определяется типом грунта (наличие жесткого субстрата), гидродинамической активностью и глубиной. Присутствие жесткого субстрата и интенсивная гидродинамика определяют высокое обилие офиур *Ophiacantha bidentata*, плотность которой может достигать 150 экз/м<sup>2</sup> (ст. 7595) (Рис. 2В), морских лилий *Heliometra* spp. (Рис. 2Б, Г), морского ежа *Strongylocentrotus* sp., с увеличением глубины и доли мягких субстратов повышается обилие офиур *Ophiopleura borealis* (1.7 – 2.5 экз/м<sup>2</sup>), на верхнем шельфе (ст. 7505) доминирует *Opiocten sericeum* (19 экз/м<sup>2</sup>). При этом практически на всех станциях впервые были встречены единичные взрослые особи краба-стригуна *Chionoecenes opilio* (Рис. 2В), однако, в отличие от западной части моря, краб-стригун не стал здесь доминирующим и не оказал влияние на состояние донных сообществ. Анализ видеотреков свидетельствует о том, что состояние сообществ соответствует таковому, наблюдавшемуся в 2014-2015 гг в рейсах ИОРАН, а также гораздо более ранним данным прошлого века [2], так что долговременные изменения донных сообществ в этой части моря практически не выражены.

Напротив, в западной части моря и в заливе Благополучия основу мегафауны составляли краб-стригун *Chionoecenes opilio* (до 4.7 экз/м<sup>2</sup>), крупные морские звезды *Urasterias lincki*, актинии *Hormatia digitata*, мягкие кораллы *Gersemia* spp. (Рис. 2Д, Е). Офиуры, составлявшие здесь в 2014-2016 гг до 90 % биомассы и численности донных сообществ, практически исчезли, как и крупные изоподы.

Таким образом, либо восточная часть моря принципиально отличается по устойчивости донных сообществ от западной и центральной частей бассейна, либо данный район пока еще был существенно менее подвержен тем климатическим изменениям (температурным, изменениям состояния ледового покрова), которые способствовали успешному вселению и

вспышке численности краба-стригуна, что негативно сказалось на состоянии бентоса западной части моря в последние годы. Возможно, следует ожидать дальнейшее развитие популяции краба-стригуна и изменение состояния донных сообществ на востоке Карского моря в связи с тенденциями удлинения безледового периода в Арктике.

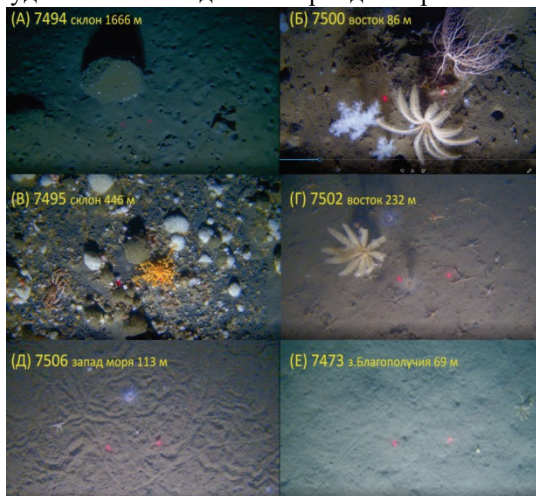


Рис. 2. Фрагменты видеотреков и фотографий БНПА «Видеомодуль» со станций 89 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш».

Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФ (проект № 23-17-00156).

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 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.
- 2 Филатова З.А., Зенкевич Л.А. Количественное распределение донной фауны Карского моря // Тр. Всесоюз. гидробиол. об-ва., 1957. Т. 8. С. 3-62.

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫМ ЦЕЗИЕМ ДОННЫХ ОСАДКОВ В ЗАЛИВАХ АБРОСИМОВА И СТЕПОВОГО

**Фуркина Е.Б., Алиев Р.А., Казеннов А.Ю., Никитин А.О.,  
Калмыков С.А.**

*Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт»,  
123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1,  
8(917)543-8690, furkina-k@yandex.ru*

### RADIOACTIVE CESIUM POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS IN ABROSIMOV AND STEPVOVOY BAYS

Furkina E.B., Aliev R.A., Kazennov A.Y., Nikitin A.O., Kalmykov. S.A.

*National Research Center Kurchatov Institute  
1, Akademika Kurchatova sq., Moscow, 123182, Russia.*

В статье представлены данные об уровне загрязнения донных осадков в местах захоронений твёрдых радиоактивных отходов в восточных заливах Новой Земли - Абросимова и Степового. В качестве индикатора использовали  $^{137}\text{Cs}$  – один из основных продуктов деления урана.

Paper presents data on the level of pollution of bottom sediments in the places of burial of solid radioactive waste in the eastern bays of Novaya Zemlya - Abrosimov and Stepovoy.  $^{137}\text{Cs}$ , one of the main fission products of uranium, was used as an indicator.

Затопления радиоактивных отходов в различных районах Арктики представляют собой большую потенциальную угрозу экологии региона [1]. Несмотря на многочисленные экспедиции по обследованию подводных потенциально-опасных объектов в Карском море, в настоящий момент отсутствует реестр захоронений и объектов захоронений по параметру устойчивости к разрушению и уровню существующих сегодня утечек радиоактивности.

В Карское море и заливы Новой земли было сброшено более 38 ПБк радиоактивных материалов. В настоящее время эта активность снизилась

до  $\sim 3$  ПБк вследствие радиоактивного распада. В данный момент наибольший вклад вносят долгоживущие радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  – продукты деления урана в процессе цепной ядерной реакции. Стронций-90 не испускает гамма-кванты при распаде, что затрудняет его определение: требуется сложная пробоподготовка. Таким образом, в качестве маркера наличия техногенного радиоактивного загрязнения окружающей среды предпочтительно использовать цезий-137 ( $T_{1/2} = 30.08$  лет,  $E_{\gamma} = 661.65$  кэВ, 85.1%).

Определять возможное поступление радиоактивности в окружающую среду из затопленных объектов и оценивать опасность проще всего по содержанию радиоактивных веществ в донных осадках непосредственно рядом с объектами. Осадки образуются послойно, и каждый слой соответствует конкретному временному периоду. Таким образом, можно увидеть не только те утечки, которые происходят сейчас (по верхнему слою осадков), но и те, которые происходили десятки лет назад.

Данная работа была проведена в соответствии с Программой экспедиционных работ в Карском море на НИС «Академик Мстислав Келдыш» - 85 рейс в августе-сентябре 2021 года.

Отбор верхнего слоя донных осадков осуществлялся с использованием дночерпателя «Ван-Вина» (ВВ) площадью захвата  $0.1 \text{ м}^2$ . Отбор кернов осуществлялся с помощью грунтозаборной трубки Лаури Ниемисто диаметром 45 мм. Всего было отобрано 17 поверхностных проб и 29 кернов вблизи наиболее опасных затопленных объектов в заливах Абросимова и Степового на восточном побережье Новой Земли.

Дозиметрический контроль отобранных проб и дночерпательного оборудования проводился в режиме on-line на палубе судна при помощи дозиметра-радиометра МКС-17Д «ЗЯБЛИК». При этом показания прибора соответствовали фоновым значениям в морских условиях и не превышали величины  $0.03 \text{ мкЗв/ч}$ .

В лабораторных условиях произведены послойное разделение (2 см) кернов и их пробоподготовка (высушивание и измельчение) для гамма-спектрометрических измерений с использованием спектрометрического комплекса СКС-07П-Г5 «Кондор» на основе полупроводникового детектора. Полученные гамма-спектры были проанализированы с целью обнаружения и количественного определения природных и техногенных радионуклидов.

Обработка результатов измерений позволила сделать вывод о наличии в пробах грунта природных радионуклидов рядов урана и тория, а также следов техногенного радионуклида цезия-137 в верхнем слое донных осадков ( $A < 100 \text{ Бк/кг}$ ). На рис. 1 и 2 приведены характерные профили

распределения содержания цезия в донных осадках для заливов Абросимова и Степового.

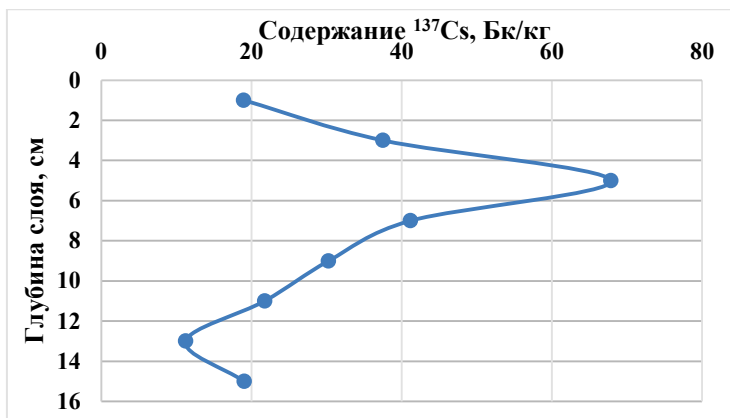


Рис. 1. Профиль содержания  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях залива Абросимова.

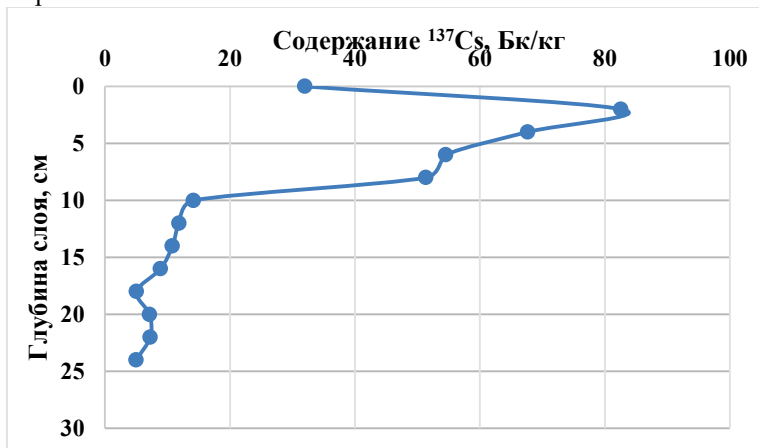


Рис. 2. Профиль содержания  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях залива Степового.

Естественные уровни содержания цезия-137 в донных осадках данного региона, связанные с глобальными атмосферными выпадениями, находятся в диапазоне 2-10 Бк/кг [2]. Проведенные исследования выявили наличие превышения содержания цезия-137 в верхних слоях донных

осадков в большинстве отобранных проб, однако это превышение невелико. Следовательно, на данный момент можно исключить наличие серьёзных утечек радиоактивности из обследованных объектов, однако минимальные утечки имеются. Повышенное содержание цезия в более глубоких слоях свидетельствует о том, что в процессе затопления происходило загрязнение окружающей среды продуктами деления урана. (Экспериментальные работы выполнены при поддержке РНФ - проект №23-17-00156)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Strand, P. Survey of artificial radionuclides in the Barents Sea and the Kara Sea / P. Strand, A. Nikitin, A. L. Rudjord, B. Salbu, G. Christensen, L. Foyen, I. I. Kryshev, V. B. Chumichev, H. Dahlgaard, E. Holm // J Environ Radioact. – 1994. - №25(1-2). - P. 99-112. doi:10.1016/0265-931X(94)90010-8
2. Novichkova E.A. Variability of Sedimentation Processes in Northern Part of East Novaya Zemlya Trough in the Anthropocene. / E.A. Novichkova, L.E. Reykhard, N.A. Belyaev, R.A. Aliev, D.P. Starodymova, E.A. Kudryavtseva. // Oceanology. – 2020. - №60(5). - P.664-681. doi:10.1134/S0001437020040165

УДК

### **О РАЗРАБОТКЕ КОНЦЕПЦИИ СУДНА МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ МИРОВОГО ОКЕАНА.**

**Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Книвель Н.Я., Королев А.В..**

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИИ  
КИ),*

*123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1, 8(499)196-95-39,*

*[nrcki@nrcki.ru](mailto:nrcki@nrcki.ru)*

**ON THE DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF A VESSEL FOR  
MONITORING THE RADIATION FIELDS OF THE WORLD OCEAN.**

**Kazenov A.Y., Kiknadze O.E., Knivel N.Y., Korolev A.V.**

*National Research Center «Kurchatov Institute»*

*1, sq. Academician Kurchatova, Moscow, 123182, Russia.*

В докладе обосновывается необходимость разработки концепции специального научно-исследовательского судна для мониторинга радиационных полей в Мировом океане

The report substantiates the need to develop the concept of a special research vessel for monitoring radiation fields in the World Ocean

В настоящее время Мировой океан является сферой, где широко применяются ядерные технологии. В первую очередь это относится к корабельным энергетическим установкам, в том числе и перспективным, а также к расположенным в прибрежной полосе АЭС. Во-вторых – это находящиеся на морском дне затонувшие и затопленные ядерно и радиационно-опасные объекты (ЗЯРОО), в том числе 7 атомных подводных лодок (АПЛ) с ядерным топливом (5 российских и 2 американских). В будущем рассматриваются возможности использования атомной энергии при добыче полезных ископаемых в Мировом океане. Нельзя также исключить несанкционированное использование ядерных и радиационных технологий как странами, ранее не имевшими к ним доступа, так и террористическими организациями.

Освоение Мирового океана также требует создания высокотехнологичных образцов техники, способных выполнять широкий спектр подводно-технических работ на большой глубине и в течение длительного времени. Для обеспечения энергией такой техники наиболее предпочтительным является использование различных ядерных установок, как подводных, так и плавучих.

В связи с увеличивающимся использованием ядерно-энергетических установок (ЯЭУ) в морской технике, возникает необходимость в разработке специальных технологий по обеспечению их ядерной и радиационной безопасности, а также охраны окружающей морской среды от возможных радиоактивных загрязнений. Эти технологии включают в себя как проведение оперативных обследований при аварийных ситуациях на морских ядерных объектах, так и постоянный радиационный мониторинг окружающей среды при их повседневной эксплуатации. Такие технологии также необходимы и для обследования уже существующего радиационного загрязнения Мирового океана, вызванного затоплением объектов с ЯЭУ и радиоактивных отходов.

Как показывает более чем 30-летний опыт работ НИЦ «Курчатовский институт» по радиационному обследованию ЗЯРОО, для получения достоверных данных об их состоянии необходимо проведение специализированной научной экспедиции, подготовка которой требует создания уникального комплекса научно-технологического обеспечения

работ. Этот комплекс должен включать в себя как расчетные исследования, моделирующие различные сценарии разрушения защитных барьеров ЗЯРОО и определяющие методику проведения обследования, так и разработку специализированного комплекса подводной аппаратуры радиационного контроля и технологий его использования на затопленном объекте. Кроме того в состав такого комплекса должен входить широкий спектр гидроакустических средства поиска и отображения объектов.

При этом для доставки такого оборудования необходимо использование научно-исследовательских судов, оснащенных для выполнения широкого спектра океанологических работ, в том числе с использованием подводных аппаратов различного класса и возможностью обеспечения водолазных работ. Для работ на больших глубинах такое судно обязательно должно быть оснащено системой динамического позиционирования.

Следует отметить, что сейчас подготовка необходимого оборудования и методик обследования, подбор квалифицированного персонала и выбор подходящего для выполнения таких работ судна занимают большое время и не всегда соответствуют решаемой задаче. Все это приводит к тому, что работы по обследованию аварийных объектов проводятся со значительным опозданием и не обеспечивают получения необходимых данных о состоянии объекта, что в свою очередь, не позволяет вовремя принять необходимые меры по уменьшению последствий аварии. Кроме того, отсутствие достоверной информации о состоянии ЗЯРОО способствует возникновению различных спекулятивных предположений и приводит к возникновению радиофобии среди населения.

Таким образом, представляется актуальным разработка концептуального проекта специального судна, предназначенного для проведения работ с ядерно- и радиационно-опасными подводными и надводными объектами. На этом судне должен быть размещен специализированный комплекс уникальных средств поиска подводных объектов и исследования радиоактивных полей в морской среде, который будет востребован как в работах по реабилитации от «ядерного наследия», так и в будущих работах по обеспечению ядерной и радиационной безопасности перспективных средств освоения Мирового океана, в частности перспективных ПАТЭС, атомных ледоколов, потенциально радиационно-опасных объектов промышленности.

Такое судно при возникновении аварийной ситуации на морских объектах с ЯЭУ может в кратчайший срок прибыть к месту аварии и получить всю необходимую информацию о состоянии аварийного объекта,



что позволит принять обоснованное решение о дальнейшем обращении с ним и существенно снизит его воздействие на окружающую среду.

При отсутствии аварийных ситуаций судно будет проводить плановый цикл работ по радиационному мониторингу находящихся на дне Мирового океана ЗЯРОО. Кроме того, такое судно будет востребовано при проведении фундаментальных научных исследований, связанных с регистрацией излучений в толще Мирового океана, например, для обеспечения работ по международным проектам подводных нейтринных телескопов (NESTOR, NEMO, ANTARES) и разработке их естественных аналогов.

В состав научной группы такого судна будут входить специалисты ведущих научных центров РФ, имеющие практический опыт в области исследования радиоактивных полей Мирового океана. (Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФ - проект №23-17-00156)

УДК 504.064.3

## **ДОННАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОГО НЕПРЕРЫВНОГО РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Калмыков С.А., Никитин А.О.**

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ КИ),  
123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1, 8(499)196-95-39,  
[nrcki@nrcki.ru](mailto:nrcki@nrcki.ru)*

**BOTTOM STATION FOR LONG-TERM CONTINUOUS RADIATION  
MONITORING UNDERWATER POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS**

**Kazenov A.Y., Kiknadze O.E., Kalmykov S.A., Nikitin A.O.**

*National Research Center «Kurchatov Institute»  
1, sq. Academician Kurchatova, Moscow, 123182, Russia.*

В статье описываются технические решения, принятые НИЦ «Курчатовский институт» при разработке опытного образца донной станции для долговременного радиационного мониторинга подводных потенциально опасных объектов.

The article describes the technical solutions adopted by the Kurchatov Institute Research Center in the development of a prototype of a bottom station for long-term radiation monitoring of underwater potentially dangerous objects.

Перспективы освоения Арктики связаны с необходимостью решения экологических проблем, одна из которых обусловлена подводными потенциально опасными объектами (ППО), долгие годы находящимися на дне арктических морей [1].

Среди затопленных и затонувших подводных потенциально опасных объектов наибольшую экологическую опасность несут объекты с невыгруженным отработавшим ядерным топливом (ОЯТ). Необходимость подъёма и утилизации таких объектов объясняется постепенной деградацией защитных барьеров реакторных отсеков, что влечет за собой значительное увеличение риска возникновения аварийных ситуаций.

Безопасная реабилитация акваторий Арктики от объектов с ОЯТ возможна после их инженерного и длительного радиационного обследования, исключающего критическое повреждение защитных барьеров и выход техногенных радионуклидов. В связи с этим получение достоверной информации о состоянии объектов представляется приоритетной задачей, решение которой может быть получено с помощью донных станций непрерывного долговременного радиационного мониторинга.

На сегодняшний день в арктической акватории РФ пока ещё нет ни одной станции непрерывного долговременного радиационного мониторинга, размещенной вблизи затопленных ядерно- и радиационно-опасных объектов (ЯРОО). НИЦ «Курчатовский институт» в настоящее время разрабатывает и создаёт опытный образец подобной автономной донной станции (рис. 1).

Разрабатываемая система долговременного мониторинга укрупнённо состоит из следующих компонентов:

- подводная часть: оборудование измерения радиационных параметров ЯРОО и гидрологических параметров;
- наземная часть: береговой энергетический комплекс и аппаратура обработки и передачи информации;
- центр по контролю за объектами.

Подводная часть представлена спектрометрами гамма-излучения, датчиками контроля потока нейтронов, а также гидрологическим зондом, измеряющим параметры водной среды вблизи объекта.

Модульная конструкция подводной части позволяет сформировать набор измерительного оборудования применительно к конкретному ЯРОО.

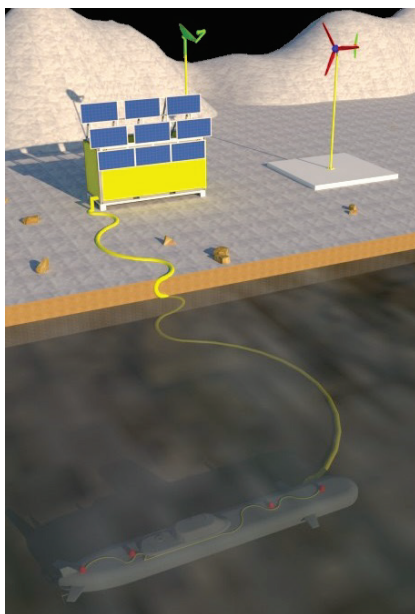


Рисунок 1 – Трехмерная модель автономной донной станции с береговым энергетическим комплексом

Устройства радиационного мониторинга могут устанавливаться непосредственно в место выхода радионуклидов из затопленного объекта, на корпус объекта для контроля радиоактивности внутри него, на дно вблизи объекта для контроля загрязнения донных отложений радионуклидами техногенного происхождения, а также с помощью плавучего буя на расстоянии нескольких метров от объекта для контроля загрязнения воды.

Береговой энергетический комплекс выполняет задачу бесперебойного энергообеспечения всего оборудования как подводной, так и наземной части. Это обеспечивается автономной энергетической установкой на возобновляемых источниках энергии с аккумуляторной батареей. Аппаратура обработки и передачи информации реализует сбор, первичную обработку параметров, измеряемых оборудованием, установленным под водой на корпусе ЯРОО.

Передача информации в центр по контролю за объектами, расположенный в НИЦ «Курчатовский институт», осуществляется по спутниковой системе связи.

В настоящее время в арктических морях РФ известны семь затопленных/затонувших объектов с ОЯТ, размещение вблизи которых донных станций долговременного радиационного мониторинга представляется целесообразным. Перечень таких ЯРОО, ранжированный по степени потенциальной радиационной опасности, представлен ниже в таблице.

Таблица 1 – Объекты с ОЯТ, затопленные/затонувшие в арктических морях РФ

Наименование объекта	Место затопления	Глубина затопления
АПЛ Б -159	Баренцево море, около 70 км от г. Мурманск	260 м
АПЛ «Комсомолец»	Норвежское море	1640 м
АПЛ К-27	з. Степового, Новая Земля	30 м
Контейнер с экранной сборкой и частью топлива атомного ледокола «Ленин»	з. Цивольки, Новая Земля	50 м
Реакторный отсек К-19	з. Абросимова, Новая Земля	45 м
Реакторный отсек К-11	з. Абросимова, Новая Земля	17 м
Реактор К-140	Карское море	~ 350 м

Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФИ - проект №23-17-00156

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Саркисов А.А. Проблемы радиационной реабилитации арктических морей, способы и пути их решения / А.А. Саркисов, В.Л. Высоцкий, Ю.В. Сивинцев, В.С. Никитин // Арктика. Экология и экономика. - 2004. - №1. – С. 70-81.

**ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЕ НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ  
АППАРАТЫ КАК СРЕДСТВО ДОСТАВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ  
ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗАТОПЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Калмыков С.А., Никитин А.О.**

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ  
КИ),*

*123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1, 8(499)196-95-39,*

*[nrcki@nrcki.ru](mailto:nrcki@nrcki.ru)*

**REMOTE-CONTROLLED UNINHABITED UNDERWATER VEHICLES AS  
A MEANS OF DELIVERING EQUIPMENT FOR THE INSPECTION OF  
FLOODED OBJECTS**

**Kazenov A.Y., Kiknadze O.E., Kalmykov S.A., Nikitin A.O.**

*National Research Center «Kurchatov Institute»*

*1, sq. Academician Kurchatova, Moscow, 123182, Russia.*

В статье представлен опыт НИЦ «Курчатовский институт» по применению телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов в процессе радиационного мониторинга подводных потенциально опасных объектов.

The article presents the experience of the National Research Center «Kurchatov Institute» on the use of remote-controlled uninhabited underwater vehicles in the process of radiation monitoring of underwater potentially dangerous objects.

Поиск объектов техногенного характера и их исследование является важной задачей обеспечения безопасности морских акваторий в Арктике. НИЦ «Курчатовский институт» многие годы активно занимается мониторингом подводных потенциально опасных объектов и контролем радиационного загрязнения арктических акваторий. С этой целью в НИЦ «Курчатовский институт» разработан Инновационный комплекс технических средств для оценки ядерной, радиационной и экологической безопасности объектов с ОЯТ и РАО, затопленных в Арктике. В состав инновационного комплекса входят средства доставки подводных гамма-

спектрометров и проведения визуального обследования. В качестве такого средства были выбраны телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) осмотра класса РБ-300 и РБ-660 производства компании ООО «Ровбилдер» (рис.1).



Рис. 1 – Телеуправляемые необитаемые аппараты РБ-300 и РБ-660

Основные технические характеристики ТНПА РБ-300 и РБ-660 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики ТНПА РБ-300 и РБ-660.

	РБ-300	РБ-660
Максимальная глубина, м	200	350
Габаритные размеры подводного модуля (ДхШхВ), мм:	500 x 300 x 310	700 x 500 x 430
Максимальная маршевая скорость, узлов	3	3
Вес, кг	12	30
Длина кабеля, м.	200	450
Видеокамеры, шт.	2	2
Двигатели, шт.	5	6
Потребляемая мощность, Вт	900	2500

ТНПА предназначены для проведения поиска подводных объектов, выполнения осмотровых и обследовательских работ под водой в прибрежных и внутренних водах, доставки аппаратуры радиационного мониторинга к месту обследования, технической поддержки водолазных работ, выполнения подводно-технических работ с помощью манипулятора и обеспечения фото- и видеофиксации места затопления ППОО.

НИЦ «Курчатовский институт совместно с ООО «Ровбилдер» провел работу по модернизации ТНПА с целью обеспечения возможности подключения подводных спектрометров серии РЭМ-4Х.

ТНПА РБ-300 и РБ-660 были успешно применены во время экспедиционных работ по обследованию подводных потенциально опасных объектов в заливах архипелага Новая Земля [1, 2]. Работы с РБ-660 проводились с борта судна, а небольшие массогабаритные характеристики РБ-300 позволяли эксплуатировать его с борта судового катера, что впоследствии оказалось наиболее эффективным вариантом работы с ТНПА.

Перед началом обследования проводилось подробное гидрографическое исследование дна залива многолучевым эхолотом (МЛЭ) с целью обнаружения затопленных объектов, получения их точных координат и последующего построения высококачественных цифровых моделей.

Точные координаты позволяли осуществлять постановку судового катера на якорь в непосредственной близости от объекта, что существенно упрощало его допоиск с помощью камер видеонаблюдения и сонара, которыми оснащены ТНПА.

После предварительного осмотра и уточнения местоположения ТНПА проводилось детальное обследование с построением карты точек регистрации спектров на модели объекта, полученной по данным МЛЭ (рис. 2).

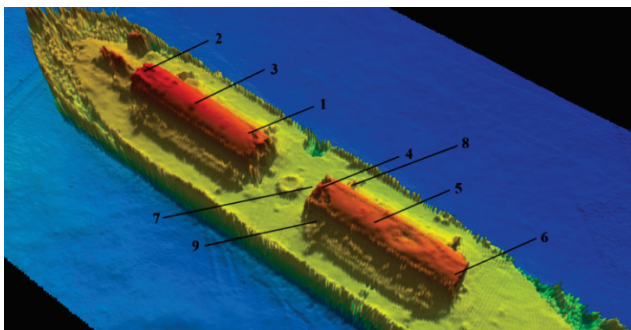


Рис. 2 - Точки измерений гамма-излучения на модели объекта

Таким образом, применение ТНПА как средства доставки подводной аппаратуры и визуального обследования позволило получить исчерпывающие данные о всех объектах, затопленных в двух заливах Новой Земли (з. Абросимова, з. Степового).

Визуальное наблюдение за объектом обследования и получение спектрометрических данных в режиме реального времени сделало возможным с высокой точностью оценить состояние и степень повреждения затопленных объектов, а также зафиксировать места выхода техногенных радионуклидов. (Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФ - проект №23-17-00156)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Итоговый отчет «Исследование состояния подводных потенциально опасных объектов в Карском море и их влияния на региональную экологию». ИО РАН им. П.П.Ширшова, 2021 г.
2. Научно-технический отчет о результатах радиационного обследования АПЛ К-27, НИЦ «Курчатовский институт», 2022 г.

УДК 504.064.3, 621.039.7

### **ПРИМЕНЕНИЕ ПОДВОДНЫХ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПОДВОДНЫХ ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Калмыков С.А., Никитин А.О.**

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1,  
+7 (499) 196–95–39,*

**APPLICATION OF UNDERWATER HIGHLY SENSITIVE GAMMA-  
SPECTROMETERS FOR RADIATION MONITORING OF THE STATE OF  
UNDERWATER NUCLEAR AND RADIATION HAZARDOUS OBJECTS**

**Kazenov A.Y., Kiknadze O.E., Kalmykov S.A., Nikitin A.O.**

*National Research Center «Kurchatov Institute»  
1, sq. Academician Kurchatova, Moscow, 123182, Russia.*



В статье представлены результаты радиационных обследований подводных ядерно- и радиационно опасных объектов в Арктическом регионе РФ с применением новейших подводных высокочувствительных гамма-спектрометров серии РЭМ-4Х, разработанных НИЦ «Курчатовский институт».

The article presents the results of radiation surveys of underwater nuclear and radiation hazardous objects in the Arctic region of the Russian Federation using the latest high-sensitivity underwater gamma-spectrometers of the REM-4X series, developed by the National Research Center «Kurchatov Institute».

Авторы доклада представляют результаты применения высокочувствительных гамма-спектрометров серии РЭМ-4Х при обследовании подводных ядерно- и радиационно опасных объектов (ЯРОО), затопленных или затонувших в акваториях Арктического региона Российской Федерации.

На протяжении длительного времени НИЦ «Курчатовский институт» занимается проблемами радиационного мониторинга и контроля ЯРОО. Подобное направление работ требует постоянного совершенствования применяемых методик обследования и наличия высокотехнологичного узкоспециализированного оборудования. С этой целью в НИЦ «Курчатовский институт» были разработаны подводные спектрометры серии РЭМ, отлично зарекомендовавшие себя в многочисленных обследованиях подводных потенциально-опасных объектов (ППОО) в Карском море и заливах Новой Земли.

В настоящее время разработано уже четвертое поколение спектрометров – серия РЭМ-4Х, в которую входят спектрометры следующих типов:

– *РЭМ-4-76* – высокочувствительный подводный спектрометр на базе сцинтилляционного кристалла германата висмута  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (BGO). Основная область применения спектрометров типа РЭМ-4-76 – регистрация низких уровней гамма-излучения в водной среде и вблизи подводных ППОО;

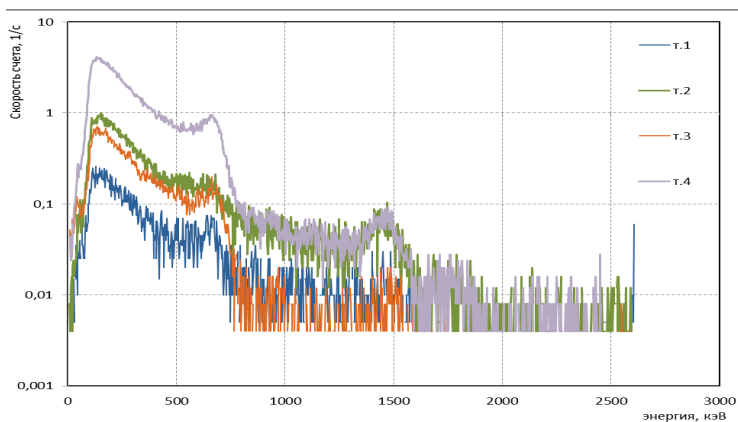
– *РЭМ-4-50* – подводный спектрометр на базе кристалла BGO повышенной чувствительности. Массогабаритные характеристики и конструктивные особенности данного типа спектрометров позволяют размещать их на телеуправляемых подводных аппаратах (ТПА) малого и сверхмалого класса, что позволяет оператору ТПА отслеживать изменения радиационной ситуации вокруг аппарата в режиме реального времени или использовать аппарат в качестве средства доставки измерительного

оборудования (спектрометра) непосредственно к месту проведения обследования с высокой точностью позиционирования;

– РЭМ-4-25 «Щуп» – подводный спектрометр на базе кристалла BGO средней чувствительности, предназначенный для регистрации уровней гамма-излучения непосредственно на корпусах ППОО. Конструктивные особенности этого типа спектрометров предполагают их размещение в технологических отверстиях, полостях и разломах корпуса затопленного объекта, что позволяет максимально приблизить детектор к источникам гамма-излучения и значительно увеличить эффективность обследования.

Важным отличием подводных спектрометров серии РЭМ-4Х от своих предшественников стал переход на новую элементную базу с использованием отечественных составляющих. Также, в качестве детектора текущих видов спектрометров был выбран сцинтилляционный кристалл германата висмута BGO. Этот кристалл должен иметь большую эффективность регистрации гамма-квантов по сравнению с наиболее распространенными NaI(Tl) за счет большей плотности и большего  $Z_{\text{эфф}}$  (эффективный заряд ядра) [1].

Спектрометры серии РЭМ-4Х разработаны в 2021 году и уже применялись в 2021-2022 годах при обследовании ППОО в заливах Новой Земли (в том числе АПЛ К-27) [2, 3] и АПЛ Б-159 [4]. На рисунке 1 представлены полученные при обследовании вышеупомянутых объектов спектры. Основные технические характеристики использованных при обследованиях спектрометров представлены в таблице 1.



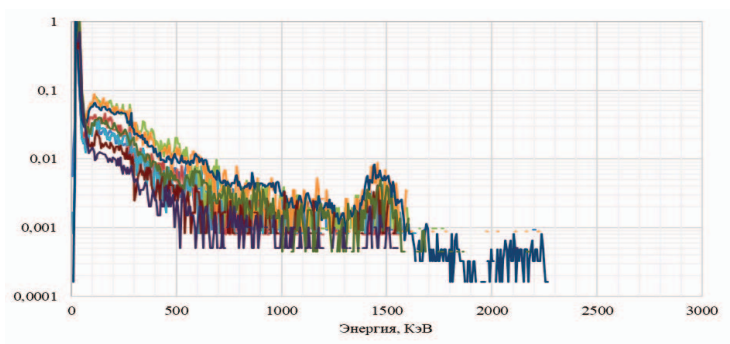


Рис.1. Спектры, зарегистрированные при обследовании свалки контейнеров с ТРО в заливе Степового с использованием подводного спектрометра РЭМ-4-50 и при обследовании АПЛ Б-159 с использованием подводного спектрометра РЭМ-4-25 «Щуп»

Таблица 1. Основные технические характеристики спектрометров серии РЭМ-4Х

Наименование характеристики	Значение		
Тип подводного спектрометра	РЭМ-4-50	РЭМ-4-76	РЭМ-4-25 «Щуп»
Размер монокристалла германата висмута $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO), мм	Ø50x100	Ø76x150	Ø25x60
Энергетическое разрешение по $^{137}\text{Cs}$ (661,7 кэВ), не более	12%	12%	15%
Энергетический диапазон	0,1 – 3,0 МэВ	0,1 – 3,0 МэВ	0,1 – 3,0 МэВ
Интегральная нелинейность	±1%	±1%	±1%
Диапазон рабочих температур, °С	от –4 до +35	от –4 до +35	от –4 до +35
Предельная глубина погружения (в разных исполнениях), м	400 / 1700	400 / 1700	400

На текущий момент спектрометры серии РЭМ-4Х крайне востребованы. Уникальные результаты, полученные с использованием

подводных спектрометров серии РЭМ-4Х, показали высокую эффективность использования передовых технологий и новейших технических средств для проведения радиационного обследования подводных ЯРОО. (Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФ- проект 23-17-00156)

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Отчет о результатах проведения практического семинара по подводной гамма-спектрометрии. НИЦ «Курчатовский институт», 2021 г.
2. Научно-технический отчет о результатах радиационного обследования АПЛ К-27, НИЦ «Курчатовский институт», 2022 г.
3. Итоговый отчет «Исследование состояния подводных потенциально опасных объектов в Карском море и их влияния на региональную экологию». ИО РАН им. П.П.Ширшова, 2021 г.
4. Научно-технический отчет о результатах радиационного обследования АПЛ Б-159. НИЦ «Курчатовский институт», 2022 г.

УДК 551.46.09

## МОНИТОРИНГ АКВАТОРИЙ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ РОССИИ И ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

**Лискин В.А.<sup>1</sup>, Римский-Корсаков Н.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01, [resty@mail.ru](mailto:resty@mail.ru)*

<sup>2</sup>*Московский Государственный Технический Университет им.  
Н.Э.Баумана, Москва 105005, Россия,  
E-mail: [nrk@ocean.ru](mailto:nrk@ocean.ru) (mailto: [nrk@ocean.ru](mailto:nrk@ocean.ru))*

## MONITORING OF THE WATER AREA OF THE NORTHERN SEAS OF RUSSIA AND THE SUBSTANTIATION OF THE PROPOSED SOLUTIONS

**Liskin V.A.<sup>1</sup>, Rimsky-Korsakov N.A.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, RAS,  
36 Nakhimovsky pr., Moscow, 117997, Russia 8(499)124-13-01, [resty@mail.ru](mailto:resty@mail.ru),*  
<sup>2</sup>*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia E-mail:  
[nrk@ocean.ru](mailto:nrk@ocean.ru) (mailto: [nrk@ocean.ru](mailto:nrk@ocean.ru))*

В районах северных морей России, подверженных сезонным гидрометеорологическим и ледовым явлениям, возможности натуральных наблюдений и научных исследований ограничены. Разрешить сложившуюся ситуацию возможно путем организации мониторинга на основе распределенных сетей долговременных автономных станций.

In the areas of the northern seas of Russia, subject to seasonal hydrometeorological and ice phenomena, the possibilities of natural observations and scientific research are limited. It is possible to resolve the current situation by organizing monitoring based on distributed networks of long-term autonomous stations.

Особое место в мониторинге акваторий занимает изучение процессов качественного и количественного массообмена на поверхности раздела «вода-дно» с использованием донных гидрохимических станций. Донные станции нового поколения, позволяют качественно и количественно оценить химический обмен на границе «вода-дно» путем прямых измерений потоков растворенных и газообразных компонентов. Получаемые таким образом данные являются фундаментом для изучения придонного химического массообмена, ответственного за осадконакопление и биопродуктивность акваторий, для оценки и прогнозирования антропогенного воздействия на экологию, для изучения и оценки месторождений полезных ископаемых на основе анализа углеводородных эманаций.

Создание распределенной сети донных геохимических станций нового поколения, позволяет при разумных затратах:

- охватить большие акватории и обеспечить длительные синхронные измерения с необходимой пространственной и временной дискретностью;
- обеспечить передачу измеренных данных дистанционным способом;
- выполнять измерения подо льдом, с длительным накоплением результатов и последующей их передачей.

Таким образом проектирование донных и притопленных станций, является актуальной задачей, так как в настоящее время отечественные серийные образцы отсутствуют. Приобретение импортных образцов, в связи с их высокой стоимостью проблематично, что снижает эффективность процесса исследований и освоения (экология, ресурсы, коммуникации, безопасность) акваторий, попадающих в зону интересов России и приводит к фактическому вытеснению России из международных океанологических, в том числе Арктических проектов. Важно, что создание

многоцелевых вариантов автономных океанологических станций, представляет коммерческий интерес в плане их тиражирования, реализации внутри страны и за рубежом, а также для обеспечения занятостью квалифицированных инженерных и рабочих кадров.

Применительно к мониторингу морей Российской Федерации, подверженных сезонным ледовым явлениям, одним из основных требований является наличие на станции гидроакустического канала связи для передачи измеренных данных на береговой пост и далее на спутник, а также для контроля и управления режимами работы станции. Высокая вероятность сильного волнения, особенно в северных морях, существенно снижает надежность успешной передачи измеренных данных через радиобуй и тем более через кабель. Эти особенности затрудняют использование станций без гидроакустического канала связи.

При создании автономных донных станций, для мониторинга гидрофизических и гидрохимических параметров морской среды с использованием гидроакустической телеметрии и реализации энергосберегающих технологий, логично использовать модульный принцип построения станции на основе унифицированного ряда измерительных ячеек – интеллектуальных модулей, которые объединяются в единую информационную сеть.

Разработка и изготовление многоцелевой донной автономной станции нового поколения модульной конструкции и с неограниченной глубиной погружения, допускает применение ее в нескольких вариантах. При этом, будут использоваться уже разработанные методы создания океанологической техники, образцы которой на протяжении многих лет успешно применяются в разнообразных исследовательских проектах по фундаментальной и прикладной тематике, в т.ч. в международных экспериментах. При создании донной станции, будет использована концепция «интеллектуальных датчиков» и модульный принцип, позволяющие компоновать ее в нескольких вариантах: как донную гидрофизическую, донную гидрохимическую или притопленную гидрофизическую станцию. Разрабатывается структура и конструкция всех элементов станции: унифицированные микроэлектронные схемы и микропроцессорные узлы, конструкционные узлы измерительных модулей, гидроакустический комплекс для передачи данных, интеллектуальный комплекс управления работой станции, накопления и обработки измеренных данных, оборудование для постановки и подъема станции. Для оперативного контроля и управления режимами работы станций используется гидроакустическая телеметрия и микропроцессорные технологии

Данные, собираемые донными гидрохимическими станциями, являются фундаментом для изучения процессов химического массообмена у дна, ответственных за осадконакопление и биопродуктивность акваторий, оценки антропогенного воздействия на среду, прогнозирования, изучения и оценки месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа на основе анализа углеводородных эманаций. Благодаря оригинальной возможности проведения синхронных измерений в заранее выбранных точках длительное время, данные автономных станций при мониторинге, позволят применять экономичные схемы численного моделирования, свободные от сложных обратных задач восстановления полей, что позволит реально изучать и прогнозировать процессы синоптической и мезомасштабной изменчивости водных масс, включая положение фронтальных зон, вихрей и линз.

Проведенный сравнительный анализ позволяет сделать заключение, что предлагаемая многопараметрическая донная станция, обладает рядом преимуществ, в сравнении с другими станциями по перечню измеряемых параметров, по глубине измерений и количеству измерительных модулей. Следует отметить, что станция имеет высокоскоростной гидроакустический канал передачи данных с дальностью действия до 2000 м, а также допускает установку любого набора измерительных модулей и программирование их работы непосредственно перед постановкой в море. Также имеется возможность тарировки измерительных модулей - каждого в отдельности. Следует отметить, что станция оснащается модулем измерения концентрации растворенного метана (CH<sub>4</sub>). Таким образом можно утверждать то, что станция не имеет аналогов в среде известных лучших образцов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема FMWE-2021-0010, Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФ (проект № 23-17-00156)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Римский-Корсаков Н.А. Развитие технологии комплексных инструментальных подводных наблюдений применительно к экосистемам Российской Арктики / Н.А. Римский-Корсаков, М.В. Флинт, С.Г. Поярков, И.М. Анисимов, Я. И. Белевитнев, А. А. Пронин, С. Н. Тронза // Океанология. - 2019. - Т.59. - № 4. - С. 679–683.
2. Саломатин А.С. Акустическая оценка концентрации метана в областях пузырьковой разгрузки / А.С. Саломатин, В.И. Юсупов, О.Ф. Верещагина, Д. В. Черных // Акустический журнал. - 2014. - Т. 60. - № 6. - С. 636-644.

3. Пальшин Н.А. Электромагнитные методы исследования геологического строения дна морей и океанов / Н.А. Пальшин // Материалы XIV Международной научно-технической конференции «МСОИ-2015». «Современные методы и средства океанологических исследований». Москва. - 2015. - Т.1. - С. 304-305.
4. Зеньков А.Ф. Состояние и тенденции развития систем оперативной океанологии в ВМС зарубежных стран / А.Ф. Зеньков, С.И. Мاستрюков // Навигация и гидрография. - 2016. - № 45. - С.69-76.

УДК 551.46.06

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ  
ОТХОДОВ В ЗАЛИВЕ БЛАГОПОЛУЧИЯ, 89 РЕЙС НИС  
«АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»**

**Анисимов И.М.<sup>1</sup>, Багницкий А.В.<sup>2</sup>, Муравья В.О.<sup>1</sup>, Лесин А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,  
[anisimov.im@ocean.ru](mailto:anisimov.im@ocean.ru)*

<sup>2</sup>*Институт проблем морских технологий ДВО РАН  
ул. Суханова, д.5а, 690091, г. Владивосток,  
8(423) 243-24-16  
[imtp@marine.febras.ru](mailto:imtp@marine.febras.ru)*

**RESULTS OF INVESTIGATIONS OF RADIATION HAZARDOUS WASTE  
IN BLAGOPOLUCHIA GULF, 89 CRUISE OF THE R/V «AKADEMIK  
MSTISLAV KELDYSH»**

**Anisimov. I.M., Bagnitskiy A.V., Muravya V.O., Lesin A.V.**

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

<sup>2</sup>*Institute of Marine Technology Problems FEB RAS,  
5a, Sukhanova street, Vladivostok, 690091*

В докладе представлены результаты исследований захоронения радиационно опасных отходов, расположенного в заливе Благополучия, Новая Земля. В ходе 89 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» была получена подробная гидролокационная



мозаика захоронения, а также были проведены прямые радиационные измерения контейнеров с радиоактивными отходами.

The paper presents the results of studies of the disposal of radioactive hazardous waste, located in the Blagopoluchiya gulf, Novaya Zemlya. During cruise 89 of the R/V «Akademik Mstislav Keldysh», a detailed sonar mosaic of the burial site was obtained, and direct radiation measurements of containers with radioactive waste were carried out.

Картографирование россыпи ТРО в заливе Благополучия впервые было проведено в 69 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2017 г. Полученные данные позволили судить о присутствии там контейнеров с радиационно опасными отходами (РАО), однако их было недостаточно для определения точного размера и границ данного захоронения. Благодаря последующим гидролокационным съемкам и прямым радиационным измерениям удалось оценить радиационную обстановку в отдельных частях захоронения. Было установлено, что повышенный уровень гамма-излучения техногенных радионуклидов наблюдается только вблизи отдельных контейнеров, тогда как на грунте и в водной толще гамма-излучение не превышает фоновых значений [2].

В 2022 г. в ходе 89 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» были продолжены гидролокационные исследования захоронения РАО в з. Благополучия с целью их картографирования. Для этого был применен автономный аппарат «МТ-Пилигрим» разработки ИПМТ ДВО РАН [1]. Благодаря повышенной маневренности и независимости от судна-носителя, с помощью аппарата удалось выполнить полное картирование захоронения. Гидролокационная пространственная мозаика представлена на рисунке 1. Из нее видно, что большая часть контейнеров сгруппирована на полигоне размером 200 на 300 м, ориентированном с юго-востока на северо-запад перпендикулярно изобатам. Встречаются единичные контейнеры, лежащие за пределами этого полигона. Контейнеры сосредоточены на глубинах от 50 до 75 метров.

На основе построенной карты были уточнены координаты точек для проведения прямых спектрометрических измерений с применением ТНПА «СуперГНОМ» (разработка ИО РАН) и подводного гамма-спектрометра РЭМ-35-2 (разработка НИЦ Курчатовский институт). Спектрометрические измерения показали, что присутствие излучения техногенных радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ) наблюдается лишь в непосредственной близости объектов. Проведенные измерения на грунте в отдалении от контейнеров радиационного загрязнения не выявили. В таблице 1 приведена количественная оценка количества объектов, содержащих

источники гамма-излучения по отношению к общему числу исследованных объектов за 2020 год (81 рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш») и за текущую экспедицию.

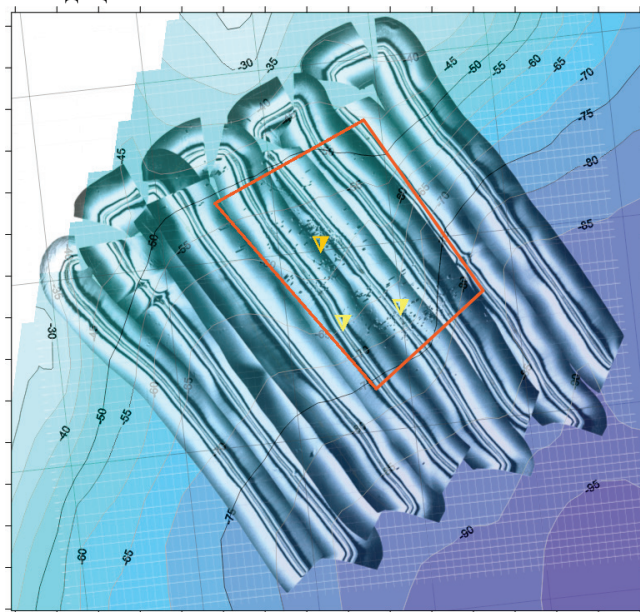


Рис. 1. Гидролокационная мозаика, построенная по результатам съемки АНПА «Пилигрим». Полигоном обозначены границы россыпи контейнеров с ТРО. Треугольными отметками обозначены точки погружения ТНПА «СуперГНОМ».

Таблица 1. Оценка количества объектов, содержащих источник гамма-излучения за 2 года прямых измерений в заливе Благополучия.

	2020 г. (АМК-81)	2022 г. (АМК-89)
Кол-во обследованных объектов	24	29
Кол-во объектов, содержащих источник гамма-излучения:		
- $^{137}\text{Cs}$	7	8
- $^{60}\text{Co}$	4	3
Доля объектов, содержащих $^{137}\text{Cs}$	29 %	28 %
Доля объектов, содержащий $^{60}\text{Co}$	17 %	10 %
Общая доля объектов, содержащих источник гамма-излучения	<b>46 %</b>	<b>34 %</b>

Предварительно можно сделать вывод, что менее половины от общего количества объектов содержат источник гамма-излучения, однако для достоверной оценки требуется проведение измерений на большем количестве объектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0010). Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФ (проект № 23-17-00156)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Багницкий, А. В. Инзарцев А. В. Автоматизация подготовки миссии для АНПА в задачах обследования акваторий // Подводные исследования и робототехника. 2010. № 2(10). С. 17-24.
2. Римский-Корсаков Н. А., Кикнадзе О. Е., Пронин А. А., Алексеев И. Н., Казеннов А. Ю. Комплексные исследования захоронений твердых радиоактивных отходов (ТРО) в 81 рейсе НИС "академик Мстислав Келдыш в Карское море // Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2021) : Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 18–20 мая 2021 года / Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН. Том 2. Москва: ИО РАН, 2021. С. 238-243.

# ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТЫ, ПРИБОРНАЯ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

УДК 551.465

## ВЗАИМОСВЯЗЬ МОРСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И НАУЧНЫХ ОТКРЫТИЙ В ОКЕАНЕ

<sup>1</sup>Сагалеви́ч А.М., <sup>2</sup>Сагалеви́ч В.Д.

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский просп., д.36 e-mail: [sagalev1@yandex.ru](mailto:sagalev1@yandex.ru)*

<sup>2</sup>*Московский Государственный Университет им.М.В.Ломоносова  
119991 Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, Россия  
e-mail: [slavsag@gmail.com](mailto:slavsag@gmail.com)*

## INTERCONNECTION OF MARINE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC DISCOVERIES IN THE OCEAN

<sup>1</sup>Sagalevich A.M., <sup>2</sup>Sagalevich V.D.

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology. Russian Academy of Science,  
36, Nakhimovsky prosp., Moscow, 117997 Russia,  
e-mail: [sagalev1@yandex.ru](mailto:sagalev1@yandex.ru)*

<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University  
GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation  
e-mail: [slavsag@gmail.com](mailto:slavsag@gmail.com)*

В докладе рассматривается взаимосвязь между развитием морских технологий и научными открытиями в океане. Изобретение и внедрение эхолотов, применение сейсмических методов исследований дали возможность совершить величайшее открытие XX в. — открытие глобальной теории тектоники литосферных плит. Использование глубоководных буксируемых аппаратов позволило обнаружить гидротермальные поля на дне океана, открыть новый источник жизни в океане — хемосинтез. С другой стороны, открытие гидротермальных полей стимулировало создание обитаемых аппаратов с рабочими глубинами 6000 м и более. Названные открытия в корне изменили наше представление о строении Земли. Они — наиболее яркие примеры тесной взаимосвязи инновационных технологий и научных свершений

The paper discusses the relationship between the development of marine technology and scientific discoveries in the ocean. The invention and introduction of echo sounders, the use of seismic research methods made it possible to make the greatest discovery of the XX century — discover the global theory of lithospheric plate tectonics. The use of deep-sea towed vehicles and manned submersibles made it possible to discover hydrothermal fields on the ocean floor, to discover a new source of life in the ocean — chemosynthesis. On the other hand, the discovery of hydrothermal fields stimulated the creation of manned submersibles with working depths of 6000 m or more. These discoveries radically changed our understanding of the structure of the Earth. They are the most striking examples of the close relationship between innovative technologies and scientific achievements.

Современное представление о строении Земли было бы невозможно без развития инновационных технологий и методов исследований. История показывает, что наиболее выдающиеся открытия в науке об океане базируются на внедрении новых технологий в исследования океана. С другой стороны, зачастую научные открытия стимулируют развитие новых технологий, которые необходимы, к примеру, для детализации вновь открытых процессов или явлений.

### **1. Эхолот**

Во второй половине XX века был накоплен огромный объем научных данных о рельефе и структуре океанского дна. Эти данные были получены благодаря применению методов эхолотирования и сейсмических методов исследований. На ранней стадии эти исследования проводились с помощью взрывов, применяемых для возбуждения упругих колебаний в воде. Внедрение эхолотов в практику исследований было великим достижением, которое не только в корне изменило методику измерения глубин океана, но значительно повысило эффективность и детальность исследований. Впервые идея использования звука для измерения расстояния в воде была озвучена много лет назад Леонардо да Винчи. Однако реальные эксперименты в этом направлении были сделаны лишь в начале XX века. Первая экспедиция с названием «Большая Атлантическая экспедиция» была проведена в 1925-1927 годах на немецком научно-исследовательском судне «Метеор». Во время этой экспедиции было сделано 60000 измерений с помощью эхолота на расстоянии 600 км. Эта экспедиция открыла новую эру в батиметрических исследованиях океана [1].

Однако настоящий эхолот, который и сейчас используется во всем мире, был создан английской компанией «Келвин Хьюз». В 50-е годы XX века большинство судов мира было оборудовано эхолотами этой фирмы. Модель MS-211 была установлена на новом английском «Челленджере», который в 1954 году нашел самую глубокую точку в океане – Челленджер Дип и измерил ее глубину – 10540 м. Однако, в 1957 году наш НИС «Витязь», также оборудованный эхолотом «Келвин Хьюз», нашел большую глубину в этой впадине – 11022 м, которая до сих пор является стандартом максимальной глубины океана.

## **2. Сейсмология отраженных и преломленных волн**

Сейсмические исследования в океане начали проводиться в начале XX века. Первые эксперименты проводились в конце XIX века. Они ставили задачу изучения землетрясений. В 1888 году немецкий ученый А.Шмидт исследовал возможности распространения сейсмических волн для изучения искусственного землетрясения, имитируемого с помощью взрывов. В 1890 году француз Габриэль Липпманн разработал теорию сейсмографа, которая позже в 1903 г. была усовершенствована русским инженером Борисом Голицыным и Еханом Вичертом (Германия, 1907 г.). В 1917 году Людгер Минтроп (Германия) запатентовал метод измерения расстояний с помощью преломленных волн.

В 1926 году Людгер Минтроп запатентовал метод отраженных волн, как один из основных методов сейсмологических исследований. В 1946 году ирландский ученый Роберт Маллер, применив взрывы под водой, зарегистрировал и проанализировал упругие волны, отраженные от дна и слоев осадков. Далее методы отраженных и преломленных волн были усовершенствованы и довольно активно применялись для изучения процессов, происходящих в океанической коре, что позволило сделать ряд удивительных открытий, перевернувших наше представление об устройстве нашей планеты Земля [2].

## **3. Глобальная теория тектоники литосферных плит (революция Вегенера)**

В середине XX века в мире был накоплен большой объем научных данных о рельефе океанского дна и структуре океанической коры в результате применения эхолотов и сейсмических методов исследований с помощью отраженных и преломленных волн. В 1953 году американские ученые Роберт Дитц и Уильям Менард опубликовали результаты картирования океанского дна в Тихом океане, полученные с помощью эхолотов и сейсмических методов исследований. На карту легли крупные протяженные структуры, возвышающиеся над уровнем океанского ложа и изобилующие разломами и сбросовыми уступами.

В 1956 году американские ученые Морис Юинг и Брюс Хизен на основании многочисленных исследований сделали заключение о том, что океанское дно пересекают системы срединно-океанических хребтов, которые опоясывают земной шар, имея общую протяженность около 80000 километров и возвышаются над ложем океана на 2-3 км (Рис.1) [3]. На базе этих открытий была разработана теория глобальной тектоники литосферных плит, которая получила название «революция Вегенера» в честь немецкого геофизика Альфреда Вегенера, который высказал идею о движении континентов еще в начале XX века.



Рис.1. Литосферные плиты Земли. Направления движения плит показаны стрелками. Зоны субдукции (подвига) обозначены у границ плит зубцами

Согласно этой теории, твердая оболочка земной коры – литосфера – разделена на несколько плит, которые перемещаются по вязкой горячей массе – астеносфере. На границах между плитами происходит их раздвижение и подъем к поверхности глубинного вещества, что приводит к образованию новой океанической коры. Процесс раздвижения плит получил название спрединга. Скорость спрединга в различных районах океана разная: от 1-2 см в год в районе Срединно-Атлантического хребта (САХ) до 18 см в год на Восточно-Тихоокеанском поднятии (ВТП). Теория тектоники литосферных плит в корне изменила наше представление о строении Земли. Она показала, что земной шар не твердое, «бездыханное» тело, а все его слагающие части находятся в постоянном движении, обновляясь и регенерируясь в глубинах океана на границах литосферных плит, где и образуется новая океаническая кора.

Необходимо отметить, что открытие теории литосферных плит стало возможным благодаря внедрению новых технологий, позволивших в

довольно короткие сроки провести глобальные исследования геологического строения дна океана в различных его районах.

В 60-е годы XX века начали внедряться новые технологии и методы исследования поверхности дна океана и строения океанической коры. К ранее применявшимся методам эхолотирования и сейсмических исследований с помощью взрывов добавились методы непрерывного сейсмического профилирования (НСП) и магнитометрии.

Применение НСП и магнитометрии дали возможность провести большой объем исследований в районах рифтовых зон Мирового океана в довольно сжатые сроки. После проведения этого комплекса исследований и окончательного подтверждения теории тектоники литосферных плит, как отправной точки строения планеты Земля, стало понятно, что для дальнейшего развития нашего представления о строении Земли ученые должны увидеть дно океана и целенаправленно проводить исследования в наиболее интересных с научной точки зрения районах. Очевидно, возникла потребность в глубоководных обитаемых аппаратах, которые могли бы максимально приблизить ученых к объектам исследований, находящимся на дне.

#### **4. Глубоководные обитаемые аппараты**

##### **4.1. Батискафы**

Первыми свободно плавающими глубоководными обитаемыми аппаратами были батискафы, изобретенные Огюстом Пикаром – швейцарским ученым и инженером. В батискафах их плавучесть обеспечивалась большим объемом легкой жидкости – бензина, закачиваемой в металлический поплавок (до 300 тонн бензина). Батискафы были громоздкими и тяжелыми, но первые глубоководные погружения были сделаны именно ими.

В 1952 году Огюстом Пикаром был создан батискаф «Триест» (по названию города, в котором он строился) (Рис. 2). Этот аппарат был куплен ВМФ США в 1958 году для реализации проекта «Нектон», главной целью которого было осуществление погружения в самую глубокую точку нашей планеты на глубину 11000 м в районе Марианского желоба – во впадину Челленджер. Оригинальная прочная сфера «Триеста» была рассчитана на глубину 6000 м. Американцы изготовили новую сферу на заводах Круппа в Германии по проекту сына О.Пикара Жака. 23 января 1960 года Жак Пикар и американский офицер ВМФ Дон Волш совершили историческое погружение на глубину 10916 м во впадину Челленджер [4]. Дальнейшее совершенствование конструкции подводных аппаратов шло по линии их миниатюризации и увеличении маневренности.

Главной задачей при создании такого типа аппаратов являлась замена легкой жидкости (бензина), создававшей плавучесть батискафов, на



компактный твердый плавучий материал, удельный вес которого был бы гораздо меньше, чем удельный вес воды и который выдерживал бы высокое давление воды на больших глубинах.

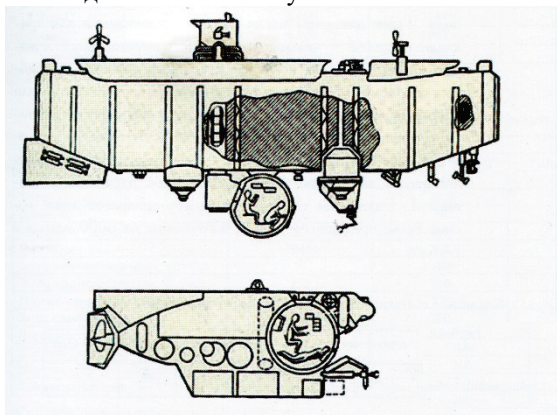


Рис.2. Батискаф «Триест» и современный глубоководный обитаемый аппарат

#### 4.2. Синтактик

В начале 60-х годов XX в. были изготовлены первые образцы композита из стеклянных микросфер и эпоксидной смолы — синтактика. Данный материал обладал уникальными качествами, отвечающими требованиям плавучего глубоководного материала. Сначала синтактик использовался для создания телеуправляемых аппаратов ВМФ США. В 1963 г. американская фирма «ЗМ» запатентовала синтактик со стеклянными микросферами, и в 1970 г. она на многие годы стала основным поставщиком этого материала во всем мире. В 1966 г. американский Морской регистр утвердил синтактик как официальный материал для обеспечения плавучести подводных обитаемых аппаратов. Синтактик — одно из величайших открытий в области морских технологий. Его внедрение в практику позволило конструировать принципиально новые типы подводных обитаемых, телеуправляемых, буксируемых и автономных аппаратов.

#### 4.3. Новое поколение глубоководных обитаемых аппаратов

В 1960–1970 гг. в Канаде, США, Франции, Японии и других странах было создано около 100 обитаемых малогабаритных и маневренных аппаратов на базе синтактика, работающих на различных глубинах. Большинство из них предназначалось для работы в диапазоне глубин до 2000 м. В 1973 г. аппарат Вудсхольского Океанографического института

(штат Массачусетс, США) «Алвин» (DSV-2 Alvin) после его затопления без людей в 1968 г. был поднят со дна и переделан на рабочую глубину 4000 м. Следующий существенный скачок в создании нового типа аппаратов был вызван открытием на дне океанов гидротермальных полей с высокотемпературными излияниями в виде черных дымов, метановыми сочениями и необыкновенным животным миром. Стало понятно, что требуются более глубоководные аппараты. В ведущих океанологических державах мира началось создание обитаемых аппаратов с рабочей глубиной 6000 м, которая обеспечивала бы исследования на 98% площади дна Мирового океана. В 1980-х годах в мире было создано пять обитаемых шеститысячников (табл. 1). Следующие ГОА с глубиной более 6000 м появились лишь через 25 лет! И на эти пять аппаратов выпала основная доля открытий в Мировом океане, которые перевернули былые представления не только о строении планеты Земля, но и о животном мире, ее населяющем [5].

#### **4.4. Глубоководные буксируемые аппараты**

Идея создания глубоководных буксируемых аппаратов родилась после гибели атомной подводной лодки «Трешер» (1963). Группа инженеров Океанографического института Скриппса в Калифорнии во главе с Фредом Списсом сконструировала подводную платформу «Дип Тоу», буксируемую судном на кабель-тросе вблизи дна. Одним из самых важных приборов «Дип Тоу» стал локатор бокового обзора, который разработали в Институте Скриппса, а затем его изготовила фирма «Вестингауз». В первое время локатор бокового обзора использовался только для нужд ВМФ США. Коммерческую его версию в 1966 г. изготовила фирма «Мартин Кляйн Ассошиэйтед», а ее президент Мартин Кляйн известен сейчас как изобретатель локатора бокового обзора.

#### **5. Открытие гидротермальных полей на дне океана**

Одно из важнейших открытий XX в. на дне океана было сделано в 1977 г. В районе Галапагосского рифта на глубине 2400 м было открыто первое в истории гидротермальное поле. Тогда существовало мнение, что такие явления могут происходить только на Восточно-Тихоокеанском поднятии, где скорость спрединга очень высокая, а, следовательно, там должно выделяться большое количество тепловой энергии.

Открытие гидротермального поля на Галапагосском рифте было сделано с помощью буксируемого аппарата «Ангус» (рис.3), который зафиксировал повышенную температуру в придонном слое на глубине 2400 м и сделал фотографии необычных донных животных, и обитаемого аппарата «Алвин», который дал возможность ученым рассмотреть через иллюминаторы необычную картинку «розового сада» на дне, как назвали это явление ученые, погрузившиеся в «Алвине». Ученые наблюдали

журчащие теплые воды, неизвестных ранее гигантских моллюсков калиптоген (до 18 см длиной) и других животных.



Рис.3. Глубоководный буксируемый аппарат «Ангус» (“Angus”).

В 1978-1979 гг. в экспедиции CYAMEX (Cyana—Mexique) на 21° ВТП были открыты горячие гидротермальные источники с черным дымом, выходящим из сульфидных труб, которые получили название «черных курильщиков» (рис.4). Первые наблюдения этого необыкновенного явления проводились с французского ГОА «Сьяна» (“Cyana”). Впоследствии было найдено и обследовано более 100 гидротермальных полей с различными видами излияний и необычными животными, в том числе и в районах с низкой скоростью спрединга (СХ) (рис.5).



Рис.4. Черные курильщики и рои креветок на гидротермальном поле ТАГ.

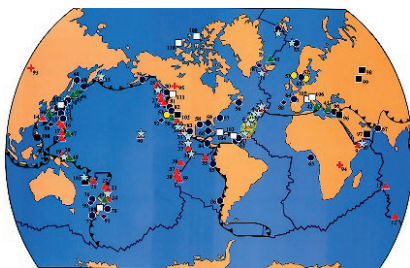


Рис.5. Карта гидротермальных полей на дне океана. Составил Л.И.Москалев, 2002 г

Существенный вклад в проведение детальных исследований гидротермальных полей внесли ГОА «Алвин» (США), «Наутил» (Франция), «Шинкай 6500» (Япония), «Мир-1» и «Мир-2» (Россия).

«Миры» обследовали 23 гидротермальных поля в Атлантическом и Тихом океанах.

### 5.1. Хемосинтез

Сенсационное открытие было сделано в 1977 г. на Галапагосском рифте с помощью ГОА «Алвин». Анализ поднятых со дна животных показал, что основой их рождения и последующего питания служат хемосинтезирующие бактерии. Данный факт подтвердил открытие феномена хемосинтеза, сделанного в 1889 г. в лабораторных условиях российским ученым С.Н.Виноградским. На Галапагосском рифте впервые хемосинтез обнаружили в естественных условиях. Стало очевидным, что образование органического вещества на дне океанов при полном отсутствии солнечного света осуществляется некоторыми видами бактерий из двуокиси углерода за счет энергии, получаемой при окислении восстановленных неорганических соединений, которые выносятся гидротермальным флюидом из глубинных слоев океанической коры. Детальное изучение такой фауны показало, что носителями энергии в этом случае были сероводород и метан. Поселения подобных специфических животных отличались огромной плотностью биомассы (до 40–60 кг на 1 м<sup>2</sup>).

Практически одновременно с высокотемпературными гидротермами на дне океана были открыты холодные высачивания — «сипы», в которых жизнь животных базируется на метанотрофных бактериях. Энергоносителем здесь служит метан. Аппаратами «Мир» были открыты такие явления в Беринговом море на подводном вулкане Пийпа (рис.6) и в Норвежском море на грязевом вулкане Хаакон Мосби.

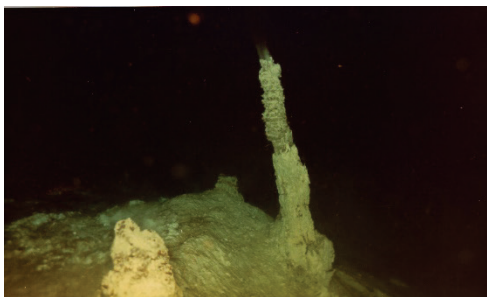


Рис.6. Бактериальные маты на подводном вулкане Пийпа (Баренцево море, 340 м.).

## **Системы навигации**

**Спутниковая навигация.** Сейчас проведение исследований в океане немислимо без использования систем навигации, определяющих с высокой точностью координаты научно-исследовательских судов, подводных аппаратов, буйковых станций и др. С развитием космической техники стали внедряться в практику спутниковые системы навигации и связи. Первое время они использовались только для военных целей. В 1960-х годах системы спутниковой навигации начинают применяться в работах научно-исследовательских судов (сначала только американских). В 1970–80-х годах спутниковые системы навигации были разработаны и внедрены в СССР и в других странах мира. Вскоре они стали неотъемлемой частью всех океанских судов, позволяя осуществлять точные (до 10 м) навигационные определения.

**Подводная гидроакустическая навигация.** Подводные гидроакустические навигационные системы основаны на тех же принципах, что и спутниковые, только вместо спутников здесь используются гидроакустические маяки, заякоренные на дне. Такая система используется и при поисковых и подводно-технических работах с применением глубоководных буксируемых аппаратов, телеуправляемых аппаратов, роботов и др. Это базовая навигационная система при глубоководном бурении, добычи нефти и газа в океане и т.д. Система навигация ГОА «Мир-1 и «Мир-2», которые в течение 30 лет проводили широкий круг научных исследований и подводно-технических работ, работала очень надежно и ее применение давало возможность вести любые операции на больших глубинах с минимальными затратами времени.

Эта система была основной и при работе ГОА «Мир» подо льдом в точке Географического Северного полюса (рис.7). Тогда аппараты погрузились на глубину 4300 м и затем вышли обратно в исходную точку, т.е. в полынью диаметром 50 м.

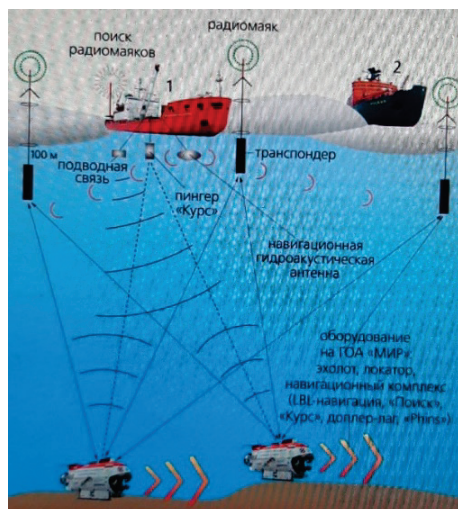


Рис.7. Гидроакустическая система навигации, применявшаяся при подледных погружениях ГОА «Мир» на Северном полюсе в 2007 г.

### Подводные телеуправляемые аппараты

Внедрение в практику исследований океана подводных телеуправляемых аппаратов (ПТА) началось в начале 1980-х годов. Вначале ПТА использовались для нужд военно-морского флота США и Франции (конец 1970-х и 1980-е годы). Затем они стали широко применяться при техническом обслуживании нефтяных скважин, при прокладке трубопроводов и кабелей на дне океана и других инженерно-технических работах. И лишь в начале 90-х годов XX в. начали проводить научные исследования с помощью ПТА.

Однако многолетний опыт использования ГОА и ПТА показал, что все же обитаемые аппараты более предпочтительны для проведения научных исследований. Эту концепцию подтверждает тот факт, что большинство научных открытий в океане сделано с помощью обитаемых аппаратов. Возможно, что ПТА еще не сказали своего последнего слова.

### Автономные подводные аппараты (АПА)

Первый автономный подводный аппарат “SPURV” (Special Purpose Underwater Research Vehicle) был построен в 1957 г. в лаборатории прикладной физики Вашингтонского университета. Он использовался только для нужд ВМФ США. Первый подводный робот «Эполард» (“Epaulard”) для научных целей создали в начале 1980-х годов во Франции в Научно-исследовательском институте эксплуатации моря (IFREMER).

Аппарат был оборудован видеокамерой, подводным светом и набором датчиков. Связь с ним осуществлялась путем передачи данных по гидроакустическому каналу. «Эполард» сделал более 500 погружений на глубины до 6000 м, показав высокую эффективность его использования для научных целей.

Лишь в начале XXI в. применение АПА для научных исследований морей и океанов резко возросло. Другое интересное направление — применение небольших телеуправляемых модулей, устанавливаемых на глубоководные обитаемые аппараты и выходящих с них на дне. Управление ими осуществляется по оптоволоконному кабелю пилотом обитаемого аппарата. Такая методика применялась на киносъемках «Титаника» и других фильмов Джеймсом Кэмероном. В этих операциях телеуправляемые модули выходили с ГОА «Мир-1 и -2», заходили внутрь «Титаника» и проводили видеосъемки внутренних помещений затонувшего судна.

### **Глубоководное бурение дна океана**

В начале 1960-х годов в США родилась идея проведения глубоководного бурения на дне океана. Первоначально такой проект был направлен на поиски соляных куполов в шельфовых зонах океана, которые служили индикаторами наличия нефтяных и газовых месторождений. В 1968 г. на судовой верфи Левингстона в Техасе спустили на воду судно глубоководного бурения «Гломар Челленджер» (“Glomar Challenger”). В течение полутора лет оно участвовало в бурении нескольких десятков скважин в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах, а также в Средиземном и Красном морях. Было поднято несколько геологических колонок, которые показали наличие соляных куполов в недрах океанической коры. Самую глубинную колонку взяли при глубине океана 1067 м. На Срединно-Атлантическом хребте провели 17 бурений между Южной Америкой и Африкой. На основании анализа образцов, полученных из пробуренных колонок, подтвердились основные положения теории тектоники литосферных плит: было установлено, что движение континентов действительно существует и что в рифтовых зонах океана происходит обновление океанической коры. Полученные данные позволили установить, что дно океана существует не более 200 млн лет, в то время, как возраст Земли определяется 4,5 млрд лет!

Следует отметить, что проведение глубоководного бурения в различных районах Мирового океана позволило подтвердить многие гипотезы ученых и внести важные коррективы в существовавшие ранее представления о строении Земли. В этой цепочке исследований, наиболее важное — подтверждение глобальной тектоники литосферных плит.

\* \* \*

На основании рассмотренного выше материала можно заключить, что инновации в морских технологиях и научные открытия в океане тесно взаимосвязаны. Внедрение эхолотов и сейсмических методов в практику исследований океана дали возможность совершить величайшее открытие, перевернувшее наше представление о строении Земли, — открытие глобальной теории тектоники литосферных плит, которая была подтверждена данными, полученными при проведении глубоководного бурения в океане.

Внедрение в практику исследований глубоководных буксируемых и обитаемых аппаратов позволило сделать еще одно выдающееся открытие — открытие гидротермальных полей на дне океана. В то же время обнаружение гидротермальных излияний на дне океана способствовало созданию глубоководных обитаемых аппаратов с рабочей глубиной 6000 м, которые стали ключевыми техническими средствами при детальном изучении гидротермальных излияний и окружающих их экологических систем.

Внедрение в практику исследований телуправляемых и автономных аппаратов позволило сделать процесс изучения океана более доступным для широкого круга учреждений и отдельных ученых, а также дало возможность организовывать исследование и обучение работе с такими аппаратами с использованием спутниковой связи на больших расстояниях из аудиторий учебных заведений. Данные, полученные при проведении глубоководного бурения в океане, подтвердили многие открытия и гипотезы, высказанные учеными на основании исследований, которые велись с помощью приборов, опускаемых с борта судна и устанавливаемых на дно.

Работа Выполнена в рамках Госзадания FMWE-2021-0010

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корякин В.И., Хребтов А.А. От астролябии к навигационным комплексам. История эхолотов. СПб., 1994. [Koryakin V.I., Khrebtov A.A. History of echo sounder. St. Petersburg, 1994. (In Russ.)]
  2. Гамбургцев Г.А. Основы сейсморазведки. М., 1959. [Gamburtsev G.A. Seismic exploration basics. Moscow, 1959. (In Russ.)]
  3. Heezen B.C., Hollister C.D. The face of the Deep. Ney York, 1972.
  4. Busby R.F. Manned submersibles. Washington D.C., 1976.
- Галкин С.В., Сагалевиц А.М.. Гидротермальные экосистемы Мирового океана. М., 2012. [Galkin S.V., Sagalevich A.V.. Hydrothermal vent ecosystems of the World ocean. Moscow, 2012. (In Russ.)]



## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ РОБОТОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

**Данилов А.В.**

*Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, с.1  
т. +7 916 903 8612 E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

A UNIVERSAL METHOD FOR SOLVING THE INVERSE KINEMATICS  
PROBLEM FOR SEQUENTIAL STRUCTURE MANIPULATION ROBOTS

Danilov A.V.

*Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow,  
2<sup>nd</sup> Baumanskaya st., 5/1. E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

Разработан быстрый итерационный метод решения обратной задачи кинематики (ОЗК) для манипуляционных роботов последовательной структуры с произвольным набором кинематических пар различных классов и видов, с автоматическим прохождением сингулярных конфигураций.

It has been developed the simplest fast iterative method for solving the inverse kinematics (IK) for manipulation robots of a sequential structure with an arbitrary set of kinematic pairs of various classes and types with automatic passage of singular configurations.

Современное управление манипуляционным роботом осуществляется заданием положения и ориентации конечного звена – схвата. Необходимость такого управления в последнее время связана с повышенными требованиями к выполнению технологических операций по точности и скорости, с наличием эффективных вычислителей и разработанных алгоритмов решения обратной задачи кинематики. В таких условиях обратная задача кинематики для формирования управляющего воздействия в системах управления манипуляционными роботами носит фундаментальный характер. Основным направлением при разработке новых методов решения обратной задачи кинематики является стремление

получить надежный, универсальный, легко применимый, с малыми вычислительными затратами метод, способный решать обратную задачу кинематики в режиме реального времени и автоматически обходить сингулярные конфигурации. Этими характеристиками обладает разработанный метод, названный методом «конечного поворота и смещения» [1].

**Описание метода.** Если в плоскости треугольника относительно вершины вращать одну из сторон, то противоположная сторона к этой вершине и угол при вершине в зависимости от угла поворота одной из сторон образуют функциональную зависимость, обладающую свойством унимодальности. Это показано на рис. 1. В качестве функций противоположной стороны и угла при вершине используются обозначения  $F_R(q_i)$  и  $F_\alpha(q_i)$  соответственно.

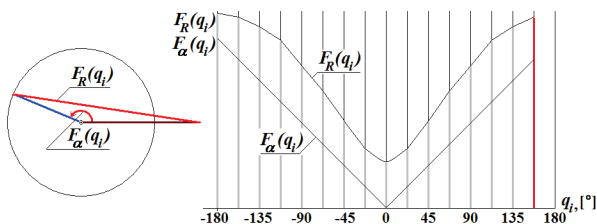


Рис. 1 – Функции  $F_R(q_i)$  и  $F_\alpha(q_i)$  для шарнира

Для исполнительного механизма манипуляционного робота функции  $F_R(q_1, \dots, q_i, \dots, q_n)$  и  $F_\alpha(q_1, \dots, q_i, \dots, q_n)$  многомерные и число неизвестных параметров равно  $n$ , где  $n$  – число подвижных соединений манипуляционного робота. Параметры  $q_1 \dots, q_i \dots, q_n$  называются обобщенными координатами и являются в кинематических парах пятого класса углом поворота для шарниров и линейным смещением для призм. Для призмы зависимость функции  $F_R(q_i)$  от линейного смещения, показанная на рис. 2, также обладает свойством унимодальности.

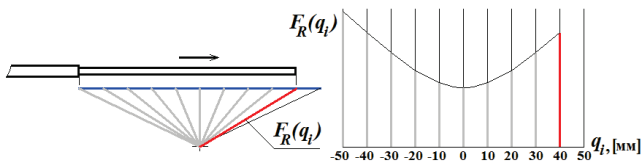


Рис. 2 – Функция  $F_R(q_i)$  для призмы

Зависимости, показанные на рис. 1, 2, используются в методе для каждого вида кинематической пары (шарнир, призма) при фиксированных остальных обобщенных координатах.

Если ввести абсолютную декартову систему координат  $x_0y_0z_0$ , звенья манипулятора и оси кинематических пар обозначить векторами  $\vec{M}_i$  и  $\vec{e}_i$  соответственно, виды кинематических пар вектором  $\vec{p}_n(1, \dots, 0, \dots, 1, \dots, 1)$ , где 1 – шарнир, 0 – призма, а конструктивные ограничения матрицей  $L(2, n)$ , включающей минимальные и максимальные значения обобщенных координат, то получим векторную математическую модель исполнительного механизма манипуляционного робота, показанную на рис. 3.

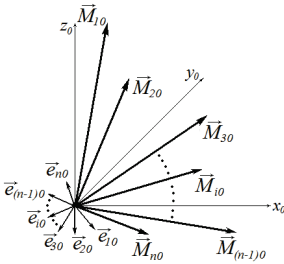


Рис. 3 – Векторная математическая модель с  $n$  степенями подвижности

Для решения задачи по положению конечного звена вводятся вспомогательные векторы  $\vec{S}_i$  и  $\vec{K}_i$ , соединяющие каждую кинематическую пару с текущей точкой положения схвата и заданной, где  $i$  – номер кинематической пары. Векторы  $\vec{S}_i$  и  $\vec{K}_i$  вместе с функцией  $F_R(q_i)$ , обозначающей третью сторону, образуют треугольник, показанный на рис. 1. Очевидно,

локальный минимум  $F_R(q_i)$  будет при совпадении векторов  $\vec{S}_i$  и  $\vec{K}_i$  в плоскости вращения. В таком случае, итерационный шаг для шарнира плоского исполнительного механизма будет выражаться формулой:

$\Delta q_i = \arctg \frac{|\vec{S}_i \times \vec{K}_i|}{\vec{S}_i \cdot \vec{K}_i}$ , а для трехмерного исполнительного механизма формулой:

$$\Delta q_i = \arctg \frac{|(\vec{e}_i \times \vec{S}_i) \times (\vec{e}_i \times \vec{K}_i)|}{(\vec{e}_i \times \vec{S}_i) \cdot (\vec{e}_i \times \vec{K}_i)} \quad (1).$$

Для призмы итерационный шаг равен  $\Delta q_i = F_R(q_i) \cdot \cos(\vec{r}_i \wedge \vec{e}_i)$ , где вектор  $\vec{r}_i$  совпадает со стороной  $F_R(q_i)$ . При этом локальный минимум функции  $F_R(q_i)$  равен  $|\vec{K}_i - \vec{S}_i|$ .

Для решения задачи по ориентации конечного звена, заданной векторами  $\vec{E}_x$  и  $\vec{E}_z$  правой системы координат  $E_x E_y E_z$  достаточно использовать

векторы из векторной модели для конечного звена  $\vec{M}_n$  и  $\vec{e}_n$ . В случае схвата с продольной осью, вводится дополнительный вектор  $\vec{M}_{\text{доп}}$  ортогональный  $\vec{e}_n$ . Значение итерационного шага до точки локального минимума функции  $F_{a1}(q_i)$  выражается формулой (1) с заменой векторов  $\vec{S}_i$  и  $\vec{K}_i$  на векторы  $\vec{M}_n$  и  $\vec{E}_x$ . Для функции  $F_{a2}(q_i)$  – формулой (1) с заменой векторов  $\vec{S}_i$  и  $\vec{K}_i$  на векторы  $\vec{e}_n$  и  $\vec{E}_z$ . Локальный минимум функции  $F_{a1}(q_i)$  определяется по формуле:

$$F_{a1}(q_i) = \arctg \frac{|\vec{M}_n \times \vec{E}_x|}{\vec{M}_n \cdot \vec{E}_x} \quad (2).$$

Если заменить в формуле (2) векторы  $\vec{M}_n$  и  $\vec{E}_x$  на векторы  $\vec{e}_n$  и  $\vec{E}_z$ , то получим локальный минимум функции  $F_{a2}(q_i)$ .

Для унимодальных функций  $F_R(q_i)$ ,  $F_{a1}(q_i)$  и  $F_{a2}(q_i)$  относительно каждой кинематической пары в решении ОЗК можно применить последовательно многомерный метод покоординатного спуска для функций  $F_R(q_1, \dots, q_i, \dots, q_n)$ ,  $F_{a1}(q_1, \dots, q_i, \dots, q_n)$  и  $F_{a2}(q_1, \dots, q_i, \dots, q_n)$  и найти глобальный минимум  $F_R(q_1^*, \dots, q_i^*, \dots, q_n^*)$ ,  $F_{a1}(q_1^*, \dots, q_i^*, \dots, q_n^*)$  и  $F_{a2}(q_1^*, \dots, q_i^*, \dots, q_n^*)$ , где обобщенные координаты  $q_1^*, \dots, q_i^*, \dots, q_n^*$  являются решением ОЗК. Сходимость к решению доказана в [1] с помощью теоремы 3.15 в [2].

**Заключение.** Автор рассмотрел метод «конечного поворота смещения» с другой точки зрения в сравнении с [1], акцентируя внимание на свойстве унимодальности целевых функций. Это сделано с целью предоставления материала для лучшего понимания метода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов, А.В. Метод «конечного поворота и смещения» для решения обратной задачи кинематики для манипуляторов с последовательно соединенными звеньями / А.В. Данилов // Журнал Морские интеллектуальные технологии/Marine Intellectual Technologies № 4 Т.2, 2019/№ 4 V.2, 2019 С. 114–119. (0,26 п.л.) URL: [http://morintex.ru/wp-content/files\\_mf/1580826366MITVOL46No4PART22019.pdf](http://morintex.ru/wp-content/files_mf/1580826366MITVOL46No4PART22019.pdf)
2. Ильин, В.А. Основы математического анализа Часть 1/В.А. Ильин, Э.Г. Позняк // Изд. «НАУКА» Москва 1971 г. 600 с.

УДК 004.021

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДА «КОНЕЧНОГО ПОВОРОТА И СМЕЩЕНИЯ» С ДРУГИМИ МЕТОДАМИ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ДЛЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ РОБОТОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ**

**Данилов А.В.**

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, с.1  
т. +7 916 903 8612 E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

COMPARISON OF THE "FINITE ROTATION AND DISPLACEMENT" METHOD WITH OTHER METHODS FOR SOLVING THE INVERSE OF KINEMATICS FOR MANIPULATION ROBOTS OF A SEQUENTIAL STRUCTURE

Danilov A.V.

*Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya st., 5/1. E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

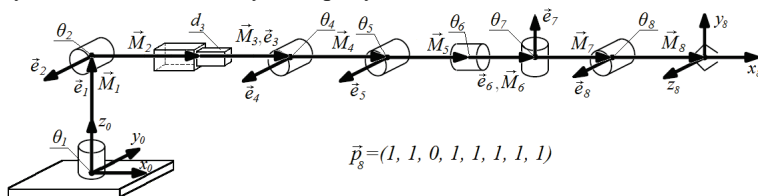
Рассмотрено сравнение метода «конечного поворота и смещения» решения обратной задачи кинематики для манипуляционных роботов последовательной структуры с методами Cyclic Coordinate Descent (CCD), Forward and Backward Reaching Inverse Kinematics (FABRIK), Якоби и аналитическими методами.

It is considered the comparison of the "finite rotation and displacement" method for solving the inverse kinematics for sequential structure manipulation robots with the methods such as Cyclic Coordinate Descent (CCD), Forward and Backward Reaching Inverse Kinematics (FABRIK), Jacobi and analytical methods.

При управлении современным манипуляционным роботом посредством задания положения и ориентации конечного звена – схвата необходимо решать обратную задачу кинематики. Для этого разработано много способов, которые условно можно разделить на две группы – аналитические и итерационные. Аналитические методы, имеют несколько решений для одного и того же положения и ориентации схвата, и необходимое решение выбирается с помощью коэффициентов

конфигураций звеньев. Итерационные методы имеют одно решение, поэтому для более гибкого управления положением звеньев необходимо иметь возможность получать недостающие решения и использовать мало затратные по времени вычисления. А так же применять различные способы для преодоления сингулярных конфигураций, чтобы не потерять управление манипуляционным роботом. В докладе рассматривается сравнение разработанного метода «конечного поворота и смещения» (МКПС) [1] с близкими по подходу Cyclic Coordinate Descent (CCD) [2] и Forward and Backward Reaching Inverse Kinematics (FABRIK) [3], а также с классическими методами на основе матрицы Якоби [4] и аналитическими методами.

**Сравнение итерационных методов.** Рассмотрим решение обратной задачи кинематики методом МКПС и методом Якоби для исполнительного механизма с восемью степенями подвижности преобразованного в векторную модель, показанную на рисунке.



Векторы  $\vec{M}_i$  обозначают звенья, единичные векторы  $\vec{e}_i$  – оси кинематических пар пятого класса, вектор  $\vec{p}_8$  – виды кинематических пар (1-шарнир, 0-призма), 8 – число пар,  $i = 1, \dots, 8$ . Сравнительные характеристики приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

	Положение схвата			Ориентация схвата			Время решения ОЗК, с
	X, м	Y, м	Z, м	$\theta, ^\circ$	$\varphi, ^\circ$	$\psi, ^\circ$	
Исходные данные	2,5101	2,0977	0,7351	97,89	281,84	58,06	0,128
Заданные данные	3,5	0,0	0,5	120	345	10	
Результат МКПС	3,4993	0,0004	0,5003	120,14	344,66	10,04	
Результат Якоби	3,5008	0,0006	0,4921	120,07	345,06	9,96	

Ориентация схвата задана углами Эйлера, где  $\varphi$  - курс,  $\psi$  - дифферент,  $\theta$  - крен. Для определения времени задачи решались на микроконтроллере STM32F407VGT6 при тактовой частоте ядра ARM

Cortex-M4F равной 144 МГц и при заданной абсолютной точности 0,001 по положению 0,01 по ориентации, что соответствует 1 мм по положению и 0,573° по ориентации. Полученный результат по времени решения означает, что метод Якоби не может быть использован для управления исполнительным механизмом с восьмью степенями подвижности в режиме реального времени.

Сравнение методов FABRIK, CCD и Якоби показано в таблице 2

Таблица 2

Метод решения ОЗК	Число итераций	Matlab Время, с	Число решений в секунду, с <sup>-1</sup>
FABRIK	15	0,013	75,30
CCD	26	0,124	8,09
Якоби	1311	12,99	0,08

Данные для таблицы 2 взяты из [5] для плоского манипулятора с шестью степенями подвижности.

Из анализа данных, приведенных в таблицах 1, 2 видно, что для управления манипуляционными роботами в режиме реального времени можно использовать методы FABRIK, CCD и МКПС. Метод FABRIK применяется для кинематических пар в виде шарнира только для плоских манипуляторов. Для манипуляторов в объемном исполнении применять метод можно только для манипуляторов с кинематическими парами 3-го и ниже классов, а таких манипуляторов промышленность не выпускает. Поэтому метод FABRIK используется для анимации человека, животных и им подобных субъектов. С помощью метода CCD ОЗК решается только по положению без обхода сингулярных конфигураций. Метод применяется в промышленных манипуляторах с такой кинематической схемой, которая позволяет раздельно решать ОЗК по положению и ориентации. Для метода заранее формируется траектория, не содержащая сингулярных конфигураций. Метод МКПС решает ОЗК для манипуляторов содержащих произвольный набор кинематических пар различных видов и классов и обходит в автоматическом режиме сингулярные конфигурации.

**Сравнение МКПС с аналитическим методом.** Основное отличие аналитических методов от итерационных заключается в том, что аналитический метод имеет несколько решений для одного и того же положения и ориентации схвата, а итерационные – одно решение.

Некоторые наши ученые считают это недостатком итерационных методов и предпочитают применять аналитические, которые способны с помощью коэффициентов конфигурации выбирать то или иное решение приемлемое для расположения звеньев в пространстве. Рассмотрим в этом ракурсе метод МКПС. Решение ОЗК в методе МКПС проводится итерационным шагом каждого звена и это создает возможность управлять каждым звеном манипулятора и находить все те решения, которые имеет аналитический метод. МКПС отличает универсальность, легкость применения, малые вычислительные затраты, способность решать ОЗК для манипуляторов любой кинематической сложности с автоматическим обходом сингулярных конфигураций. Аналитические методы хороши в работе, но они индивидуальны для каждой кинематической схемы и требуют больших затрат квалифицированного труда на их разработку.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов, А.В. Метод «конечного поворота и смещения» для решения обратной задачи кинематики для манипуляторов с последовательно соединенными звеньями / А.В. Данилов // Журнал Морские интеллектуальные технологии/Marine Intellectual Technologies № 4 Т.2, 2019/№ 4 V.2,2019 С. 114–119. (0,26 п.л.)
2. [http://morintex.ru/wp-content/files\\_mf/1580826366MITVOL46No4PART22019.pdf](http://morintex.ru/wp-content/files_mf/1580826366MITVOL46No4PART22019.pdf)
3. Canutescu, A. Cyclic coordinate descent: A robotics algorithm for protein loop closure / [Электронный ресурс] // A. Canutescu, R. Dunbrack. Protein Science, 12(5):963–972, May 2003. - Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/61eb/a9dc0e3944e7f8cf42c756cfb5cb4343ae1d.pdf>
4. Aristidou, A. FABRIK: A fast, iterative solver for the Inverse Kinematics problem / A. Aristidou, J. Lasenby. Graphical Models, 2011, vol. 73, iss. 5, pp. 243-260. DOI: 0.1016/j.gmod.2011.05.003
5. Schaal, S. Jacobian methods for inverse kinematics and planning / Schaal,S. // USC, Max Planck [https://homes.cs.washington.edu/~todorov/courses/cseP590/06\\_JacobianMethods.pdf](https://homes.cs.washington.edu/~todorov/courses/cseP590/06_JacobianMethods.pdf)
6. Aristidou, A. Inverse Kinematics: a review of existing techniques and introduction of a new fast iterative solver / A. Aristidou, J. Lasenby. // University of Cambridge. - 2009. – Режим доступа: <http://www.andreasaristidou.com/publications/papers/CUEDF-INFENG,%20TR-632.pdf>



УДК 004.021

**ОБХОД СИНГУЛЯРНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ В РЕШЕНИИ  
ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ МЕТОДОМ «КОНЕЧНОГО  
ПОВОРОТА И СМЕЩЕНИЯ» ДЛЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ  
РОБОТОВ**

**Данилов А.В.**

*Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, с.1  
т. +7 916 903 8612 E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

**BYPASSING THE SINGULAR CONFIGURATIONS WHILE SOLVING THE  
INVERSE KINEMATICS FOR MANIPULATION ROBOTS USING THE  
“FINITE ROTATION AND DISPLACEMENT” METHOD**

**Danilov A.V.**

*Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow, 2<sup>nd</sup>  
Baumanskaya st., 5/1. E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

Рассматривается обход сингулярных конфигураций различного вида в процессе решения обратной задачи кинематики методом «конечного поворота и смещения» для манипуляционных роботов последовательной структуры.

It is considered bypassing various types of singular configurations while solving the inverse kinematics by means of "finite rotation and displacement" method for manipulation robots of a sequential structure.

Управление манипуляционным роботом с помощью задания положения и ориентации схвата осложняется наличием сингулярных конфигураций (СК) в пространстве рабочей зоны исполнительного механизма. СК проявляется по-разному в зависимости от применяемого метода. Для метода «конечного поворота и смещения» (МКПС) математически она проявляется потерей целевыми функциями свойства унимодальности. На физическом уровне это проявляется формированием задания больших скоростей вращения на некоторые приводы звеньев исполнительного механизма (ИМ), а также неопределенностью направления вращения звеньев в окрестности значений обобщенных

координат, близких к  $180^\circ$ . В докладе рассмотрены все виды СК и автоматический обход их с помощью метода МКПС.

**Обход сингулярных конфигураций.** Численный эксперимент по обходу СК проводился на модели манипуляционного робота «European Robotic Arm» («ERA») с семью степенями подвижности, показанный на рис. 1 [1]. Выстраивание локтевых звеньев в линию приводит ИМ в первую СК. Она характеризуется неопределенностью дальнейшего движения локтевого звена. Автоматический обход обеспечивается изменением обобщенных координат на малые величины  $\delta q$  с заранее выбранным знаком для локтевого шарнира. Это устраняет СК и локтевой шарнир всегда сгибается в нужную сторону. Это представлено на графиках изменения обобщенных координат, показанных на рис. 2.

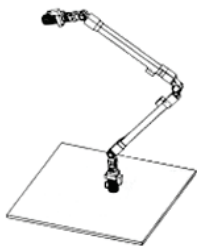


Рис. 1 – Модель манипуляционного робота «ERA»

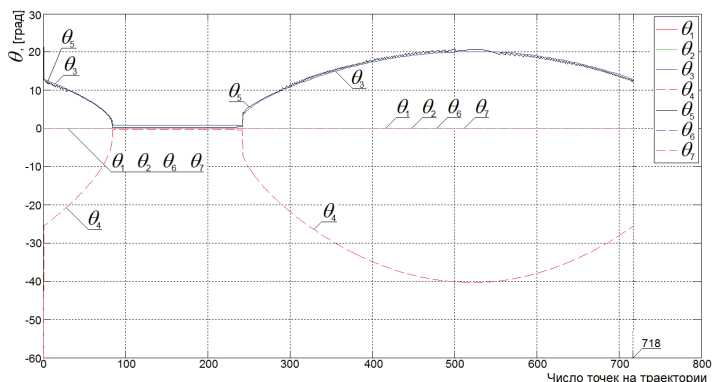


Рис. 2 – Графики обобщенных координат при обходе первой СК

На графиках надо обратить внимание на изменение  $\theta_4$  и  $\theta_5$ . То, что каждый из них остается на своей стороне говорит о том, что локтевой шарнир сгибается в нужную сторону.

Второй СК является «карданный замок», характеризуемый потерей одной степени подвижности. Прохождение через эту конфигурацию автоматически обеспечивается «замораживанием» одной из них, что предотвращает проявление СК в шарнирах в виде быстрого вращения локтевых звеньев, показанных на рис. 3 графиками изменения  $\theta_1$  и  $\theta_6$ .

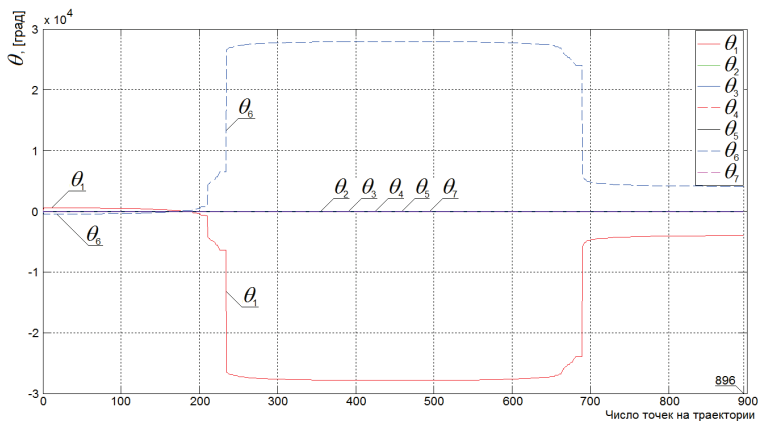


Рис. 3 – Графики обобщенных координат без обхода СК

Графики  $\theta_1$  и  $\theta_6$ , имеющие значения в точке СК  $\approx 2,5 \times 10^4$ , наглядно показывают влияние СК в виде быстрого вращения локтевых звеньев. Третья СК проявляет себя при движении плеча модели ИМ через окрестность вертикальной линии ортогональной основанию. Звенья ИМ с номерами 3 и 4 начинают синфазное движение вращения по окружности. Обобщенные координаты при прохождении третьей СК без обхода и с обходом представлены на рис. 4, 5 в виде графиков.

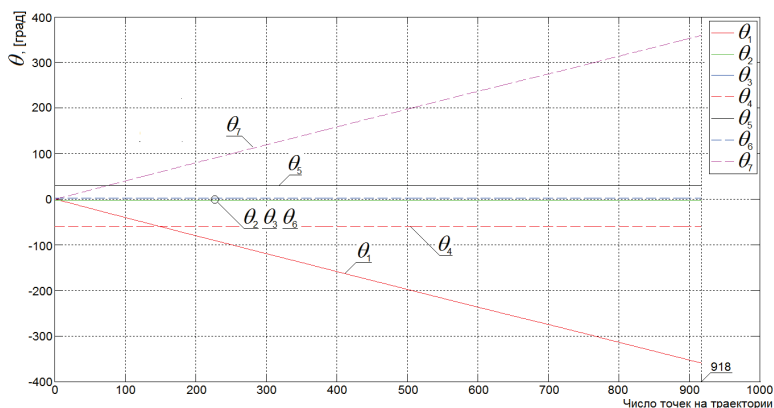


Рис. 4 – Графики обобщенных координат без обхода СК

Расхождение графиков  $\theta_1$  и  $\theta_7$  показывает синфазное вращение звеньев ИМ относительно вертикальной прямой.

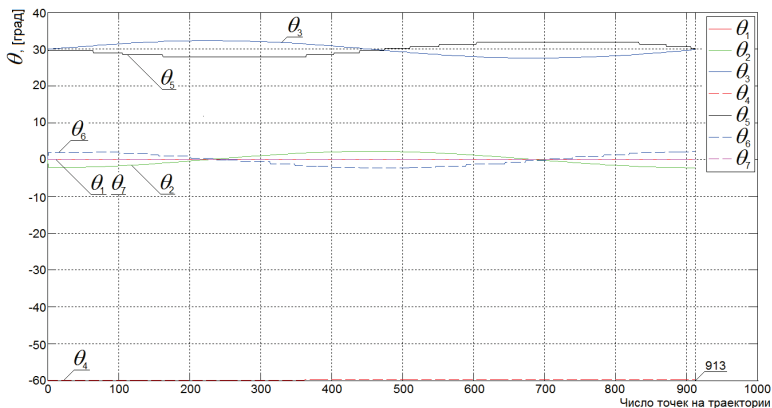


Рис. 5 – Графики обобщенных координат с обходом СК

Прохождение через третью СК обеспечивается автоматическим ограничением обобщенных координат  $\theta_1$  или  $\theta_7$  путем задания конкретного значения.

Численные испытания метода проводились с помощью программно-аппаратного комплекса (ПАК), включающего метод МКПС. Данное численное испытание подтвердило автоматический обход СК. Визуализация прохождения СК для модели «ERA» показана в [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов, А.В. Моделирование испытания метода «конечного поворота и смещения» на прохождение манипуляционным роботом European Robotic Arm сингулярных точек / А.В. Данилов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 128–138. DOI:10.34031/2071-7318-2019-4-11-128-138
2. Данилов, А. В. Видеофайлы. Визуализация прохождения сингулярных точек модели манипулятора ERA [Электронный ресурс] / А. В. Данилов, – Режим доступа: [www.sasha-dan.ru/era.html](http://www.sasha-dan.ru/era.html) (дата обращения: 20.02.2019)

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ НАСТРОЙКИ И  
ИСПЫТАНИЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ  
МЕТОДОМ «КОНЕЧНОГО ПОВОРОТА И СМЕЩЕНИЯ»**

**Данилов А.В.**

*Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, с.1  
т. +7 916 903 8612 E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR SETTING UP AND  
TESTING THE SOLUTION OF INVERSE KINEMATICS BY MEANS OF  
THE "FINITE ROTATION AND DISPLACEMENT" METHOD

Danilov A.V.

*Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow, 2<sup>nd</sup>  
Baumanskaya st., 5/1. E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

Рассматривается программно-аппаратный комплекс для настройки и проверки решения обратной задачи кинематики перед применением метода «конечного поворота и смещения» на реальном исполнительном механизме манипуляционного робота.

A software and hardware complex is considered for setting up and checking the solution of the inverse kinematics before applying the method of "finite rotation and displacement" on a real robot manipulator.

Для манипуляционного робота последовательной структуры при заданных обобщенных координатах положение и ориентация схвата определяются однозначно. Для заданного положения и ориентации схвата определение обобщенных координат является сложной задачей, характеризуемой неоднозначностью результатов решения и наличием сингулярных конфигураций. В различных методах решения обратной задачи кинематики (ОЗК) эти «сложности» преодолеваются по-разному. В методе «конечного поворота и смещения» (МКПС) ОЗК решается однозначно, а автоматический обход сингулярных конфигураций обеспечивается настройкой метода с помощью программно-аппаратного комплекса.

**Описание программно-аппаратного комплекса.** После настройки метода анализ решения ОЗК осуществляется получением необходимой информации с помощью программно-аппаратного комплекса (ПАК).

В его состав входят следующие компоненты:

1. Рукоятка управления и программа обработки рукоятки управления.

2. Программа для решения ОЗК на ЭВМ.

3. Библиотека для решения ОЗК на ЭВМ.

4. Программа для решения ОЗК на микроконтроллере.

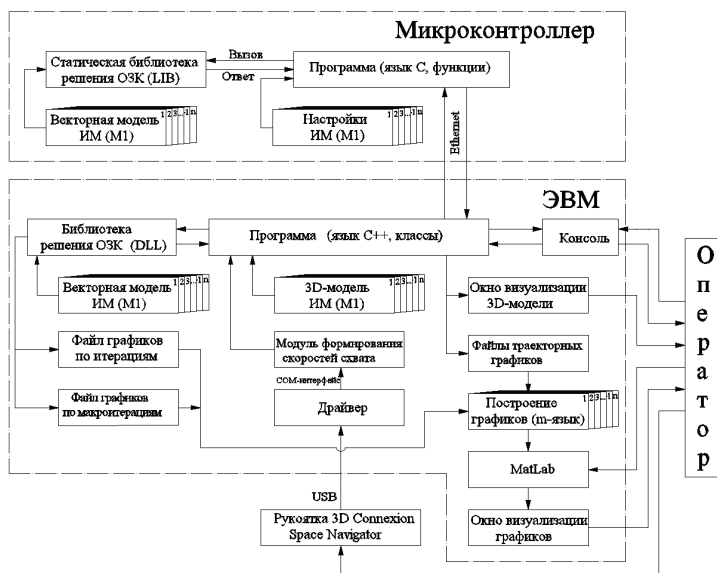
5. Библиотека для решения ОЗК на микроконтроллере.

Структурная схема ПАК показана на рисунке.

Для каждого манипуляционного робота ОЗК может решаться как на компьютере, так и на микроконтроллере. Для этого программа для каждого МР может работать либо в связке с DLL-библиотекой, либо в связке с микроконтроллером, подсоединённым к компьютеру по Ethernet.

Программы ПАК откомпилированы компилятором Microsoft Visual Studio 9.0 для ЭВМ и компилятором GNU Compiler Collection для микроконтроллера. DLL-библиотека формируется из подпрограммы решения ОЗК, подпрограммы решения прямой задачи кинематики (ПЗК),

подпрограммы задания точности решения ОЗК, подпрограммы инициализации векторной модели МР и подпрограмм задания обобщенных координат МР.



При компиляции DLL-библиотеки в её проектном файле выбирается файл с исходным кодом необходимого исполнительного механизма (ИМ) и таким образом осуществляется решение ОЗК и ПЗК для различных ИМ. Помимо этого осуществляется выбор режима работы DLL-библиотеки – с выводом графиков по итерациям, по макроитерациям и без вывода графиков. Итерационное достижение глобального минимума одной из целевых функций называется макроитерацией. Теперь рассмотрим программу на ЭВМ. В ней также надо выбрать ИМ, для которого работает ОЗК и к ней подключить соответствующую DLL-библиотеку. Программа может работать в двух режимах – либо в режиме вывода графиков для однократного решения ОЗК, либо без вывода графиков, обеспечивая управление манипуляционным роботом в режиме реального времени. Эта программа содержит окно виртуальной реальности для вывода 3D-модели, соединена через оперативную память с программой опроса рукоятки управления и получает от неё заданные скорости и положения схвата. Программа использует консоль, в которую выводятся результаты для оценки характеристик решения ОЗК при однократном решении ОЗК. Программа способна создавать текстовые файлы траекторий движения манипуляционного робота (МР) в формате для последующего чтения в пакете MatLab [1, 2]. В MatLab создан скрипт на m-языке, который читает файлы графиков и рисует их в графическом окне вывода графиков MatLab.

Аппаратная часть ПАК содержит рукоятку управления и сборку из двух плат: STM32F407DISC1 и STM32F4DIS-BB. Для микроконтроллера написано программное обеспечение, включающее в себя статическую библиотеку решения ОЗК и программу решения ОЗК. Последняя, также как и программа на компьютере, может собираться для различных МР и предназначена для управления МР в режиме реального времени, а может быть использована для однократного решения ОЗК. К этой программе разработана статическая библиотека, предназначенная для решения ОЗК и организации управления ИМ в режиме задания положения и ориентации схвата.

Оператор может настроить ПАК на решение следующих задач:

1. Однократное решение ОЗК с выводом графиков обобщённых координат в процессе решения.
2. Определение времени решения ОЗК на микроконтроллере.
3. Визуализация траекторного движения звеньев ИМ в режиме управления положением и ориентацией схвата.
4. Построение графиков траекторного движения звеньев ИМ.
5. Оценка выбранных алгоритмов обхода сингулярных конфигураций.

6. Проверка правильности задания векторной математической модели манипулятора.

7. Проверка функционирования режима управления положением и ориентацией схвата для безопасного применения на реальном МР.

При создании ПАК использовано следующее программное обеспечение:

1. Qt 4.8.5.
  2. Irrlicht 1.7.3.
  3. Matlab R2014a.
  4. Qt Creator 2.5.2.
  5. Keil uVision 5.17.
  6. Microsoft Visual Studio 9.0.
  7. Microsoft Windows 7 Максимальная SP1.
- Специализированная аппаратная часть ПАК:
1. Плата STM32F407DISC1 (MB997D).
  2. Плата STM32F4DIS-BB (DM-STF4BB).
  3. Рукоятка 3D Connexion Space Navigator.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дьяконов, В. П. MatLab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения / В. П. Дьяконов. Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.: ил.
2. Moore-Penrose pseudoinverse - MatLab pinv / [Электронный ресурс] // URL: - Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/pinv.html> (дата обращения: 29.01.2018)



УДК 621.91.04

**ОСОБЕННОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ  
СХЕМЫ МАНИПУЛЯТОРА С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО  
СОЕДИНЕННЫМИ ЗВЕНЬЯМИ**

**Данилов А.В.**

*Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, с. 1  
т. +7 916 903 8612 E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

**KINEMATIC SCHEME DESIGNING PECULIARITY OF  
MANIPULATOR WITH SEQUENTIAL CONNECTED LINKS**

Danilov A.V.

*Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow, 2<sup>nd</sup>  
Baumanskaya st., 5/1. E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

В докладе рассматриваются особенности проектирования кинематической схемы манипулятора последовательной структуры для получения максимальной рабочей зоны с учетом положения и ориентации схвата.

The report discusses the design features of the kinematics scheme of a sequential structure manipulator to obtain the maximum working area while taking into account the position and orientation of the gripper.

При проектировании манипулятора перед конструктором на начальном этапе проектирования стоит задача выбора кинематической схемы манипулятора, которая позволяет удовлетворить заданной рабочей зоне манипулятора. Рабочая зона задается с учетом только положения схвата, тогда как с учетом положения и ориентации схвата происходит значительное уменьшение рабочей зоны манипулятора. Как правило, выбор кинематической схемы манипулятора осуществляется подбором из кинематических схем существующих манипуляторов. На этом уровне проверяется выполнение условия нахождения положения схвата в каждой точке рабочей зоны манипулятора и возможность решения обратной задачи кинематики (ОЗК). В докладе рассматривается методология проектирования кинематической схемы манипулятора удовлетворяющая условию получения максимально возможной рабочей зоны манипулятора с

учетом положения и ориентации схвата. Основой такой методологии послужило условное разделение звеньев манипулятора на транспортные и ориентирующие. К транспортным звеньям манипулятора относятся звенья, которые обеспечивают в основном региональные движения схвата в пределах размеров манипулятора и ими являются первые три звена манипулятора. К ориентирующим звеньям манипулятора относятся последующие звенья, которые обеспечивают ориентацию схвата в точке его положения. Если рассмотреть эквивалентный переход от ориентирующего звена с кинематической парой третьего класса (объемный шарнир) к цепи звеньев, связанных кинематическими парами пятого класса, то можно получить для манипулятора последовательной структуры с кинематическими парами пятого класса методологию проектирования кинематической схемы, обладающей максимальной рабочей зоной при определенном числе степеней подвижности манипулятора.

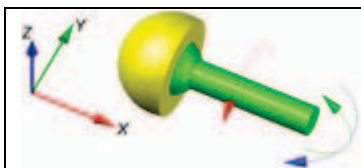


Рис. 1 – Кинематическая пара третьего класса в виде объёмного шарнира

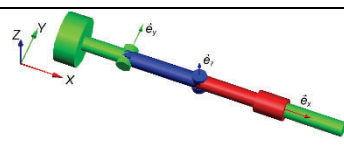


Рис. 2 – Кинематическая цепь из трех звеньев и трех шарниров

**Постановка проблемы.** Рассмотрим кинематическую пару третьего класса в виде объёмного шарнира, показанного на рис. 1. Очевидно, эта кинематическая пара имеет три степени подвижности. Построим кинематическую цепь из четырех звеньев, связанных кинематическими парами пятого класса, показанную на рис. 2. Неподвижное звено обозначим нулевым номером. Таким образом, имеем кинематическую цепь, состоящую из трех звеньев и трех шарниров. Оси шарниров направлены параллельно по осям неподвижной системы координат XYZ в следующей последовательности: Y, Z, X. Оси шарниров обозначим единичными векторами  $\vec{e}_n$ , где нижний индекс  $n$  обозначает направление параллельное той или иной оси неподвижной системы координат XYZ. Показанная на рис. 2 кинематическая цепь имеет три степени подвижности. Прделаем над цепью следующие действия:

повернем все звенья относительно первого шарнира (вокруг  $\vec{e}_y$ ) на угол  $90^\circ$ , повернем оставшиеся два

	<p>Рис. 3 – Полученная конфигурация кинематической цепи из трех звеньев.</p>
	<p>Рис. 4 – Кинематическая цепь из четырех звеньев.</p>
	<p>Рис. 5 – Полученная конфигурация кинематической цепи из четырех звеньев.</p>

звена относительно второго шарнира (вокруг  $\vec{e}_z$ ) на угол  $90^\circ$ . В полученной конфигурации, показанной на рис. 3, кинематическая цепь потеряла одну степень подвижности и конечное звено не имеет возможности вращаться в плоскости  $XY$  неподвижной системы координат  $XYZ$ . Данная конфигурация, как известно, называется «карданным замком». Таким образом, в положении «карданного замка» показанная на рис. 3 кинематическая цепь имеет две степени подвижности.

Чтобы обеспечить вращение конечного звена в плоскости  $XY$  необходимо добавить ещё одну кинематическую пару пятого класса в виде шарнира с осью параллельной оси  $Z$ . См. рис. 4.

Кинематическую цепь, показанную на рис. 4, также можно привести к конфигурации с двумя степенями подвижности, показанной на рис. 5. Чтобы обеспечить вращение в полученной конфигурации конечного звена в плоскости  $XZ$  необходимо добавить ещё одну кинематическую пару пятого класса в виде шарнира с осью параллельной оси  $Y$ .

Полученная кинематическая цепь, изображенная на рис. 6, имеет во всех точках произвольную ориентацию конечного звена (схвата) и является

эквивалентной объёмному шарниру, показанному на рис. 1. Если эту кинематическую цепь добавить к цепи, выполняющей региональные движения, обеспечивающие в основном положение схвата манипулятора, то получим манипулятор, обеспечивающий максимальную рабочую зону с учетом положения и ориентации схвата.

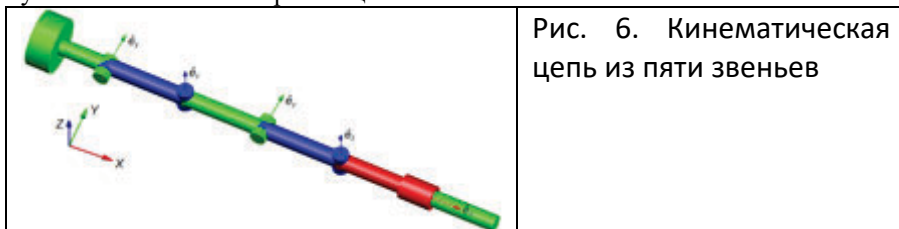


Рис. 6. Кинематическая цепь из пяти звеньев

Кинематическая цепь, изображенная на рис. 6, будет выполнять локальные движения обеспечивая в основном ориентацию схвата. Таким образом, для гарантированного обеспечения положения и ориентации схвата манипулятора, составленного из звеньев с кинематическими парами пятого класса, необходимо иметь манипулятор с восьмью степенями подвижности. Этот пример устранения сингулярной конфигурации путем добавления степеней подвижности при блокировке движения звеньев «карданным замком» позволяет расширить рабочую зону манипуляционного робота. Если манипулятор имеет в качестве ориентирующих звеньев звено с кинематической парой третьего класса, то можно обойтись шестью степенями подвижности, используя первые три звена с кинематическими парами пятого класса в качестве транспортных звеньев. Отсюда вытекает вывод о значимости применения в качестве ориентирующего звена звено с кинематической парой третьего класса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hemingway, E.G. Perspectives on Euler angle singularities, gimbal lock, and the orthogonality of applied forces and applied moments /Evan G. Hemingway, Oliver M. O'Reilly, Published online: 2 March 2018 © Springer Science+Business Media B.V., part of Springer Nature 2018. [Электронный ресурс] // URL: - Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/323532036\\_Perspectives\\_on\\_Euler\\_angle\\_singularities\\_gimbal\\_lock\\_and\\_the\\_orthogonality\\_of\\_applied\\_forces\\_and\\_applied\\_moments](https://www.researchgate.net/publication/323532036_Perspectives_on_Euler_angle_singularities_gimbal_lock_and_the_orthogonality_of_applied_forces_and_applied_moments)

УДК 007.52

## **МАНИПУЛЯЦИОННЫЙ РОБОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Данилов А.В.**

*Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, с. 1  
т. +7 916 903 8612 E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

### **SEQUENTIAL STRUCTURE ROBOT MANIPULATOR FOR RESEARCHING UNDERWATER MARINE OBJECTS**

Danilov A.V.

*Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow, 2<sup>nd</sup>  
Baumanskaya st., 5/1. E-mail: [157304@rambler.ru](mailto:157304@rambler.ru)*

В докладе рассматривается возможность исследования под водой природных и рукотворных образований с помощью гибких манипуляционных роботов последовательной структуры.

The report considers the possibility of researching underwater natural and man-made formations by means of flexible robot manipulators of a sequential structure.

Гибкие манипуляционные роботы – это манипуляторы, представляющие собой многозвенные цепи последовательной структуры, звенья которой характеризуются малой длиной и наличием кинематической пары третьего класса в виде объемного шарнира. Манипуляционная цепь с такой структурой обладает возможностью изгибаться в произвольном направлении. Для формирования управляющего сигнала по ориентации каждого звена предлагается использовать пространственный кубический сплайн, формируемый относительно текущей неподвижной системы координат первыми шестью звеньями, для которых решается обратная задача кинематики, а последующие звенья лишь повторяют их путь с соблюдением ориентации относительно каждой точки пути. При выборе последующей неподвижной системы координат происходит преобразование сплайн кривой из предыдущей системы координат в последующую с дальнейшим формированием сплайна в этой системе. Это

необходимо делать каждый раз по мере продвижения робота и выбора последующей системы координат.

**Описание гибкого манипулятора.** Внешняя часть конструкции каждого звена гибкого манипуляционного робота практически не отличается друг от друга. Отличие составляет их внутреннее наполнение. Первое и последнее звено имеют видеокамеру и вычислитель, каждое четвертое звено имеет сопловые движители, способные осуществлять управление водяными струями в произвольном направлении, остальные содержат аккумуляторы. Для управления ориентацией звеньев относительно друг друга имеются сопрягаемые поверхности в виде кинематических пар третьего класса и тяжи в количестве трех или четырех штук, соединяющие их. Изменением в каждом звене длин тяжей с помощью винтовых пар, приводимых электромоторами, осуществляется заданная ориентация звеньев относительно друг друга. Вид части такого гибкого манипуляционного робота показан на рис. 1

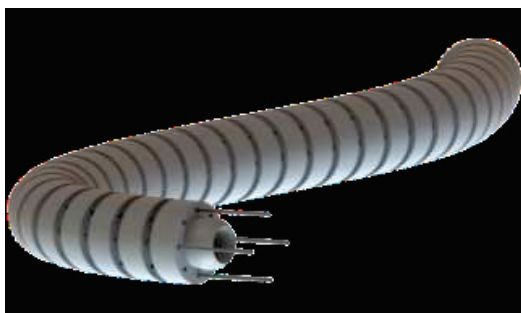


Рис. 1 – Часть гибкого манипуляционного робота



Рис. 2 – Фото плавающей змеи

**Описание схемы движения.** Для движения гибкого манипуляционного робота используются движители с соплами, рассмотренными в описании конструкции, и волнообразные изменения ориентации звеньев относительно друг друга, подобно движению

плавающей змеи, показанному на рис.2. Такое движение формируется сложением координат кубического сплайна с синусоидой, бегущей с заданной скоростью вдоль сплайна. Такая бегущая волна создает достаточный упор для движения манипуляционного робота даже без использования движителей с соплами. А движители могут использоваться там, где невозможно создать бегущую волну в силу внешних ограничений пространства. Таким образом, имеем комбинированный способ движения, позволяющий увеличить скоростные характеристики гибкого манипуляционного робота, который представляет собой маневренный автономный подводный аппарат для исследования подводных морских объектов [1]. Такие роботы могут использоваться для ремонта изделий без разборки [2], для санации ядерных реакторов [3], для инспекции блоков в космосе [4] и в медицинских приложениях [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Walker I.D. Continuous Backbone “Continuum” Robot Manipulators // *ISRN Robot.* 2013. Vol. 2013. P. 1–19.
2. Dong X. Development of a slender continuum robotic system for onwing inspection/repair of gas turbine engines // *Robot. Comput. Integr. Manuf.* 2017. Vol. 44. P. 218–229.
3. Buckingham R. Nuclear snake-arm robots // *Ind. Robot An Int. J.* 2012. Vol. 39, № 1. P. 6–11.
4. Mehling J. A minimally invasive tendril robot for in-space inspection // *Proc. First IEEE/RAS-EMBS Int. Conf. Biomed. Robot. Biomechatronics, 2006, BioRob 2006. IEEE, 2006.* Vol. 2006. P. 690–695.
5. Burgner-Kahrs J. Continuum Robots for Medical Applications: A Survey // *IEEE Trans. Robot.* 2015. Vol. 31, № 6. P. 1261–1280.

**ОБНАРУЖЕНИЕ ЗВУКОРАССЕИВАЮЩИХ СЛОЕВ В МОРСКОЙ  
СРЕДЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИМ ГИДРОЛОКАТОРОМ  
БОКОВОГО ОБЗОРА**

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

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А.  
Котельникова РАН, пл. академика Введенского, д. 1,  
141190, Московская область, г. Фрязино, 8(496)56-525-81  
[ilia159@mail.ru](mailto:ilia159@mail.ru)*

DETECTION OF SOUND-SCATTERING LAYERS IN THE MARINE  
ENVIRONMENT BY SIDE SCAN INTERFEROMETRIC SONAR

Kaevitser V.I., Krivtsov A.P., Smolyaninov I.V., Elbakidze A.V.

*Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS, Branch in  
Fryazino, Vvedensky Sq. 1, Fryazino Moscow region, 14119*

В статье представлен метод и алгоритм обнаружения и измерения положения звукорассеивающих слоев (ЗРС) в морской среде по данным полосовой съемки интерферометрического гидролокатора бокового обзора (ИГБО). Возможности предлагаемого алгоритма продемонстрированы на основе математического моделирования фазоразностных измерений ИГБО для многослойных звукорассеивающих плоскостей и применения результатов моделирования для точного измерения глубины плоского участка морского дна.

The article presents a method and algorithm for detecting and measuring the position of sound-scattering layers in the marine environment based on the data of the side scan interferometric sonar strip survey. The capabilities of the proposed algorithm are demonstrated on the basis of mathematical modeling of side scan interferometric sonar phase-difference measurements for multilayer sound-scattering planes and the application of simulation results for accurate measurement of the depth of a flat section of the seabed.



Исследования рельефа дна морей и океанов выполняется с помощью широкого набора технических средств, к числу которых относятся и ИГБО, позволяющие одновременно получать высококачественные акустические изображения донной поверхности и цифровую карту глубин в широкой полосе обзора [1].

Если предположить, что в морской среде имеются несколько звукорассеивающих слоев, в том числе морское дно, то существует метод, позволяющий обнаруживать ЗРС и измерять глубину до них [2].

Интерферометрическую разность фаз для плоского слоя в строке данных съемки, соответствующей одному циклу излучения и приема сигнала, можно записать в следующем виде:

$$\varphi(t) = \frac{2\pi d}{\lambda} \cos(\alpha(t) + \beta) + \Delta\varphi_0 \quad (1)$$

где:

$$\alpha(t) = \arccos\left(\frac{2H}{ct}\right)$$

Здесь  $H$  – глубина слоя,  $c$  – скорость звука,  $t$  – время прихода эхосигнала,  $\beta$  – угол наклона интерферометра,  $d$  – база интерферометра,  $\lambda$  – длина волны акустического сигнала,  $\Delta\varphi_0$  – аппаратурная разность фаз сигналов в приемных каналах интерферометра. На рисунке 1 в качестве примера приведен график интерферометрической разности фаз в зависимости от времени прихода эхосигналов от слоя на глубине  $H_0=100\text{м}$ .

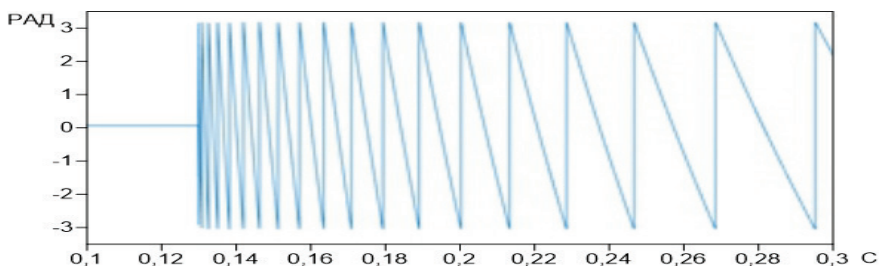


Рис. 1. График интерферометрической разности фаз в зависимости от времени прихода эхосигналов для  $H_0=100\text{м}$ .

На приведенном графике видно, что интерферометрическая разность фаз имеет вид сигнала с частотной модуляцией. Если рассматривать интерферометрическую фазу  $\varphi(t)$  как сигнал, зависящий от глубины  $H$  как от параметра, то двумерная автокорреляционная функция (АКФ) такого сигнала запишется в следующем виде:

$$\rho(H_0, H) = \frac{1}{T} \int_0^T \varphi(H_0, t) \varphi(H, t) dt, \quad (2)$$

где  $T$  – время одного цикла приема отраженного сигнала ИГБО.

При фиксированном значении  $H_0$  нормированная АКФ соответственно имеет вид функции зависящей только от глубины  $H$ :

$$\rho_n(H) = \frac{\int_0^T \varphi(H_0, t) \varphi(H, t) dt}{\int_0^T \varphi^2(H_0, t) dt},$$

На Рис. 2 представлен модуль этой функции, вычисленный в диапазоне глубин от 75 до 125 метров при наличии звукорассеивающего слоя на глубине  $H_0 = 100$  м.

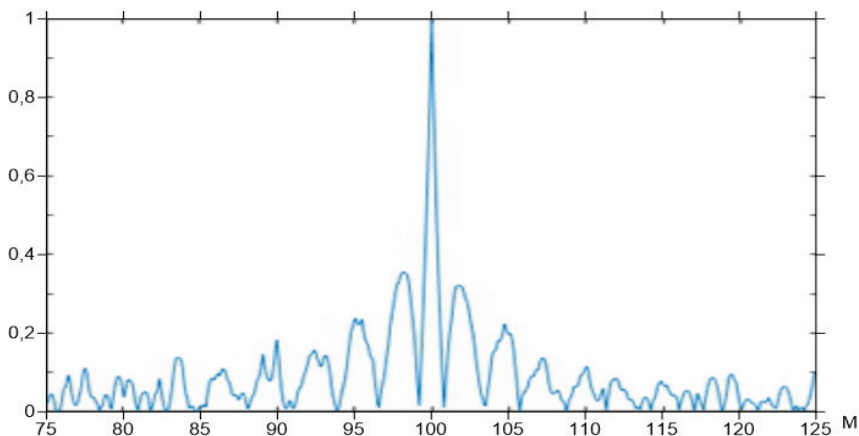


Рис. 2. Модульное значение нормированной АКФ в зависимости от глубины при наличии звукорассеивающего слоя на глубине  $H_0 = 100$  м.

Приведенный на рисунке 2 график показывает, что наличие рассеивающей поверхности на заданной глубине хорошо фиксируется при применении рассмотренного алгоритма (1-2). Если в процессе съемки имеется несколько рассеивающих слоев на различных глубинах, то они также могут быть выделены в виде пика на соответствующей глубине. Отметим, что разрешающая способность алгоритма увеличивается при увеличении базы интерферометра.

Возможности применения разработанного алгоритма по реальным данным, полученным ИГБО, приведены на рисунке 3. Свертка модельного и реального сигналов проведена на интервале глубин 40 - 210 м. Как видно звукорассеивающий слой – морское дно хорошо фиксируется на глубине 103 м, что совпадает с эхолотным промером. Наличие ЗРС в водной среде будет также видно в виде пиков на глубине их расположения.

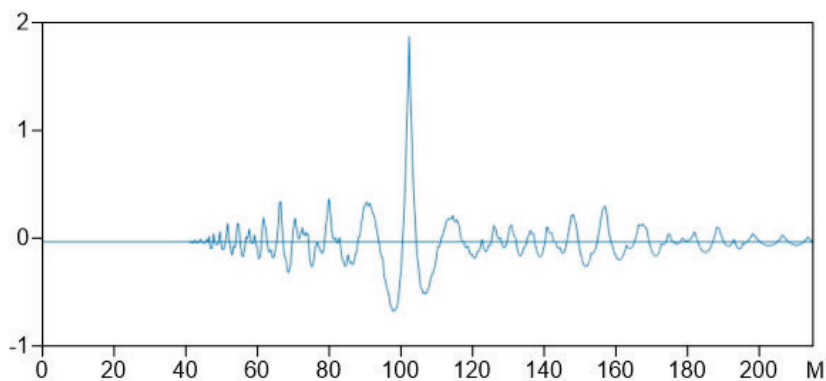


Рис. 3. Пример работы алгоритма с экспериментальными измерениями.

Таким образом показана возможность применения предложенного метода и разработанного алгоритма для обнаружения и измерения структуры звукорассеивающих слоев в морской среде.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В., Степанов А.В. Оценка сходимости глубин при площадной съемке рельефа дна многолучевым эхолотом и интерферометрическим гидролокатором бокового обзора // *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. -2017. -№ 4. -URL:<http://jre.cplire.ru/jre/apr17/2/text.pdf>
- 2 Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. алгоритм коррекции батиметрических измерений интерферометрическим гидролокатором бокового обзора // *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. -2022. -№ 10. -URL: <http://jre.cplire.ru/jre/oct22/7/text.pdf>

## «ГЛАЗА» И «РУКИ» ПОД ВОДОЙ: ОТ ПЕРВОЙ БАТИСФЕРЫ ДО АВТОНОМНЫХ МОДУЛЕЙ

Виноградов Г.М.<sup>1</sup>, Галкин С.В.<sup>2</sup>

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, +7(499)124-59-83*

*<sup>1)</sup> [egor@ocean.ru](mailto:egor@ocean.ru) <sup>2)</sup> [galkin@ocean.ru](mailto:galkin@ocean.ru)*

"EYES" AND "HANDS" UNDERWATER: FROM THE FIRST BATHYSPHERE TO AUTONOMOUS MODULES

Vinogradov G.M., Galkin S.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences  
36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997, Russia*

Рассмотрена история глубоководных аппаратов, позволяющих человеку вести наблюдения и производить манипуляции в океане.

The history of deep-sea vehicles that allow a man to conduct observations and perform manipulations in the ocean is considered.

*"На вопрос, как я достиг таких результатов в завоевании океанских глубин, мне трудно ответить. Пожалуй, главное здесь было в точной направленности поставленных задач... [Её] дал мне наш старый учёный, который несколько лет назад призывал нас, моряков, помочь науке найти "глаза" и "руки", которые могли бы достать океанское дно..."*

*И.А. Ефремов, "Атолл Факаофо", 1944 год.*

Планомерные исследования океана начались немногим более 200 лет назад. Полтора века учёным приходилось довольствоваться тем, что приносят со дна приборы, опускаемые с судна на стальном тросе. Были собраны большие зоологические коллекции, выявлены основные закономерности распределения жизни на дне и в толще вод Мирового океана, выявлены зоогеографические границы и закономерности распределения продуктивности. Но вот детали, такие, как экосистемы, существующие лишь на небольших участках дна, оставались незамеченными. Воочию увидеть, что происходит на дне, отчасти помогли

спускаемые на тросах фотокамеры, но и их кадры получались в результате съёмки «вслепую».

Совершить следующий прорыв в изучении биологии океана позволили глубоководные аппараты. Исследователи наконец получили возможность изучать донные экосистемы как ландшафт. Кроме того, подводные аппараты абсолютно незаменимы для изучения небольших объектов антропогенного и природного происхождения на дне океана, от затонувших судов до гидротермальных экосистем.

Первые глубоководные наблюдения проводились Уильямом Бибом из батисферы, спускавшейся под воду на тросе. В 1934 г. У. Биб вместе с О. Бартоном достигли глубины 923 м. Свои наблюдения исследователи фиксировали с помощью зарисовок, что, в свою очередь, неизбежно порождало вопросы о точности этих рисунков.

Следующим поколением глубоководных обитаемых средств стали батискафы, свободно перемещающиеся в водной толще. Их плавучесть обеспечивал гигантский поплавок, наполненный несжимаемым лёгким бензином, а всплытие происходило за счёт сброса балласта. Эру батискафов открыло погружение 26.10 1948 г. аппарата FRNS-2, созданного Огюстом Пикаром, у островов Зелёного Мыса. Батискаф достиг глубины 1515 м. А 23.01 1960 г. батискаф "Триест" с командой из Дона Уолша и Жака Пикара достиг дна Марианской впадины в её максимально глубоком участке, котловине Челленджера, на глубине 10919 м. Океан впервые был просмотрен «насквозь». Но большие габариты и вес до 300 т обусловили низкую маневренность батискафов и сложности с их транспортировкой, к тому же наличие на борту судна нескольких сотен тонн бензина для балластной системы было достаточно опасно.

К середине 1960-х годов настало время аппаратов нового типа – мобильных, легких, маневренных. Бензиновые поплавки заменили куда меньшие по размерам поплавки из необжимаемых синтактиков, сбрасываемую дробь – помпы, способные откачивать из балластных цистерн забортную воду против давления в 600 с лишним атмосфер. Высокая маневренность позволила аппаратам обзавестись «руками»-манипуляторами (которые пытались ставить ещё на батискафы, но те были слишком неуклюжи) и пробоотборниками. Первыми ласточками нового поколения глубоководных обитаемых аппаратов (ГОА) стали построенные в 1964–1970 гг. в США «Алюминаут» (с глубиной погружения до 4500 м), «Алвин», «Си-Клифф» и «Тётл» (2000 м), серия аппаратов «Стар» (до 1300 м) и канадские аппараты «Пайсис» (2000 м, два аппарата из этой серии приобрёл и Советский Союз), которые внесли большой вклад в науку в 1970–1980-х годах. Именно благодаря ГОА стало возможным открытие и исследование гидротермальных полей на дне океана. ГОА позволяли

исследовать и тонкую структуру вертикального распределения планктона в столбе воды.

В конце XX века в строй стали вступать ГОА, способные достичь глубины 6000 м: французский «Нотиль» (1985 год), российские «Миры» (1987 г.), японский «Шинкай-6500» (1989 год). Модернизировался и увеличивал глубину своих погружений ветеран «Алвин». ГОА совершенствовались и развивались, строились как более универсальные, так и специализированные подводные аппараты (Сагалевиц, 2002; Королёв, 2011). Но, кроме обитаемых глубоководных аппаратов, на поле появились и другие игроки.

Все большую роль стали играть как буксируемые модули, так и телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА, англ. remotely operated vehicle, ROV). Гидроакустическая система навигации с ультракороткой базой позволяет вести оперативные определения местоположения аппарата с борта судна. Появление компактных фото- и видеокамер высокого разрешения и совершенствование орудий пробоотбора позволяет оператору проводить с борта судна практически те же операции, которые ранее мог выполнить только квалифицированный пилот обитаемого аппарата.

К преимуществам ТНПА относится их относительная дешевизна и безопасность: пилот находится не под водой, а на борту судна. Кроме того, время работы аппарата на дне практически не ограничено: электропитание подается с судна по кабель-тросу. Всё это привело к тому, что во многих странах налажено серийное производство ТНПА. Один из них (производства шотландской фирмы «Sub-Atlantic»), под названием «Команч» («Comanche 18»), с рабочей глубиной до 6000 м, находится в распоряжении Национального научного центра морской биологии во Владивостоке. В последние годы с этим аппаратом были исследованы единственные известные в российских территориальных водах гидротермальные сообщества на подводном вулкане Пийпа (Галкин и др., 2019) и фауна районов газовых выходов на Корякском склоне. Предпринимались и попытки исследовать с помощью «Команча» сообщества толщи воды (Виноградов, 2019).

Но при всех своих преимуществах ТНПА имеют и существенные недостатки. Их перемещение у дна зависит в том числе и от движений судна, и от положения промежуточной станции-депрессора. Случалось, что оператору удавалось вывести «Команч» на нужную позицию, но тут депрессор смещался, и аппарат безнадежно утаскивало в сторону... Да и телекамеры, при всём своём совершенстве, не всегда способны заменить человеческий глаз.

Кроме ТНПА развитие получили и автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), уже способные погружаться на максимальные глубины океана. АНПА идут над дном по заданному маршруту, производя фото- и видеосъёмку и другие дистантные измерения, позволяющие описать рельеф и макрофауну (Боровик и др., 2022). Однако данный метод имеет ряд недостатков, связанных, прежде всего, со сложностью таксономического определения видов по фотографиям. Возможностью сбора образцов АНПА не обладает.

Так что обитаемые аппараты своих позиций не сдают. И, более того, в последние годы в мире отмечается явный их ренессанс. Уже в июле 2020 года завершил свой очередной апгрейд «Алвин», способный отныне погружаться до 6500 м. Сделали свои ГОА китайцы, и 10.11 2020 г. их «Фендуже» («奋斗者») повторил достижение «Триеста», сходя в Марианскую впадину на глубину 10909 м. Это именно «классические» исследовательские ГОА, а были ещё и полуспортивные «Deepsea Challenger» Джеймса Камерона, и «Limiting Factor» Виктора Весково... Эпоха обитаемых аппаратов отнюдь не завершена. И, будем надеяться, они ещё позволят нам узнать немало нового о жизни в Океане.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Боровик, А. И., Рыбакова, Е. И., Галкин, С. В. и др. Опыт использования автономного необитаемого подводного аппарата “ММТ-3000” для исследований бентосных сообществ Антарктики // *Океанология*. – 2022. – Т. 62. – № 5. – С. 811–824.
- 2 Виноградов, Г. М. Сравнение возможностей подсчёта мезо- и макропланктона в столбе воды при погружениях телеуправляемого и обитаемых подводных аппаратов / *Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2019)*. – М.: ИД "Академия Жуковского", 2019. – С. 272–275.
- 3 Галкин, С. В., Рыбакова, Е. И., Виноградов, Г. М. Донная фауна склона Берингова моря: результаты исследований с телеуправляемым аппаратом "Команч" / Там же. 2019. С. 269–271.
- 4 Ефремов, И. А. Атолл Факаофо / В кн.: И. А. Ефремов. Встреча над Тускаророй. – М.–Л.: Военмориздат, 1944. – С. 3–41.
- 5 Королёв, А. Б. Штурм гидрокосмоса (от “снаряда ЭПРОН” до “Руси”) – М.: printLETO, 2011 – 192 с.
- 6 Сагалевич, А. М. Глубина – М.: Научный мир, 2002 – 320 с.

**О ПОДХОДЕ К ОРГАНИЗАЦИИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ  
СЕТИ ДЛЯ НАВИГАЦИОННОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДВОДНЫХ РАБОТ**

**Ромашко А. С.**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, г. Москва,  
2-я Бауманская ул., д.5, стр.1, тел./факс: (499) 263-61-15,  
e-mail: romashkoas@hotmail.com

**ABOUT THE WAY OF HYDROACOUSTIC NETWORK  
ORGANIZATION FOR NAVIGATION AND INFORMATION SUPPORT OF  
UNDERWATER WORK**

Romashko A. S.

Bauman MSTU, 5/1, 2-ya Baumanskaya st., Moscow, 105005

В работе предложен подход к построению гидроакустической сети малых размеров на основе гидроакустических устройств, позволяющих передавать гидроакустические сообщения и определять местоположение получателя относительно отправителя.

Paper presents one way of small size hydroacoustic network development, based on hydroacoustic devices which are able to transive hydroacoustic messages and determine receiver's coordinates with respect to the sender.

Гидроакустической сетью называется совокупность гидроакустических устройств, обменивающихся сообщениями с целью определения местоположения и передачи данных. Известные подходы к организации гидроакустических сетей имеют целью либо обеспечения передачи данных между гидроакустическими устройствами, не имеющими прямой связи [1], [2], [3], либо определение координат всех устройств сети за кратчайшее время [4], [5], [6]. При этом, существующие подходы разработаны для гидроакустических сетей больших размеров, состоящих из десятков устройств, большая часть которых не изменяет свое местоположение с течением времени. Рассматриваемый подход предназначен для организации малых гидроакустических сетей и основан



на классификации и систематизации носителей гидроакустических устройств и типов передаваемых сообщений.

Среди носителей гидроакустических устройств можно выделить автономные необитаемые подводные аппараты, выполняющие задачи в полностью автономном режиме, телеуправляемые и буксируемые подводные аппараты, подводные и надводные буи, закрепленные на дне или свободно дрейфующие, донные станции. Данные носители можно разделить на группы по возможности изменения координат в процессе работы гидроакустической сети (мобильности), возможности инициировать передачу гидроакустического сообщения, наличию информации о собственных координатах и числу установленных на носителе гидроакустических устройств. К мобильным носителям могут быть отнесены все подводные аппараты, в то время как статичными можно назвать донные станции. И подводные аппараты, и донные станции могут быть активными, то есть способными инициировать отправку гидроакустического сообщения, и пассивными, то есть способными только отвечать на гидроакустические запросы. К групповым носителям относятся все носители, имеющие на борту более одного гидроакустического устройства. Координаты статического носителя гидроакустических устройств могут быть заранее определены и использоваться для расчета координат других носителей в гидроакустической сети. В этом случае статический носитель относится к базовым, а носители, координаты которых необходимо рассчитать во время работы гидроакустической сети, относятся к искомым. На основе перечисленных критериев в гидроакустической сети можно выделить шесть типов носителей (табл. 1).

Таблица 1. Типы носителей гидроакустических устройств

№	Тип	статичные/ мобильные	одиночные/ групповые	искомые/ базовые	активные/ пассивные
1	Базовый маяк	статичные	одиночные	искомые	пассивные
2	Искомый маяк	мобильные	одиночные	базовые	пассивные
3	Статичный модем	статичные	одиночные	искомые	активные
4	Статичная группа	статичные	групповые	искомые	активные
5	Автономный модем	мобильные	одиночные	искомые	активные
6	Автономная группа	мобильные	групповые	искомые	активные

Работа гидроакустической сети представляет собой последовательность шагов, выполняемых синхронно на всех носителях гидроакустических устройств, в каждом из которых отправителем является активное устройство, передающее сообщение с необходимыми данными. Получателем может быть пассивное или активное устройство, которое отправляет мгновенное сообщение фиксированного содержания. По измеренной длительности и известной скорости звука в воде рассчитывается расстояние между гидроакустическими устройствами, которое, с учетом измеренного направления приема сигнала, используется для расчета координат получателя в системе координат, связанной с отправителем. Абсолютные координаты отправителя определяются путем добавления к измеренным координатам абсолютных координат получателя. Для расчета координат получателя на борту отправителя достаточно одного шага сети. Для расчета координат отправителя необходим один шаг в случае статических носителей с заранее известными координатами и два шага в случае мобильных активных носителей с бортовой навигационной системой. На одном из шагов производится расчет координат получателя относительно отправителя, на другом шаге производится передача координат получателя отправителю.

Синхронность выполнения шагов сети на всех устройствах обеспечивается введением максимальной длительности шага, рассчитываемой исходя из известной максимальной дальности работы гидроакустических устройств с учетом методологических, аппаратных и программных задержек. Для поддержания синхронности гидроакустической сети в случаях временного обрыва связи между гидроакустическими устройствами, например, из-за выхода носителя из зоны работы гидроакустического устройства или ухудшения гидрологической обстановки, введены попытки повторения шага. Число попыток повторения шага ограничено для предотвращения зависания сети на одном шаге. Для групповых носителей предусмотрена возможность смены отправителя или получателя на другое гидроакустическое устройство в группе, которое может не быть подвержено негативным факторам. Разное время передачи гидроакустических сообщений может привести к потере синхронности выполнения шагов сети и попытке одновременной отправки гидроакустических сообщений несколькими носителями. Для разрешения данного конфликта вводится иерархическая структура активных устройств, согласно которой длительность шага для каждой попытки повторения больше изначальной длительности шага на величину, пропорциональную месту гидроакустического устройства в иерархии. Это позволяет избежать повторной одновременной отправки гидроакустического сообщения несколькими устройствами. Контроль

синхронности выполнения шагов сети и восстановление последовательности в случае обрыва связи производится путем введения счетчиков шагов обмена между каждой парой взаимодействующих активных устройств.

На основе предложенного подхода к классификации носителей и организации порядка обмена гидроакустическими сообщениями может быть построена гидроакустическая сеть, удовлетворяющая заданным критериям частоты расчета координат носителей гидроакустических устройств, скорости получения координат носителей и порядком передачи информационных сообщений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Alfouzan F.A. Energy-Efficient Collision Avoidance MAC Protocols for Underwater Sensor Networks / F.A. Alfouzan // Survey and Challenges. Journal of Marine Science and Engineering. – 2021. – № 9(7) – pp.741-761.
2. Khan H. On Underwater Wireless Sensor Networks Routing Protocols: A Review / H. Khan, S. A. Hassan, H. Jung // IEEE Sensors Journal. – Sept.15, 2020. – vol. 20, №18. – pp. 10371-10386.
3. Petroccia R. A distributed ID assignment and topology discovery protocol for underwater acoustic networks // 2016 IEEE Third Underwater Communications and Networking Conference (UComms). – 2016. – pp. 1-5.
4. Scherbatyuk A. F. Group navigation and control for marine autonomous robotic complex based on hydroacoustic communication / A. F. Scherbatyuk [and oth.] // 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) – 2016. – pp. 1388-1393.
5. Fan L. Research on Localization Algorithms Based on Acoustic Communication for Underwater Sensor Networks. / L. Fan [and oth.] // Sensors conference. – Basel, Switzerland, 2018. – pp. 18-34.
6. Behrje U. A Robust Acoustic-Based Communication Principle for the Navigation of an Underwater Robot Swarm / U. Behrje [and oth.] // 2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO). – 2018. – pp. 1-5.

**ИНТЕРАКТИВНАЯ МОДИФИКАЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ  
СКЛАДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРИЕМНЫХ  
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ АНТЕНН ДЛЯ ЛЮБЫХ НОСИТЕЛЕЙ И  
ТРЕБУЕМЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**Булычев А.С.**

*АО «Концерн «Океанприбор», Чкаловский пр, 46, 197376  
г. Санкт-Петербург, Тел. 7(812)320 80-40/41  
[mail@oceanpribor.ru](mailto:mail@oceanpribor.ru)*

**INTERACTIVE MODIFICATION OF UNIVERSAL FOLDING  
CONSTRUCTIONS OF CYLINDER RECEIVING HYDROACOUSTIC  
ANTENNAS FOR ANY CARRIERS AND REQUIRED TECHNICAL  
SPECIFICATIONS**

**Bulychev A.S.**

*JSC «Concern «Oceanpribor», Chikalovsky prospect, St. Petersburg,  
197376*

Анонсированы результаты разработки универсальных складных конструкций приемных гидроакустических антенн для различных носителей.

Announced results development of universal folding constructions of receiving hydroacoustic antennas for different carriers.

С целью повышения качества и сокращения сроков разработки складных приемных гидроакустических антенн с различными техническими характеристиками и с учетом требований к их носителям спроектирована масштабируемая универсальная конструкция.

В качестве прототипа рассматривался складной механизм вертолетной станции Flash фирмы «Thales» (Франция), после его адаптации и оптимизации к крупногабаритным антеннам, был совершен переход от одноступенчатой к двух и многоступенчатым механизмам с несущими рычагами на двух подвижных осях.

В процессе конструирования применялись современные средства проектирования с параметризацией размеров электронных моделей деталей и их взаимоположений в сборочных единицах.

Таким образом, на основе универсальной архитектуры складной конструкции автором подготовлены электронные модели для нескольких носителей приемных гидроакустических антенн с разными условиями и сроками эксплуатации: вертолеты, надводные корабли, подводные аппараты и заглубленные буи, что позволяет в интерактивном режиме модифицировать антенны в зависимости от задаваемых заказчиком технических характеристик.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Рот К. Конструирование с помощью каталогов/ Пер. с нем. В.И. Борзенко и др.; Под ред. Б.А. Березовского. – М.: Машиностроение, 1995. – 420 с.:ил.
2. Евтютов, А.П. Инженерные расчеты в гидроакустике/ А.П. Евтютов, В.Б. Митько. -Л: Судостроение, 1988. – 288 с., ил

УДК 551.46

### **ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИКОЙ ВЫСОКОЙ АВТОНОМНОСТИ**

**Горлов А.А.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-85-09,  
[oceangorlov@yahoo.com](mailto:oceangorlov@yahoo.com)*

OCEANOLOGICAL RESEARCH WITH HIGH AUTONOMY MARINE  
ROBOTICS  
Gorlov A.A.

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii prosp., Moscow, 117997, Russia*

В докладе рассматриваются перспективы использования морской техники долговременной автономности для повышения информационной и эколого-экономической эффективности наблюдений и исследований в Мировом океане.

The report discusses the prospects for using long-term autonomy marine technology to improve the informational, environmental and economic efficiency of observations and research in the World Ocean

Период с 2021 по 2030 годы объявлен ООН «Десятилетием наук об океане» для обеспечения перехода от состояния «океана, какой мы имеем сегодня» к «океану, который нам нужен в будущем» [1]. При этом центральное место отводится глобальной системе наблюдений за океаном (ГСНО), предназначенной для сбора и обработки больших объемов данных по различным направлениям исследований Мирового океана. В настоящее время ГСНО собирает ежедневно более одного миллиона данных *in situ*, т.е. непосредственно с мест наблюдений по всему миру с помощью различных измерительных датчиков и приборов, размещенных на более 9500 морских, космических и береговых технических средствах [1]. Комплексные наблюдения в Мировом океане с поверхности до максимальных глубин традиционно проводятся с борта научно-исследовательских судов. Кроме того, значительный объем данных поступает от более 1700 автономных заякоренных и дрейфующих буев и от примерно 4000 буев переменной плавучести Argo. В ГСНО также стали использовать глубоководные дрейфующие буи Deep Argo, датчики на морских животных по программе AniBOS и другие новые технологии [1]. Так, по программе «OceanGliders» постоянно увеличивается число запусков исследовательских подводных глайдеров. Всё шире используются для науки автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА). Но, долговременность их работы исчисляется только сутками, после чего их необходимо поднимать на борт судна для подзарядки батарей, что определяет значительные операционные расходы [2,3].

Автономность глайдеров, АНПА и другой морской робототехники может быть существенно увеличена на основе разработанной нами более 35 лет назад концепции «микроэнергетики океана» - долговременного энергоснабжения средств океанологических исследований путем использования различных видов возобновляемой энергии океана [1,2]. В период «Десятилетия океана» целесообразно на основе этой концепции развитие инфраструктуры ГСНО за счет установки ВИЭ непосредственно на борту беспилотников для электропитания и/или для движения самих аппаратов [2,4]. За рубежом уже созданы и используются подобные средства океанотехники: тепловые глайдеры «Slocum Thermal» (США); солнечные АНПА «SAUV» (США); волновые глайдеры «Wave Glider» (США); ветровые АНПА «SubMaran» (США) и т.п. Такие аппараты могут месяцами работать в океане, в том числе и в экстремальных условиях непосредственно в «глазе урагана» или в Полярных морях. Например,

парусный беспилотник «Saildrone» (США) за 196 суток своего автономного плавания в 13 670 миль вокруг материка Антарктиды непрерывно передавал данные о содержании CO<sub>2</sub> при ветре скоростью до 40 м/с, волнах высотой до 15 м и угрозах столкновения с айсбергами [ 1].

Автономность и эффективность АНПА значительно возрастает за счет подзарядки от подводных док-станций, обеспечиваемых электропитанием от морских ВИЭ [3,5]. В США созданы и используются для научных работ АНПА «REMUS», «Odyssey», «Tethys», «Bluefin», «SeaBED» и т.п., а также различные док - станции для них. Наш анализ показал, что такая робототехника значительно расширяет круг научных программ и возможности ГСНО для решения сложных, недоступных ранее проблем изучения Мирового океана [2-,5]. Ученым обеспечивается возможность дистанционно в реальном времени вести океанские измерения и даже визуальные наблюдения, а также гибко менять программы исследований.

Для изучения океанских процессов и их прогнозов используются цифровые модели, в том числе географические информационные системы (ГИС). Решение задач ассимиляции, необходимых для коррекции этих моделей данными измерений *in situ*, требует получение долговременно и непрерывно больших массивов данных об океане в реальном масштабе времени. Для этого, за период «Десятилетия океана» ожидается значительное увеличение количества измерительных платформ ГСНО. Однако, долговременность и непрерывность наблюдений достаточно сложно обеспечить существующими техническими средствами. К сожалению, в последние годы регулярные судовые экспедиции проводятся очень редко и с большими затратами на топливо [2]. В ряде стран, в том числе и в России, научные суда устарели и скоро могут выйти из строя, а новые создавать очень дорого. Очевидно, что для экономного и эффективного развития ГСНО необходимо исходить из оценок соотношения качества данных наблюдений и затрат на их получение, оптимальное значение которых может обеспечить симбиоз морской робототехники и океанских ВИЭ [1-5]. Такое решение соответствует концепции автономной системы океанологических исследований на базе энергии океана (АСОИ ЭО), предложенной нами более 12 лет назад в развитие концепции «микроэнергетики океана», и дает целый ряд важных преимуществ [1,2]. Одним из них является экологическая чистота всей инфраструктуры ГСНО на базе ВИЭ. При этом обеспечиваются значительно более высокие экономические показатели и возможности для наблюдений, чем на научных судах, так как для получения информации об океане *in situ* используется энергия также *in situ*. Возобновляемые ресурсы энергии океана любой требуемой мощности в сочетании с различными

новейшими технологиями позволяют создавать уникальные средства морской робототехники непрерывных долговременных наблюдений за Мировым океаном. Появляется возможность создания гибридных беспилотников-трансформеров, работающих в поверхностном и подводном режиме, с изменяемой геометрией корпуса, поднимающейся мачтой, защитой от вандализма и т.д. [2]. В ближайшей перспективе планируется использование в океане мобильной связи 5G, Интернета вещей, искусственного интеллекта, подводной оптической связи и т.п., что даст возможность создать за период «Десятилетия океана» локальные и региональные цифровые сети ГСНО любой конфигурации с использованием разнообразных каналов связи в режиме реального времени. Это позволит своевременно реагировать на климатические катастрофы и снижать возможный ущерб людям и инфраструктуре.

Фактически сеть ГСНО концепции АСОИ ЭО будет представлять собой распределенную систему морских ВИЭ, непосредственно питающих конкретных потребители (элементы сети), что сокращает суммарное использование топлива и выбросы в атмосферу, т.е. существенно повышает энергоэффективность наблюдений за Мировым океаном. Развитие ГСНО в соответствии с концепцией АСОИ ЭО обеспечивает также огромные перспективы для инновационной и инвестиционной деятельности. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность и пути создания флотилии долговременных беспилотников с зарядными станциями при Центре коллективного пользования «Научный флот ИО РАН», аналогично уже имеющимся подобным средствам в ряде зарубежных морских научных институтах и Центров.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0010)

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Горлов А.А. Десятилетие наук об океане для достижения целей устойчивого развития/ А.А.Горлов // Журнал РАН «Энергия: экономика, техника, экология». - 2022. - №5.- С. 21-36. DOI: 10.7868/S0233361922050044
2. Горлов А.А. Морские беспилотники долговременной автономности на базе ВИЭ / А.А.Горлов // журнал РАН «Энергия: экономика, техника, экология». – 2018. - №4 . – С. 30-41.
3. Горлов А.А. Долговременные океанологические исследования с помощью автономных подводных обитаемых аппаратов/ А.А.Горлов // Журнал РАЕН «Научное обозрение. Технические науки». - 2020. -№4- С. 81-94. DOI : 10.17513/srts.1308



4. Горлов А.А. Океанологические исследования поверхностными беспилотниками повышенной автономности/ А.А.Горлов //Журнал РАЕН «Научное обозрение. Технические науки». – 2018.- №5 - С. 5-13. DOI: 10.17513/srts.1195
5. Горлов А.А. Зарядные станции автономных робототехнических систем океанологических исследований / А.А.Горлов//Журнал РАЕН «Научное обозрение. Технические науки». - 2019.- №4 - С 27-35. DOI : 10.17513/srts.1253

УДК 551.46.06

## **ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ДНА ПО ДАННЫМ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ С ЛАЗЕРНОЙ МАСШТАБНОЙ ЛИНЕЙКОЙ**

**Анисимов И.М., Муравья В.О., Лесин А.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,  
[anisimov.im@ocean.ru](mailto:anisimov.im@ocean.ru)*

### **MEASUREMENT OF OBJECTS ON SEABED BY MEANS OF VIDEO IMAGES WITH LASER SCALER**

**Anisimov. I.M., Muravya V.O., Lesin A.V.**

*Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, 36,  
Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

В докладе рассматривается метод измерений объектов на поверхности дна по видеоматериалам, полученным с борта буксируемого необитаемого подводного аппарата, оснащенного двумя лазерными указателями. Для оценки точности измерений рассматриваются видеоизображения, полученные в различных условиях эксплуатации аппарата. Сравниваются результаты, полученные калиброванной и некалиброванной видеосистемой.

In the paper authors discuss the method of measuring objects on the seabed using video data obtained from a towed uninhabited underwater vehicle equipped with two laser pointers. To assess the accuracy of measurements, video images obtained under various operating conditions

of the vehicle are considered. Calibrated and uncalibrated cases are considered.

Изучение поверхности дна с помощью буксируемых необитаемых подводных аппаратов (БНПА) являются неотъемлемой частью океанологических исследований Морского океана. К объектам исследования можно отнести техногенные объекты, донные животные и растения, структуры микро- и мезорельефа дна. Для оценки количественных характеристик исследуемых объектов (форма, площадь поверхности, объем) необходим способ измерения их линейных размеров. Для этого на БНПА устанавливаются лазерные указатели (от двух и более), проецирующие на дно два ярких пятна с фиксированным известным расстоянием между ними. Такой метод измерений повсеместно применяется в виду простой и недорогой реализации не только на БНПА, но и на других аппаратах [3]. В данной работе рассматриваются данные, полученные с помощью БНПА «Видеомодуль», разработанного в ИО РАН [1]. Аппарат оснащен двумя лазерными указателями, проецирующими на объект исследования два пятна на расстоянии 200 мм друг от друга.

Если объект в кадре находится в непосредственной близости к проекции лазерных указателей (лазерной линейке), погрешность измерений обуславливается размером проекции лазерных пятен и точностью определения их местоположения на изображении. Однако в случае, если объект находится в другой части изображения, ошибка измерения может существенно вырасти ввиду перспективных искажений в кадре из-за наклона камеры, а также радиальной дисторсии объектива и плоско-параллельного иллиминатора. Поскольку видеозапись представляет собой непрерывную последовательность изображений, один и тот же объект появляется в поле зрения в одной части кадра, а выходит из поля зрения в противоположной части. Зная этот факт, можно провести измерение этого объекта в различных частях кадра и вычислить стандартное отклонение, нормированное на среднее значение, что будет соответствовать величине относительной погрешности измерения данного объекта. Проведя несколько таких измерений для интересующего отрезка видеозаписи, можно оценить общую достоверность измерений, выполненных на базе данного отрезка.

Для анализа были выбраны несколько характерных видеозаписей, полученных при различных условиях эксплуатации аппарата:

- видеозапись №1 – равномерное движение БНПА;
- видеозапись №2 – умеренная качка;
- видеозапись №3 – сильная качка.

Для каждой видеозаписи рассматриваются два случая:

- «сырые данные» – необработанные видеоматериалы, полученные с помощью БНПА «Видеомодуль»;

- откалиброванные данные – видеоматериалы с компенсацией радиальной дисторсии.

Калибровка видеокamеры проводилась по методу, описанному в [4], с использованием библиотеки OpenCV [5] и языка программирования Python [6]. В качестве калибровочной таблицы был использован шахматный узор, помещенный в аквариум с водой, камера была помещена за стенкой, перпендикулярно стеклу.

Алгоритм анализа видеозаписей заключается в следующем: сначала отмечаются два лазерных пятна, которые затем автоматически отслеживаются на протяжении всего видео с помощью алгоритма, описанного в [2]. Затем автоматически выбирается  $N$  особых точек в верхней части кадра. С помощью того же метода они отслеживаются до тех пор, пока одна из них не выйдет за пределы кадра. Таким образом, набирается  $N$  массивов положений точек одинаковой длины. По точкам попарно вычисляются расстояния в пикселях и нормируются на расстояние между лазерными пятнами в соответствующем кадре, получая, таким образом, реальные линейные размеры на поверхности дна. Для каждого полученного набора линейных размеров вычисляется относительная погрешность измерений. На следующей итерации выбираются новые точки, и описанные шаги повторяются.

Гистограммы полученных массивов погрешностей измерений по видеозаписям приведены на рисунке 1. Основные статистические показатели приведены в таблице 1.

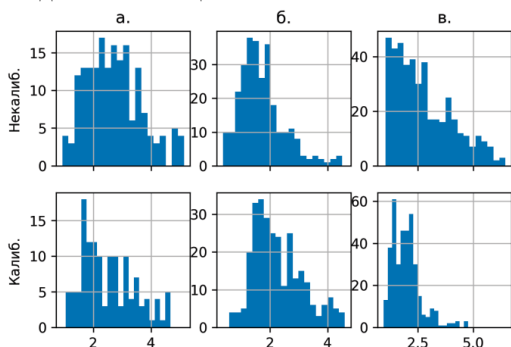


Рис. 1. Распределения относительных погрешностей (%) измерений линейных размеров на видеозаписях при различных условиях для некалиброванного и калиброванного случая: а) равномерное движение, б) умеренная качка, в) сильная качка.

Таблица 1. Статистические результаты исследования погрешности измерений на материалах 3-х видеозаписей. Обычным шрифтом обозначены результаты по «сырым» данным; жирным шрифтом выделены результаты после применения калибровки.

№ видео	Среднее, %	Медиана, %	Стандартное отклонение, %	Величина выборки
1	2.71 <b>2.51</b>	2.67 <b>2.30</b>	0.96 <b>0.90</b>	180
2	1.70 <b>2.28</b>	1.56 <b>2.09</b>	0.78 <b>0.85</b>	282
3	2.74 <b>1.98</b>	2.43 <b>1.89</b>	1.29 <b>0.66</b>	433

По результатам можно сделать вывод, что компенсация радиальной дисторсии в основном положительно влияет на величину погрешности измерений, однако в случае видео №2 наблюдается обратное влияние. Ошибка остается в пределах 5%, что приемлемо для многих исследовательских задач.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0010). Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФ (проект № 23-17-00156)

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Анисимов И. М., Римский-Корсаков Н. А., Тронза С. Н. Развитие глубоководных технологий визуальных наблюдений рельефа дна и подводных объектов // Международный Журнал Прикладных И Фундаментальных Исследований. 2019. № 10. С. 149–153.
2. Kalal Z., Mikolajczyk K., Matas J. Forward-Backward Error: Automatic Detection of Tracking Failures 2010. С. 2756–2759.
3. Pilgrim D. A., Parry D. M. Jones M. B., Kendall M. A. ROV Image Scaling with Laser Spot Patterns // Underwater Technology. 2000. № 3 (24). С. 93–103.
4. Shortis M. Calibration techniques for accurate measurements by underwater camera systems // Sensors (Switzerland). 2015. № 12 (15). С. 30810–30827.
5. OpenCV: OpenCV modules [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.opencv.org/4.5.5/> (дата обращения: 01.06.2022).
6. Welcome to Python.org // Python.org [Электронный ресурс]. URL: <https://www.python.org/> (дата обращения: 12.01.2023).

## ПРОТОТИП ТНПА С МОДУЛЬНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬЮ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

Кондрашов А.А.<sup>1</sup>, Пака В.Т.<sup>1</sup>, Кантаков Г.А.<sup>2</sup>, Подуфалов А.П.<sup>1</sup>,  
Ландер М.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01,  
[kondrashoff1984@yandex.ru](mailto:kondrashoff1984@yandex.ru), [vpaka@mail.ru](mailto:vpaka@mail.ru)*

<sup>2</sup> *НПО "ДЭКО", 693004, г. Южно-Сахалинск, пр. Мира, 426 +79776158670,  
[npodeco@gmail.com](mailto:npodeco@gmail.com)*

### ROV PROTOTYPE WITH MODULAR FUNCTIONALITY WITH FOLLOWING DEVELOPMENT PROSPECTIVES

Kondrashov A.A.<sup>1</sup>, Paka V.T.<sup>1</sup>, Kantakov G.A.<sup>2</sup>, Podufalov A.P.<sup>1</sup>, Lander M.R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences  
1, Nakhimovskii Prosp., Moscow, 117997, Russia*  
<sup>2</sup> *FEEC Ltd. 426, Mira ave., Yuzhno-Sakhalinsk, 693004*

Представлен прототип конструкции и результаты тестовых погружений работающего макета телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА), разработанного с использованием нестандартной компоновки движителей, балансировки в воде и наполнения оборудованием.

A prototype of the development and the results of test dives of a working model of a remote-controlled uninhabited underwater vehicle (ROUV or ROV), developed using a non-standard thrusters layout, balancing in water and equipment, are presented.

В 2019 году разработан, создан и модифицируется прототип ТНПА для изучения морского дна как объекта взаимодействия с придонными течениями. Решалась задача улучшения качества и продолжительности видеонаблюдения дна по сравнению с имеющимися ТНПА, не обладающими достаточной мощностью для использования с борта

большетоннажного судна, особенно, если оно не может становиться на якорь и удерживать заданные координаты (DP).

Предложено техническое решение ТНПА, которое не только позволяет отказаться от двигателей вертикального перемещения, но и упрощает его конструкцию. Позиционирование аппарата с положительной плавучестью на заданном расстоянии от поверхности дна осуществляется за счёт мягких утяжелённых гайдропов. Новый экспериментальный ТНПА, получивший условное имя *Rocinante* (исп.), построен по модульному принципу с возможностью трансформации взаимного расположения и функционального состава приборной нагрузки. ТНПА *Rocinante* имеет всего три двигателя Blue Robotics T200 [1], два из которых используются в качестве маршевых и один в качестве маневрового. Схематично конструкция первого макета ТНПА *Rocinante*, испытанного в 42-ой экспедиции НИС «Академик Николай Страхов», представлена на рис. 1.

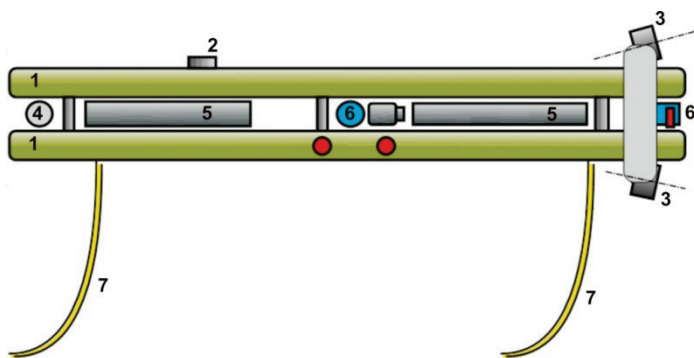


Рис. 1. Конструкция ТНПА *Rocinante* в макетном исполнении для натуральных испытаний: 1 – модули плавучести, 2 – электронный магнитный компас, 3 – маршевые двигатели, 4 – рулевой двигатель, 5 – гермоконтейнеры для электроники и аккумуляторов, 6 – видеокamеры, 7 – гайдропы. Сигнальный кабель, крепящийся к верхнему поплавку, не показан

Связь с ТНПА, питание бортовой системы управления, видеокamер и осветителей осуществляется посредством гибкого кабеля диаметром 8 мм с кевларовым усилением, в то время как питание электродвигателей с суммарной потребляемой мощностью до 1200 Вт обеспечивается двумя литий-ионными аккумуляторами. При выключенных двигателях заряд аккумуляторов не используется. Для целей навигации применен интегральный магнитный компас с компенсацией угла наклона выполненный на м/с Honeywell HСМ6343 [2], помещённый в отдельный

герметичный контейнер и закреплённый на удалении от других модулей. ТНПА оснащён тремя видеокерами высокого разрешения с осветителями, обеспечивающие угол обзора более 240 градусов. Управление ТНПА *Rocinante* осуществляется посредством пульта, смонтированного во влагозащищенном пластиковом кейсе, к которому подключается ноутбук для вывода телеметрии и отдельный монитор для вывода видеоизображения.

Собранный макет ТНПА испытан погружениями с судна, стоящего на якоре на глубине 85 м, перемещавшегося при этом с размахом колебаний около 100 м, что при длине кабеля 330 м не создавало помех для работы аппарата на дне в круге радиусом 20-30 м на расстоянии от судна в любом направлении не менее 100 м. Перемещение аппарата между площадками наблюдения/осмотра выполнялось с помощью надувной лодки с экипажем два человека. Оператор, управляющий аппаратом, находился в сухой лаборатории на борту судна. Продолжительность непрерывной работы определялась зарядом аккумуляторов и составляла до полутора часов. Суммарная продолжительность экспериментально-отладочных работ ТНПА *Rocinante* составила около 12 час. Изображения трех видеокерами архивировались с возможностью последующего описания донного ландшафта вероятного подводного русла затокового течения в районе Гданьско-Готландского порога (Юго-Восточная Балтика).

После проведённых испытаний, ТНПА *Rocinante* подвергся модернизации, в его состав добавлены: функционал гидролокатора бокового обзора *Imagenex(c)881a* [3], оперативная замена аккумуляторных блоков и их подзарядка в процессе работы, что увеличило время функционирования на дне. В новой версии модули ТНПА *Rocinante* смонтированы на расширенной для дополнительных блоков аппаратуры раме. Компоновка проекта ТНПА выполнена в среде трёхмерного моделирования *Rhinoceros 3D*. Модернизированный ТНПА прошёл испытания в 49-ой экспедиции НИС «Академик Борис Петров». Фотография обновленного ТНПА представлена на рис. 2.

Проведённые испытания на глубинах до 85 метров, разработанных и испытанных двух конструкций ТНПА *Rocinante*, показали, что трение гайдропов о плотный глинистый грунт с галькой не является ограничивающим фактором его перемещений. Потеря энергии компенсируется непрерывной подзарядкой аккумуляторной батареи с борта судна.

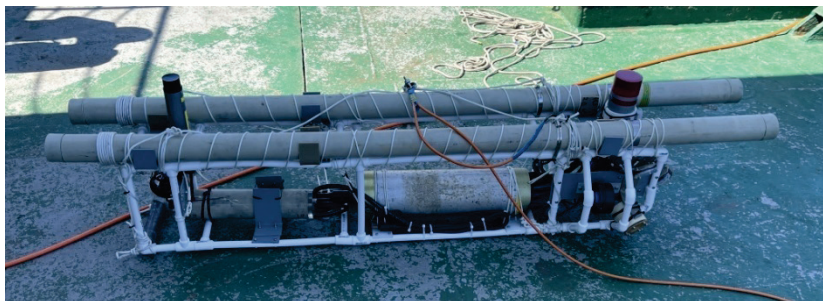


Рис. 2. Обновлённый ТНПА *Rocinante* на палубе НИС «Академик Борис Петров» перед испытаниями (без гайдропов)

Неочевидным преимуществом представленной конструкции является полная неподвижность ТНПА при отключенных двигателях, что принципиально важно для медленного сканирования гидролокатором кругового обзора. К недостаткам можно отнести невозможность работы на сложном рельефе и рифах, однако над лежащими на поверхности дна небольшими валунами или топляком ТНПА *Rocinante* проходит без видимых усилий. Под вопросом остаётся возможность работы аппарата на мягких илистых грунтах.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме: № FMWE-2021-0012.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Подводный трастер Blue Robotics T200 [Электронный ресурс]. URL: <https://bluerobotics.com/store/thrusters/t100-t200-thrusters/t200-thruster-r2-rp/> (дата обращения 11.01.2023)
2. Интегральный магнитный компас [Электронный ресурс]. URL: <https://data.electronshik.ru/z/Datasheet/H/HMC6343.pdf> (дата обращения 11.01.2023)
3. Цифровой многочастотный сонар Imagenex(c)881a [Электронный ресурс]. URL: [https://imagenex.com/assets/images/downloads/881A\\_Imaging\\_Specs\\_rev5.pdf](https://imagenex.com/assets/images/downloads/881A_Imaging_Specs_rev5.pdf) (дата обращения 11.01.2023)



## ПЕРСПЕКТИВЫ РОБОТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ

**Жданов П.Н., Вельтишев В.В.**

*Московский государственный технический университет имени Н. Э.  
Баумана (национальный исследовательский университет), 105005,  
г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5, стр.1, 8 (499) 263 61 15,  
zhpn20mm033@student.bmstu.ru*

### IRON-MANGANESE NODULES EXTRACTION PROCESS ROBOTIZATION PROSPECTS

Zhdanov P.N., Veltischev V.V.

В докладе предлагается метод добычи железоманганцевых конкреций при помощи группы телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов и описываются проблемы реализации такого решения.

This paper proposes an iron-manganese nodules extraction method using a group of uninhabited remote-controlled underwater vehicles and describes the problems of implementing such solution.

В связи с развитием технологий существующие запасы минерального сырья постепенно истощаются. В результате приходится искать новые источники минерального сырья и способы их добычи. Одним из таких источников являются полиметаллические залежи железоманганцевых конкреций (ЖМК) в разных областях на дне Мирового океана. Они содержат большое количество полезных для промышленности металлов, включая золото, серебро, медь, марганец, кобальт, цинк, железо и титан [1] (рис. 1).

Добыча ЖМК осложняется особенностью мест их залегания. Наиболее богатые металлами конкреции находятся на глубине от 4 до 6 тысяч метров. На такой глубине давление будет составлять примерно 60 МПа. Такие условия непригодны для работы человека и несут смертельный риск. Поэтому для добычи конкреций необходимо использовать телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА).

Существует много вариантов реализации таких ТНПА. Часто они базируются на гусеничном шасси, имеют ковш для сбора конкреций

(Patania II, Apollo II, MineRo-II, VAMOS mining system, Varaha-1) [2] [3] [4] (рис. 2). ТНПА соединён кабелем с кораблём носителем и оснащён пульпопроводом для доставки конкреций на корабль или контейнерами для накопления конкреций. Альтернативные варианты предполагают траловую [5] и цепную ковшовую добычу. Они являются менее предпочтительными, так как обеспечивают низкую эффективность добычи и низкий контроль добываемого инструмента на дне.

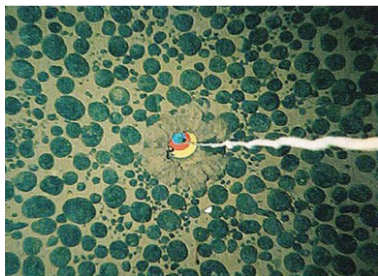


Рис. 1. Фотография залежи конкреций



Рис. 2. НПА «Patania II» в процессе сбора конкреций

Предлагаемые технологии добычи ЖМК не предполагают применения группы ТНПА. Тем не менее, практически нет упоминаний об использовании группы аппаратов (рис. 3). Потенциальными преимуществами использования группы ТНПА являются:

- значительный прирост производительности добычи, поскольку несколько ТНПА могут работать на разных участках одновременно;
- в случае использования нескольких ТНПА в группе значительно снижается вероятность остановки добычи при отказе одного.

Групповое управление успешно применяется для автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Но групповое управление ТНПА труднее осуществить. Проблемы реализации группового управления состоят в описании движения аппаратов для наиболее плотного покрытия рабочей зоны, избегания столкновений с препятствиями и друг с другом, а также избегания запутывания кабелей. Запутывание кабелей является значительной проблемой, которая может не только помешать движению ТНПА, но и повредить сами кабели, что приведёт к потере связи с аппаратами.



Рис. 3. Пример исполнения добывающего комплекса с группой добывающих ТНПА

Применение АНПА для добычи ЖМК невозможно, поскольку нет возможности создать надёжный беспроводной канал связи под водой, АНПА будут иметь недостаточный запас батареи для продолжительной работы и будут простаивать во время зарядки, а также есть риск потери АНПА. Таким образом, решение задачи группового управления телеуправляемыми ТНПА является актуальной проблемой в задаче добычи ЖМК.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Liping Cheng, Ming Chen, Ning Yang, Jun Liu, Jianyu Xiao. Research on Relative Position Detection Method of Deep-sea Cooperative Mining System // 2019 IEEE 2nd International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP), 2019. – 6 p.
2. A brief review of recent progress on deep sea mining vehicle / Dingxin Leng, Shuai Shao, Yingchun Xie, Honghui Wang, Guijie Liu// Ocean Engineering, 2021. Vol. 228. – 17 p.
3. Sup Hong, Hyung-Woo Kim, Jong-su Choi, Tae-Kyeong Yeu, Soung-Jae Park, Chang-Ho Lee, Suk-Min Yoon. A Self-Propelled Deep-Seabed Miner and Lessons From Shallow Water Tests // ASME 2010 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, 2010. – 12 p.
4. José Almeida, António Ferreira, Bruno Matias, Caio Lomba, Alfredo Martins, Eduardo Silva. ¡VAMOS! Underwater Mining Machine Navigation System // 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2018. – 7 p.
5. Остроухов Н.Н., Чумакова Е.В. Возможности применения мультимодульных плавсредств-трансформеров в процессах освоения Мирового океана // Мир транспорта. 2019. №17. – С. 114-128.

УДК 551.465.062.5

**ЛИНЕЙКА ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ НЕОБИТАЕМЫХ  
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ «ГНОМ» (МОДЕЛИ «ГНОМ»  
СТАНДАРТ, СУПЕР ГНОМ)**

**Розман Б.Я., Елкин А.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва,  
8(499)129-20-45, [borisdrug@mail.ru](mailto:borisdrug@mail.ru)*

UNDERWATER REMOTE-CONTROLLED INSPECTION COMPLEX  
"GNOM" (TNPA "GNOME" MODELS GNOE STANDARD, SUPER GNOM)

*Rozman B.Y., Elkin A.V.*

*Shirshov Institute of Oceanology. Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii prosp., Moscow, 117997, Russia*

Стремительное развитие высоких технологий, в т.ч. компьютерных и телекоммуникационных, позволило создавать малогабаритные исследовательские аппараты -роботы и измерительные приборы с мощными встроенными компьютерами и средствами телекоммуникации, что предопределило разработки дистанционно управляемые поисково-осмотровых и исследовательских аппаратов-роботов (по международной терминологии - ROV-remotely operated vehicle) и подводных обсерваторий с возможностью объединения их кабельными и спутниковыми каналами. Такие каналы представляют собой подводный сегмент Интернета (или IoT - Интернет-вещей). С их помощью можно проводить широкомасштабные измерения гидрофизических и гидрохимических параметров морской воды в реальном времени, исследовать придонную флору и фауну, проследивать динамику изменений состояния гидросферы.

В статье рассматриваются сверхлегкие телеуправляемые подводные аппараты ГНОМ-СТАНДАРТ и СуперГНОМ, представляющие новое поколение подводных технических средств исследования океанов, морей и внутренних водоемов. Их особенностью являются малые весогабариты (вес 3-12кг) и энергопотребление (100-300Вт), возможность вести длительный мониторинг разнообразных подводных объектов техногенного происхождения, а также поиск и контроль потенциально-опасных объектов.

Развертывание многотысячных спутниковых группировок (проект Илона Маска и др.), обеспечивающих глобальную телекоммуникационную сеть, позволяет осуществлять измерения и постоянную передачу данных в центры сбора и хранения (data centers) с надводной и подводной малогабаритной, малопотребляющей, автономной аппаратуры. На основе этих станций можно будет создавать сети исследовательских и мониторинговых станций, имеющих в составе измерительные приборы, подводные телеуправляемые аппараты и роботы, соединенные подводным кабелем или поверхностными буями со спутниковой связью. Такие кабели (и/или буи) будут соединены с Интернетом и позволят получать информацию в реальном времени со всех станций и управлять ими. Эти станции постепенно придут на смену эпизодическим исследованиям, проводимых с судов, сделав их дешевле и постоянными во времени.

High technologies, especially computer and telecommunications, allowed the creation of small-sized research robots and devices with powerful built-in computers and telecommunications facilities, which predetermined the development of remotely controlled devices search and inspection and research robot vehicles (in international terminology - ROV-remotely operated vehicle) and underwater observatories with the possibility of combining them cable and satellite channels. Such channels represent an underwater segment of the Internet (or IoT - Internet of Things). With their help, it is possible to carry out large-scale measurements of hydrophysical and hydrochemical parameters of seawater in real time, to study the bottom flora and fauna, to trace the dynamics of changes in the state of the hydrosphere.

The article deals with ultralight remote-controlled underwater vehicles GNOM-STANDARD and SuperGNOM, representing a new generation of underwater technical means of exploring oceans, seas and inland reservoirs. Their special features are small weight dimensions (weight 3-12 kg) and energy consumption (100-300W), the ability to conduct long-term monitoring of various underwater objects of man-made origin, as well as search and control of potentially dangerous objects.

The deployment of thousands of satellite groupings (the project of Elon Musk, etc.), providing a global telecommunications network, allows measurements and constant data transmission to data collection and storage centers (data centers) from surface and underwater small-sized, low-consumption, autonomous equipment.

On the basis of these stations, it will be possible to create networks of research and monitoring stations that include measuring instruments, underwater remote-controlled devices and robots connected by an underwater cable or surface buoys with satellite communications. Such cables (and/or buoys) will be connected to the Internet and will allow you to receive real-time information from all stations and manage them. These stations will gradually replace episodic research conducted from ships, making them cheaper and permanent in time.

ТНПА ГНОМ-Стандарт принадлежат к классу сверхлегких ROV – remote operated vehicle (рис.1). Он предназначен для проведения подводных поисково-осмотровых и обследовательских работ в прибрежных морских и внутренних водах, а так же инспекций гидротехнических сооружений



Рис. 1. ТНПА ГНОМ-Стандарт

Основным функциональным назначением ПТОК является получение оператором видеоизображения объектов находящихся в толще или на поверхности воды посредством передвижения телеуправляемого подводного аппарата оснащенного видеокамерой.

Перемещения и управление режимами работы телеуправляемого подводного аппарата, находящегося под водой, осуществляются по командам с надводного блока управления.

Основными областями применения являются: инспекция подводных частей судов, поисково-спасательные работы, рыбные хозяйства, атомные электростанции, нефтегазовая индустрия добывающая отрасль.

Базовый комплекс состоит из подводного модуля кабель-связки и надводной береговой станции. Подводный модуль выполнен в виде герметичных прочных корпусов. Внутри переднего цилиндра расположена бескорпусная цветная видеокамера на основе ССД матрицы 1/3” и плата компаса. Внизу аппарат имеют защитные полозья.

Аппарат связан с береговой станцией коаксиальным кабелем, по которому подается электропитание (180В), команды управления, данные с датчиков и видеосигнал. Пульт управления размещен в отдельном корпусе (или чемодане) и состоит из блока питания, блока электроники, джойстика. Предусмотрена возможность установки плоского LCD видеомонитора 8-15".

Для подключения к устройству записи/воспроизведения, например, видеорекордеру, есть стандартный видеокабель с разъемом USB или RCA (“Тюльпан”). Также предусмотрена возможность подключения компьютера по USB или Ethernet интерфейсу.

Разновидности комплектации ТНПА представлены в таблице 1.

+ - входит в стандартную комплектацию ТНПА

o - устанавливается дополнительно

Таблица 1

ТНПА	 <p>GNOM Стандарт</p>	 <p>Супер GNOM</p>
Береговая станция	 <p>Береговая станция</p>	 <p>Береговая станция + ЖК дисплей</p>
Кабель-связка	 <p>70м, диаметр 4 мм с кевларовым упрочнением</p>	 <p>100м, диаметр 4 мм с кевларовым упрочнением</p>
Состав аппарата	<p>Телеуправляемый подводный аппарат, катушка с кабелем–связкой, береговая станция, пульт управления, комплект соединительных кабелей, комплект ЗИП, руководство по</p>	

	эксплуатации	
Сервопривод наклона видеокамеры	О	+
Дополнительные осветители	О	+
Дополнительная видеокамера	О	+
Защитная полипропиленовая рама	О	+
Датчик глубины	+	+
Компас	+	+
Дополнительное оборудование	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Гидроакустическая навигационная система</li> <li>• Гидролокатор кругового обзора</li> <li>• Пневматическое подводное ружьё</li> <li>• Дополнительная видеокамера со встроенными осветителями</li> <li>• Манипулятор-захват</li> <li>• Кабель-связка: диаметр 4 мм, коаксил</li> <li>• Компьютер</li> </ul>	

### Конструктивные характеристики и параметры

**Масса комплекта оборудования не более: Стандарт 25 кг без упаковки, 30 кг в упаковке. Супер ГНОМ 35 кг в упаковке и 30 кг без упаковки.**

Мощность, потребляемая от источника электропитания зависит от выполняемых функций и не превышает: ГНОМ Стандарт-300 Вт, Супер ГНОМ-600Вт.

### Основные технические характеристики ТНПА (Таблица 2)

Число движителей	4(6)
Ресурс работы (данные производителя)	1000 час
Скорость	
- горизонтальное движение	до 1,5 м/с
- вертикальное движение	до 0,5м/с
Рабочая глубина	150м
Предельно допустимая	150м



глубина	
Длина кабеля	до 300 метров
Тип кабеля	радиочастотный РК50, специально упрочненный кевларом в герметичной полиэтиленовой оболочке
Плавуемость кабеля	нейтральная
Диаметр кабеля	3.5 мм
Усилие на разрыв	100 кг -первичные функциональные повреждения наступают при усиллии больше 30кг
Осветители	светодиоды белого свечения
Видеокамера	PAL CCD, 0.1 лк, 700твл
Блок питания и управления	220В 50Гц
Конструктивное исполнение	переносное, в специальных чемоданах
Вес подводного аппарата ГНОМ	3.5...6 кг
Полный вес системы	15-30кг
Датчик глубины	точность 10-20см, режим поддержания заданной глубины
Курсоуказатель	компас, точность 10-20см, режим автоматического поддержания заданного курса

ГНОМ имеет небольшую положительную плавуемость за счет пенопластового поплавка и возможность ее изменения оператором вручную путем установки свинцовых грузиков.

Дополнительное оборудование:

- манипулятор (рис 3). Может захватывать и поднимать небольшие предметы. Имеется несколько разных типов, в т.ч. двухлапый, трехлапый, с поворотной головкой, также несколько типов самих лап. На его основе также сделан роботоотборник;



Рис. 2. Манипулятор

- гидроакустические приборы. Гидролокатор кругового обзора и навигационная система.

Гидролокатор предназначен для обнаружения объектов на расстояниях от 5 до 100м, наиболее подходящая модель – MicroN фирмы Tritech (Англия) или Echologer той фирмы (Корея) с таким же названием;

- навигационная система MicroNaV той же фирмы обеспечивает измерение расстояния (наклонная дальность) до объекта;
- дополнительная видеокамера в прочном корпусе. Она записывает высококачественное видео в собственную память.



Рис. 4 Дополнительная видеокамера размещена в специальном прочном корпусе.

Работа выполнена в рамках Госзадания FMWE-2021-0010

УДК 551.465.062.5

## **ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ «ГНОМ» (ТНПА ГНОМ, модель СуперГНОМ ПРО)**

**Розман Б.Я., Елкин А.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, г. Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)129-20-45,  
[borisdrug@mail.ru](mailto:borisdrug@mail.ru)*

**UNDERWATER REMOTELY OPERATED  
VEHICLE FOR INSPECTIONS  
(microROV “GNOM”)**

*Rozman B.Y., Elkin A.V.*

*Shirshov Institute of Oceanology. Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovsky prosp., Moscow, 117997? Russia*

ТНПА предназначен для проведения подводных осмотровых и обследовательских работ в прибрежных морских и внутренних водах, а также при осмотре внутренних полостей водонаполненных резервуаров и гидротехнических сооружений. Основным функциональным назначением ТНПА является получение оператором видеоизображения объектов, находящихся в толще или на поверхности воды, посредством перемещения телеуправляемого подводного аппарата, оснащенного видеокамерой. Перемещения и управление режимами работы телеуправляемого подводного аппарата, находящегося под водой, осуществляются по командам с надводного блока управления.

ТНПА is designed for underwater inspection and survey work in coastal marine and inland waters, as well as for inspection of the internal cavities of water-filled reservoirs and hydraulic structures. The main functional purpose of the TPA is for the operator to obtain a video image of objects located in the thickness or on the surface of the water by moving a remote-controlled underwater vehicle equipped with a video camera. Movements and control of the operating modes of a remote-controlled underwater vehicle located under water are carried out by commands from the surface control unit

В состав комплекта аппарата входят следующие модули: телеуправляемый необитаемый подводный аппарат; блок связи/управления; пульт управления; катушка с кабель – связкой; комплект кабелей; пульт управления; запасные части, инструменты и принадлежности.

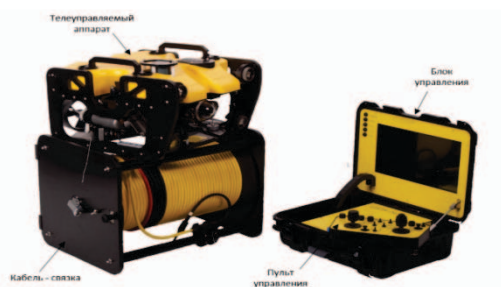


Рис. 1. Состав системы СуперГНОМ ПРО.

ТНПА связан с БС кабелем, по которому подается электропитание (360В постоянного тока), команды управления, данные с датчиков и видеосигнал.

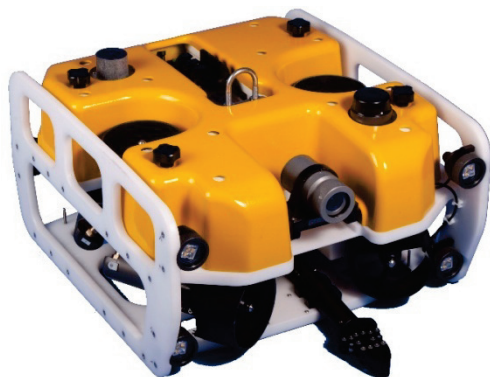


Рис. 2. Телеуправляемый подводный аппарат (подводный модуль)

В состав аппарата входят:

1	Защитная рама с блоком плавучести	
2	Датчик глубины	
3	Бесплатформенная система ориентации	
4	Двигатели:	горизонтальные - 4шт вертикальные - 2шт.
5	Видеокамера FullHD:	- передняя; - задняя;
6	Сервопривод наклона видеокамер (2 шт.)	
7	Осветители:	- передние; - задние; - камеры переднего вида; - камеры заднего вида;

Управление движением аппарата, видеокамерами, осветителями, лазерными указателями производится при помощи пульта управления.

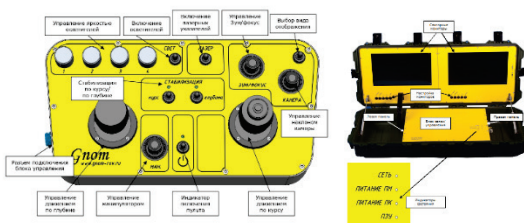


Рис. 3. Пульт управления. Блок связи/управления.

Блок связи предназначен для управления аппаратом, а также отображения данных, полученных аппаратом.

Отображение и запись данных с камер аппарата, информации о курсе и глубине аппарата, состоянии осветителей, движителей выводится на сенсорный монитор блока управления при помощи программы GNOM ROV CONTROL.

Отображение и запись данных с камер аппарата, информации о курсе и глубине аппарата, состоянии осветителей, движителей выводится на сенсорный монитор блока управления при помощи программы GNOM ROV CONTROL.

Запуск программы выполняется с экрана сенсорного монитора блока управления.

На экране GNOM ROV CONTROL представлены области для отображения вида с камер аппарата: центральная и угловая область. Смена вида камеры выполняется при помощи пульта управления.

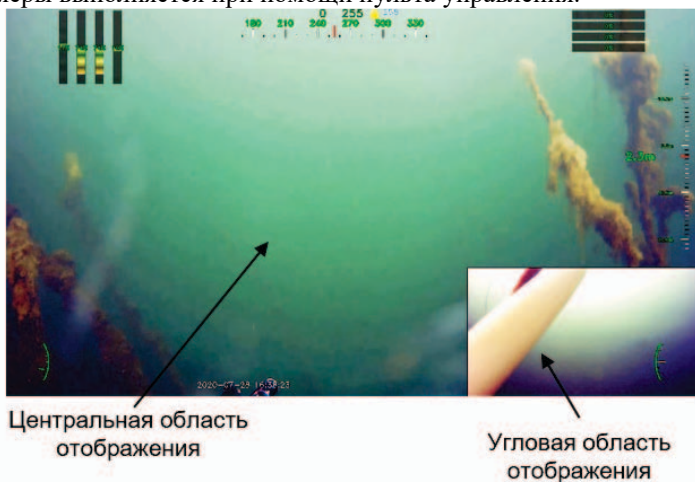


Рис. 4. Стоп-кадр с фронтальной камеры аппарата.

Катушка с кабель – связкой.

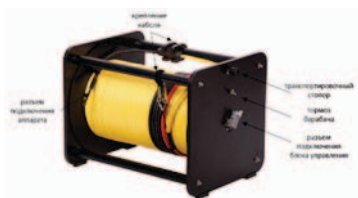


Рис.5. Кабель-связка

Кабель связка, состоит из катушки и кабеля на ней. На катушке расположен разъем для подключения блока управления аппарата. На свободном конце кабеля расположен разъем подключения аппарата. На правой стороне катушки расположена ручка сматывания кабеля.

#### Основные технические характеристики ТНПА

Параметр	Значение
Габариты аппарата (Д x Ш x В), мм	600x550x350
Масса аппарата, кг	35
Габариты блока управления (Д x Ш x В), мм	980x400x200
Масса блока управления, кг	15
Габариты катушки (длина x ширина x высота), мм	740x450x460
Масса катушки, кг	35
Балластный груз, г	8 x 40
Рабочая глубина, м	300
Скорость горизонтального движения	до 3 узлов
Скорость вертикального движения	до 1 узла
Число движителей	6
Курсоуказатель	точность $\pm 10^\circ$
Датчик глубины	точность $\pm 20$ см
Яркость осветителей	индивидуальная регулировка яркости
Разрешение камеры	1920x1080 @ 30fps
Угол обзора камеры (горизонтальный)	$70^\circ$
Угол наклона камеры	$\pm 60^\circ$
Манипулятор	Двухстепенной

Вращение манипулятора	360°
Усилие схвата манипулятора	4 кг
Длина кабеля	до 400м
Диаметр кабеля	10 -12 мм
Рабочее усилие кабеля	120 кг
Усилие кабеля на разрыв	400 кг
Тип кабеля	Многожильный
Плаучесть кабеля	нейтральная
Питание	230В 50Гц, 2000Вт

УДК 574.587,59.002,608.4

## ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ АНТАРКТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА «ММТ-3000»

**Галкин С.В.<sup>1</sup>, Рыбакова Е.И.<sup>1</sup>, Боровик А.И.<sup>2</sup>, Михайлов Д.Н.<sup>2</sup>,  
Коноплин А.Ю.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,*

*117997, Москва, Нахимовский проспект., д. 36 [galkin@ocean.ru](mailto:galkin@ocean.ru)*

<sup>2</sup> *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
проблем морских технологий ДВО РАН, 690091, Приморский край, город  
Владивосток, ул. Суханова, д.5*

INVESTIGATIONS OF ANTARCTIC BENTHIC COMMUNITIES USING  
THE AUTONOMOUS UNINHABITED UNDERWATER VEHICLE *ММТ-*  
*3000*

**Galkin S.V.<sup>1</sup>, Rybakova E. I.<sup>1</sup> Borovik A.I.<sup>2</sup>, Mikhailov D.N.<sup>2</sup>, A. Yu.  
Konoplin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36,*

*Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia*

[galkin@ocean.ru](mailto:galkin@ocean.ru)

<sup>2</sup> *Institute for Marine Technology Problems, Far Eastern Branch of Russian  
Academy of Sciences, 5, Sukhanova, Vladivostok, 690091, Russia*

В статье представлены результаты исследований донной фауны Антарктики, проведенные с использованием автономного

необитаемого подводного аппарата (АНПА) «ММТ-3000» в ходе 79 рейса нис «Академик Мстислав Келдыш».

The article presents the results of studies of the Antarctic bottom fauna conducted using the autonomous uninhabited underwater vehicle (AUV) *ММТ-3000* during the 79th cruise of RV *Akademik Mstislav Keldysh*.

В настоящее время отечественными и зарубежными исследователями накоплен большой опыт эффективного использования подводных аппаратов различного типа для исследования глубин Мирового океана. Экстремальные условия Антарктических морей, характеризующиеся большими глубинами, сильными течениями, сложным рельефом донной поверхности, дрейфующими айсбергами и ледовым покрытием, затрудняют использование телеуправляемых обитаемых подводных аппаратов (ТНПА). В этих условиях автономные необитаемые аппараты, не требующие многочисленного обслуживающего персонала, и использования габаритных лебедок, имеют явные преимущества. Вместе с тем, методология и методика применения таких средств для бентосных исследований еще далеко не отработана.

Для экологических исследований в экспедиции в Атлантическом секторе Антарктики на НИС “Академик Мстислав Келдыш” (рейс 79) в 2020 году была предложена методика совместного использования АНПА “ММТ-3000” и траления тралом Сигсби для описания видового разнообразия и количественных характеристик донной фауны.

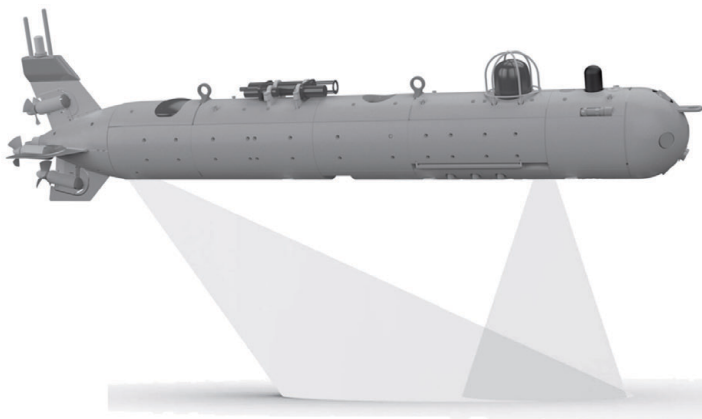


Рис. 1. АНПА “ММТ-3000”, взаимное расположение цифровой фотокамеры и импульсного светильника.



Для выполнения глубоководных осмотровых работ в экспедиции использовался АНПА “ММТ-3000”(рис. 1) , разработанный и изготовленный в Институте проблем морских технологий (ИПМТ ДВО РАН) [1]. Этот аппарат способен автономно работать до 20 часов на глубинах до 3000 м. АНПА “ММТ-3000” оборудован цифровой фотосистемой, которая обеспечивает получение, сжатие и накопление цветных цифровых фотоизображений с высоты 1–3 м от дна при скорости движения АНПА до 1 м/с. Разрешение итогового изображения позволяет обнаружить и идентифицировать объекты с минимальными размерами 10–20 мм.

Фотопрофилирование было проведено на глубине 550–553 м на склоне восточной части Антарктического полуострова на комплексной станции с координатами 61.4325° ю.ш., 52.2258° з.д. Всего для биологического анализа использованы 334 фотографии. На каждой из них производился подсчет бентосных беспозвоночных животных эпифауны с помощью программы ImageJ. Организмы определялись до макротаксонов различного систематического ранга, определить до которого было возможно по фотографиям.

В координатах фототрансекты было проведено траление с помощью трала Сигсби (ст. 6599). Результаты первичной обработки траловых проб приведены в статье Галкина и др. [2]. Нами было проведено сравнение данных по составу и структуре донных сообществ, полученных при анализе фотографий и тралового улова (Рис.2).

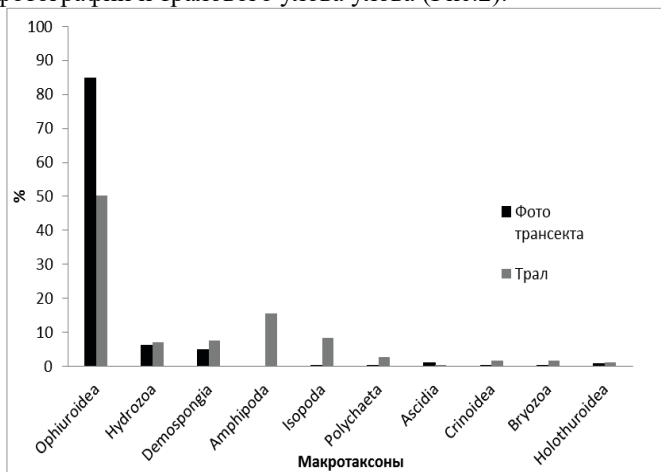


Рис.2. Доли от общей численности представителей макротаксонов по данным фототрансекты и тралового улова.

В целом, данные по донным сообществам, полученные обоими методами, хорошо соотносятся друг с другом на уровне макротаксонов. Отличия в основном связаны с тем, что в траловые сборы попадали, в том числе, животные инфауны, а также мелкие и подвижные организмы, не видимые или плохо различимые на фотографиях. Таким образом, для оценки количественных соотношений животных в данном сообществе с относительно невысокой плотностью эпифауны (102 экз./м<sup>2</sup>) на субстрате, представленном промытым щебнем и галькой разного размера, пригодны как метод траления, так и метод анализа фотографий. При этом совместное использование обоих методов значительно увеличивает объективность данных, т.к. метод траления позволяет проводить более точные определения фауны и собирать большее количество жизненных форм животных, а метод анализа фотографий позволяет для ряда видов более точно описывать количественные характеристики распределения с определением плотности видов на единицу площади. Для получения более точных сравнений и оценки обоих методов необходимы видовые определения тралового улова.

Авторы выражают признательность капитану и экипажу 79 рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш”, а также пилотам и техникам АНПА “ММТ-3000” за высокопрофессиональную работу.

Траловые работы в рейсе, обработка траловой пробы, обработка фотографий и анализ биологического материала выполнены Е.И. Рыбаковой и С.В. Галкиным в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2022-0001). Доработка программно-аппаратной части АНПА “ММТ-3000” и экспедиционное применение аппарата выполнены Боровиком А.И., Михайловым Д.Н. и Кноплыным А.Ю. в рамках госзадания ИПМТ ДВО РАН (тема № FWFG-2022-0003).

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Горнак В.Е., Икзарцев А.В., Львов О.Ю. и др. ММТ-3000 – новый малогабаритный автономный необитаемый подводный аппарат Института проблем морских технологий ДВО РАН // Подводные исследования и робототехника. 2007. № 1 (3). С. 12–20.
2. Галкин С.В., Минин К.В., Удалов А.А. и др. Донные сообщества бассейна Пауэлла // Океанология. 2021. Т. 61. № 2. С. 233–249.

УДК 551.46.077:004.514

## РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ АНПА

**Гамазов Н.И.**

*Московский государственный технический университет имени Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский университет)  
105005, Москва, 2-я Бауманская д.5 стр.1, 8 (499) 263-61-15,  
sm42@sm.bmstu.ru*

### THE DEVELOPMENT OF GRAPHICAL USER INTERFACE FOR TECHNOLOGICAL CONTROL PANEL OF AUV

Gamazov N.I.

Bauman Moscow State Technical University, 5/1, 2-nd Baumanskaya st.,  
Moscow, 105005

Рассматривается процедура включения в состав технологического пульта управления АНПА графической формы, использованной при отладке программного обеспечения гидролокатора бокового обзора.

The way to add a graphical form to the technological control panel of AUV is presented. This form is used to provide interface for side-view sonar program debugging.

Пульт управления автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) является технологическим, то есть подключаемым периодически для выполнения отдельных технологических операций, в отличие от стационарного, постоянно подключенного пульта управления телеуправляемого необитаемого подводного аппарата. Подключение технологического пульта АНПА производится в следующих случаях:

- при первичной и наладочной настройке параметров бортовой системы управления и аппаратуры, входящей в состав АНПА, в том числе при записи или обновлении версий прикладного ПО бортового вычислителя;
- при отработке алгоритмов и отладке программы управления движением АНПА бортовой системы управления;
- при первичной записи списка миссий в память бортового вычислителя или последующей корректировке этого списка;

- при задании миссии, то есть при выборе и конфигурировании конкретной задачи из списка миссий в памяти бортового вычислителя.

- для съема информации, сохраненной на бортовых накопителях. В зависимости от назначения АНПА его целевой функцией может являться сбор и сохранение на бортовых накопителях видео, акустической и иной информации.

Окончательной сборке и отладке программного обеспечения (ПО) всего комплекса бортовой аппаратуры АНПА предшествует разработка и отладка ПО отдельных его составляющих. Отладка ПО конкретного вида аппаратуры на начальном этапе разработки может вестись в терминальном режиме но, как правило, финальная стадия предусматривает создание графического интерфейса. Очевидно, элементы этого интерфейса – окна, графические формы и т.д. – при определенной доработке могут быть включены в состав интерфейса технологического пульта управления АНПА.

Рассмотрим процедуру включения в состав ПО технологического пульта графической формы (ГФ), которая использовалась при разработке и отладке прикладного ПО для взаимодействия с гидролокатором бокового обзора (ГБО), входящим в состав аппаратуры АНПА (рис. 1).

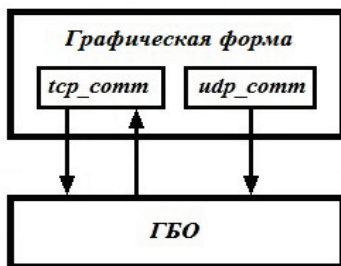


Рис. 1 Структурная схема наладки прикладного ПО гидролокатора бокового обзора

В состав ГФ входят программные компоненты – объекты соответствующих классов - `tcp_comm` и `udp_comm`, - реализующие взаимодействие с ГБО по сети Ethernet. Объект `tcp_comm`, выполняя роль клиента, по протоколу TCP/IP передает серверу – ГБО – команды для настройки параметров и управления, в ответ получает от ГБО подтверждение выполнения заданной команды, а также статус текущего состояния. Объект `udp_comm` по протоколу UDP передает в ГБО информацию, необходимую для привязки по координатам и времени снимаемых посредством ГБО данных. На этапе отладки объектов `tcp_comm`

и `udp_comm` в качестве ГБО может быть использован его программный эмулятор – программа, взаимодействующая с ГФ по сети Ethernet по таким же точно протоколам TCP/IP и UDP, как и реальный ГБО.

После завершения отладки объекты `tcp_comm` и `udp_comm` должны быть встроены в Менеджер ГБО - программный компонент системы управления АНПА, предназначенный для взаимодействия с ГБО (рис. 2).

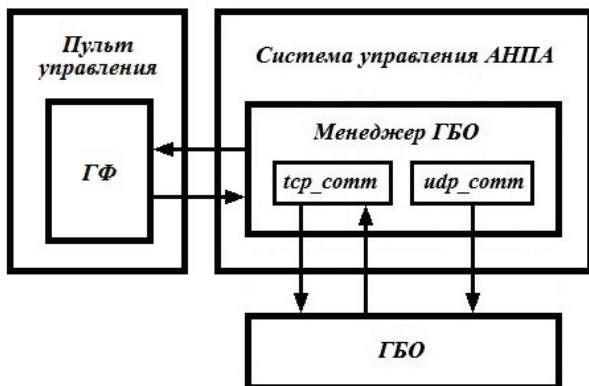
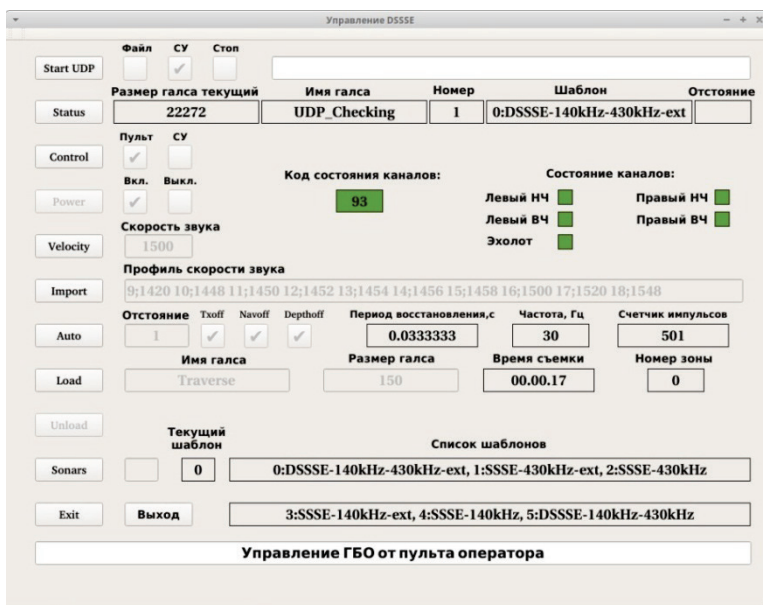


Рис. 2. Структурная схема ПО для взаимодействия с гидролокатором бокового обзора

Менеджер ГБО должен обладать интерфейсом для связи по сети Ethernet с технологическим пультом управления при его подключении. После определенной доработки ГФ, использованная на этапе отладки взаимодействия с ГБО, может быть применена в технологическом пульте управления АНПА в качестве одной из его экранных форм. Доработка ГФ включает в себя организацию канала связи по Ethernet с Менеджером ГБО для передачи с пульта управления команд и настройки параметров, предназначенных для ГБО, а также передачи значения специальной переменной – флага, предписывающего Менеджеру ГБО какие команды выполнять – пульта или бортовой системы управления АНПА. В начале работы при загрузке бортового ПО АНПА по умолчанию считается, что пульт управления не подключен, и значение этого флага предписывает Менеджеру ГБО выполнять команды системы управления. При подключении пульта ГФ передает в Ethernet-канал, предназначенный для связи пульта управления с бортом АНПА, синхронизирующую посылку, приняв которую Менеджер ГБО определяет, что пульт управления подключен. Далее с помощью кнопок ГФ оператор может изменить

значение флага, тем самым выбрав источник команд. На рисунке 3 представлен вид ГФ, когда источником команд для передачи Менеджеру ГБО является пульт управления. В этом режиме работы оператору доступны кнопки задания параметров, с которыми ГБО должен выполнить очередной сеанс съемки: скорость звука; профиль скорости звука по глубине; отстояние от дна; шаблон, определяющий, какие каналы и частоты будут задействованы в съемке; имя и размер файла (галса) в котором будут сохранены результаты съемки. Кнопки задания параметров – «залипающие» – при первом клике кнопка переходит в состояние «нажата», и становится доступным поле задания параметра, при повторном клике кнопка возвращается в состояние «отжата», заданное значение параметра передается Менеджеру ГБО и транслируется в ГБО. Кнопка «Load» при отжатии запускает режим съемки.



## ВОДОЛАЗНЫЕ СПУСКИ С НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СУДОВ

**Яхонтов Б.О.**

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

### DESCENTS OF DIVERS FROM RESEARCH VESSELS

Yakhontov B.O.

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

Рассматриваются особенности организации водолазных спусков с научно-исследовательских судов для проведения подводных океанологических исследований

The features of the organization of diving descents from research vessels for underwater oceanological research are considered

Организация водолазных погружений с борта научно-исследовательского судна (НИС) для проведения подводных океанологических исследований отличается от организации спусков с водолазных судов и других плавсредств тем, что работы под водой проводятся в основном водолазами-исследователями из числа штатных научных работников научного учреждения, имеющих профессиональную водолазную подготовку начального уровня. НИС предназначены для научной работы в различных районах Мирового океана, поэтому при планировании океанологических исследований в отдаленных акваториях с использованием водолазных методов на судне создается временная водолазная станция, которая, кроме водолазного снаряжения, должна быть оснащена рекомпрессионной барокамерой, а также специальным оборудованием для спуска (подъема) водолаза с неподходящего для этих целей борта.

При необходимости работать с НИС в условиях открытого моря требования к научному водолазу и средствам обеспечения безопасности

должны быть повышены, поскольку работы проводятся вдали от берега. Кроме того, водолаз может выполнять исследовательскую функцию, находясь не только на грунте, но и в водолазной беседке, в водолазном колоколе открытого типа или даже некоторое время на плаву. Это требует от водолаза-исследователя высокой физической и психологической подготовки, умения определенное время держаться на воде и под водой в положении зависания. В этой связи достойны внимания требования руководства Вудсхолдского Института океанографии (WHOI, США) по безопасности научных водолазов [1] и стандарта по научному дайвингу Американской академии подводных наук (AAUS) [2], которыми научному водолазу предписывается для работы в открытом море иметь: минимальную квалификацию с допуском погружений на глубину 70 футов (21м), не менее 24 спусков в течение последних 2 лет и подтверждение сертификации перед рейсом. Для сравнения: в России для водолаза начальной квалификации «водолаз» годовая норма пребывания под водой для поддержания квалификации составляет не менее 2 спусков под воду в месяц (без учета глубины) продолжительностью 30 минут каждый. Но это требование не всегда бывает выполнимо в связи с изменчивыми сезонными условиями в акваториях и по другим причинам. Поэтому начальник экспедиции (руководитель водолазных работ) и капитан НИС вправе организовать для водолазов-исследователей тренировочные спуски и это время засчитывать в обязательные годовые нормы пребывания под водой [3].

При подготовке научной экспедиции с использованием водолазных методов исследований начальник экспедиции и капитан судна должны ознакомиться с Правилами обеспечения безопасности и охраны труда водолазов. Контроль обеспечения безопасности при проведении водолазных спусков с НИС должен возлагаться на начальника экспедиции или его заместителя.

Водолазные спуски с НИС могут проводиться и с привлечением специализированных организаций на договорной основе, имеющих допуск к водолажным работам, квалифицированных водолазов и водолазную технику. При этом наёмные водолазы должны пройти методическую подготовку по проведению исследований под водой.

В связи с отсутствием возможности иметь в научной организации штатного водолазного специалиста для руководства водолажным делом в период выполнения научной программы его функции может выполнять работник другой специальности, имеющий профессиональную водолазную подготовку, а также начальник экспедиции или его заместитель, обладающий знаниями водолазного дела и назначенный приказом администрации. Они должны осуществлять общее руководство



исследованиями водолазными методами, контролировать соблюдение правил безопасности труда и правил охраны труда при научных работах на дне.

При выполнении с борта судна погружений водолазами размещенной на судне водолазной станции между капитаном НИС и руководителем водолазных работ распределяются обязанности и ответственность, которые оформляются письменно за подписью обеих сторон. Капитан отвечает за обеспечение безопасности, связанной исключительно с судном (удержание и выполнение маневров судна у места работ, контроль положения судна, готовность технических средств судна к выполнению водолазных работ и другое). Руководитель водолазных работ – за безопасную организацию и выполнение водолазных работ с судна, контролирует гидрологическую и метеорологическую обстановку в районе работ. По запросу руководителя водолазных работ капитан НИС выделяет в помощь лиц из судового персонала для обеспечения водолазных спусков [4, п. 240].

Спуски водолазов-исследователей с борта НИС должны проводиться с использованием не только сигнального конца, но и подвесной страховочной системы подъема водолаза в вертикальном положении. При водолазных спусках с НИС возможно использование водолазного трапа при высоте борта над поверхностью воды (надводного борта) у места спуска не более 2 м. При высоте борта более 2 м спуски целесообразно проводить в спусковой беседке с применением спуско-подъемного устройства или подвесной системы, а также с других плавсредств, спускаемых с НИС, с меньшей высотой борта над уровнем воды. Но НИС чаще всего не имеют штатных мест в кормовой части главной палубы для спуска (подъема) водолаза, ими оборудуются специальные водолазные и спасательные суда, поэтому при выборе способа спуска водолаза с НИС следует учитывать реальные возможности спуска и результаты оценки рисков.

Водолазные спуски могут проводиться с НИС, удерживаемых над местом проведения работ с помощью якорей или системы динамического позиционирования. Спуски с НИС, находящихся на ходу или в дрейфе в ближних акваториях, запрещены, но спуски в открытом море (в отдаленных акваториях) при благоприятной погоде допустимы, если нет хода и судно лежит в дрейфе [3].

В морских акваториях могут использоваться и маломерные плавсредства (шлюпки, лодки, катера), спускаемые с НИС, но при условии контроля их работы с судна, нахождения в зоне видимости и при благоприятных погодных условиях, а также при волнении моря не более 2 баллов и при работе водолазов на глубинах до 20 метров.

Водолазная станция, расположенная на судне, с которого осуществляются спуски под воду на глубину свыше 12 м, должна быть укомплектована рекомпрессионной барокамерой, готовой к немедленному использованию. При отсутствии барокамеры водолазные спуски с НИС в дальних рейсах не должны планироваться. При работе в акваториях внутренних морей России водолазные работы в отсутствие на месте барокамеры допустимы, если имеется возможность транспортировки водолаза на берег для проведения лечебной рекомпрессии в медицинскую или другую организацию, имеющую готовую к работе барокамеру. При этом руководители водолазных работ и водолазных спусков должны знать точный адрес, телефон и маршруты следования к действующей, находящейся в готовности барокамере, и иметь письменный договор с владельцем барокамеры на проведение лечебной рекомпрессии пострадавшего водолаза. Такие же условия желательно сохранять и при погружениях на глубины до 12 м, учитывая риски, связанные с невысокой квалификацией водолазов-исследователей. В любом случае время транспортировки пострадавшего водолаза с НИС к барокамере не должно превышать 1 часа [3]. Если расчетное время транспортировки может быть превышено, следует предусмотреть эвакуацию водолаза с использованием транспортировочной (переносной) барокамеры.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0010)*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Diving safety manual. Revision 3.2-2018 // Woods hole oceanographic institution, USA, 2018. – 126 pp.
2. Standards for scientific diving. The American Academy of Underwater Sciences (AAUS). Revised 5. – AAUS. 101 Bienville Blvd Dauphin Island, AL 36528, 2013. – 85 pp.
3. Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Часть 1. Правила водолазной службы. РД 31.84.01–90. М.: Моркнига, 2022. 304 с.
4. Правила по охране труда при проведении водолазных работ. М.: Моркнига, 2022. – 232с.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДОЛАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

**Яхонтов Б.О.**

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

### ORGANIZATION OF OCEANOLOGICAL RESEARCH DIVING METHODS

Yakhontov B.O.

*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovskii prospect, Moscow, 117997*

Обсуждается специфика и принципы организации океанологических исследований с использованием водолазных методов

The specifics and principles of the organization of oceanological research using diving methods are discussed

Система организации водолазных погружений при подводных океанологических исследованиях базируется исключительно на принципах обеспечения безопасности водолазов-исследователей и эффективности исследований с использованием водолазных методов.

Под определением «водолаз-исследователь», или «научный водолаз», подразумевается рабочая функция водолаза - проведение океанологических исследований *in situ*. Это штатный научный работник (ученый), имеющий профессиональную водолазную подготовку и минимум начальную квалификацию «водолаз», что дает ему право проведения научных исследований под водой. Поэтому его задачи при работе на доступных глубинах должны быть ограничены научным наблюдением, экспериментом с применением донных приборов, сбором проб воды, грунта и других материалов, анализом обстановки под водой для личного контроля безопасности [1]. Другие задачи, не относящиеся к научным, при работе на различных глубинах должны решаться профессиональными водолазами соответствующей квалификации и специализации. Но

коммерческий водолаз любого уровня квалификации работать под водой эпизодически, по мере необходимости выполнения научной программы, что характерно для океанологических исследований, не будет в основном по финансовым причинам, зависящим от количества отработанных под водой часов. Кроме того, он не владеет методами подводных океанологических исследований и не обладает знаниями конкретного изучаемого научного направления. Однако его эпизодическая работа в качестве исследователя в сложных подводных условиях не исключается на договорной основе и после предварительной научно-методической подготовки. Вместе с тем проведение океанологических исследований под водой научными водолазами при обеспечении их безопасности является научно и экономически оправданным и эффективным в диапазоне малых (до 12 м) и частично (до 30 м) средних глубин [1]. Конечно, при использовании для спусков дыхательных аппаратов с замкнутым циклом дыхания (CCR) газовыми смесями метод кратковременных погружений в автономном режиме может использоваться и для глубоководных спусков (более 60 м) [2], но для океанологических исследований на больших глубинах его эффективность ограничивается длительностью декомпрессии в воде. При подводных исследованиях в пределах средних глубин с участием водолазов-исследователей приемлемы технологии погружений с использованием автономных дыхательных аппаратов с открытым циклом дыхания (OCR) сжатым воздухом и газовыми смесями, а также аппаратов с замкнутым циклом дыхания газовыми смесями типа «ребризер». Такое водолазное снаряжение удовлетворяет требованиям к обеспечению научных работ под водой при океанологических исследованиях.

Безопасность водолазов при организации и проведении спусков в научных целях обеспечивается использованием рациональных принципов и методов погружений, а также требований руководящей документации по безопасности водолазов при работах под водой [3].

Учитывая, что подводные научные работы водолаза-исследователя не относятся к тяжёлым и сложным работам и фактически являются эпизодическими, потому что проводятся в основном в экспедиционных условиях, требования к его профессиональному уровню в соответствии с профессиональным стандартом [4] ограничиваются 4-м, начальным, уровнем квалификации. При этом он согласно стандарту должен обладать знаниями изучаемых морских дисциплин, иметь навыки пользования определенными типами водолазного снаряжения, владения методиками подводных исследований с применением специальных приборов, инструментов и устройств.

Эпизодичность (нерегулярность) погружений водолазов-исследователей определяет организационную основу водолазных спусков,

которая заключается в создании временной водолазной станции на период проведения водолазных исследовательских работ в рамках выполнения научной программы.

Сравнительно невысокая квалификация и небольшой опыт работы под водой водолазов-исследователей из числа научных работников требуют повышенного внимания к организации всего процесса от спуска до выхода на поверхность. Погружения в научных целях следует проводить в нормальных (благоприятных) гидрологических и метеорологических условиях и с учетом результатов оценки рисков.

Практика и сравнительный анализ эффективности подводных исследований на различных глубинах показали, что глубину спусков водолазов-исследователей целесообразно ограничить 30 метрами, так как примерно на этой глубине начинается нежелательное развитие азотного наркоза при дыхании сжатым воздухом. Но наиболее приемлемой глубиной для организации относительно безопасных погружений и по ряду других причин является диапазон глубин до 20 м, так как в условиях острого дефицита квалифицированных водолазов комплектовать водолазную станцию для работы на таких глубинах допустимо полностью водолазами (в том числе руководитель водолазных спусков), имеющими начальную квалификацию «водолаз» (водолаз-исследователь).

Все спуски водолазов-исследователей, должны проводиться с напарником, который в данном случае является страхующим водолазом, и предпочтительно по бездекомпрессионным режимам [1]. Последнее может быть реализовано при дыхании сжатым воздухом и кислородно-азотной смесью в течение соответственно 20 и 45 минут на глубине 30 м, что достаточно для проведения основных видов работ при океанологических исследованиях на грунте. На меньших глубинах время научной работы водолаза под водой закономерно возрастает при сохранении бездекомпрессионного режима погружения.

Если используется «смесевой» дыхательный аппарат с замкнутым циклом дыхания типа «ребризер», спуски научных водолазов в целях повышения их безопасности следует проводить без смены дыхательной газовой смеси под водой, поскольку для этого нужны навыки и опыт управления функциями аппарата.

В системе организации безопасных погружений водолаза для выполнения научных работ под водой необходим и контроль их состояния, несмотря на присутствие вблизи страхующего водолаза. Такой контроль может осуществляться с обеспечивающего спуск судна или маломерного плавсредства путем голосовой связи с водолазом по кабельным линиям или гидроакустическому каналу, видеоконтроля, регистрации у водолаза

физиологических параметров (частоты дыхания или пульса) с передачей сигнала на поверхность.

Таким образом, принципы организации и проведения водолазных погружений при океанологических исследованиях, к которым относятся в первую очередь безопасность научного водолаза и эффективность подводных исследований, являются главными.

Безопасность научного водолаза должна обеспечиваться системой мер защиты, базирующейся не только на специфических условиях исследовательской работы под водой, но и на общепринятых принципах и мерах обеспечения безопасности и охраны труда водолазов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0010)*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Яхонтов Б.О. Биофизические аспекты безопасности водолазов при океанологических исследованиях // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2022. – №5. – С. 11–16.
2. Черкашин С. В. Методики профессиональных водолазных спусков в автономном режиме // Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2013): материалы XIII Международной научно-технической конференции. Москва: АПР, 2013. – Т.2. – С. – 262–265.
3. Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Часть 1. Правила водолазной службы. РД 31.84.01–90. М.: Моркнига, 2022. 304 с.
4. Профессиональный стандарт. Водолаз. // Утв. Приказом Минтруда РФ 31.10. 2017. №765н. Рег.№1095. [Электронный ресурс].URL: docs.cntd.ru (дата обращения: 01.11.2022).

## СОЗДАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ РАЗРАБОТОК И НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОМПЛЕКСА ДОННЫХ СТАНЦИЙ

Лискин В.А.<sup>1</sup>, Римский-Корсаков Н.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, г. Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01, [resty@mail.ru](mailto:resty@mail.ru)*

<sup>2</sup>*Московский Государственный Технический Университет им.  
Н.Э.Баумана, Москва 105005, Россия,  
E-mail: [nrk@ocean.ru](mailto:nrk@ocean.ru) (mailto: [nrk@ocean.ru](mailto:nrk@ocean.ru))*

### CREATION OF A SCIENTIFIC AND TECHNICAL BASIS FOR DEVELOPMENT AND FIELD TESTING OF THE COMPLEX OF BOTTOM STATIONS

Liskin V.A.<sup>1</sup>, Rinsky-Korsakov N.A.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Oceanology, P.P. Shirshov RAS,  
36 Nakhimovsky prosp., Moscow, 117997, Russia. [resty@mail.ru](mailto:resty@mail.ru)*  
<sup>2</sup>*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia E-  
mail: [nrk@ocean.ru](mailto:nrk@ocean.ru) (mailto: [nrk@ocean.ru](mailto:nrk@ocean.ru))*

Основной задачей исследований являлось создание научно-технической базы по разработке, созданию и натурным испытаниям комплекса придонных станций нового поколения, для этого проведен анализ, обоснование и выбор конструктивных и функциональных схем комплекса станций.

The main task of the research was to create a scientific and technical base for the development, creation and full-scale testing of a complex of near-bottom stations of a new generation; for this, an analysis, justification and selection of structural and functional schemes of the station complex was carried out.

В настоящее время измерения гидрологических (океанологических), гидрофизических и гидрохимических параметров в толще воды морей и океанов, а также процессов химического массообмена на поверхности раздела «вода-дно» выполняются различными типами придонных комплексов, которые, как правило, принципиально не могут совмещаться.

В процессе проводимых в Институте океанологии РАН исследований предложено совместить несколько типов станций в едином комплексе. При этом такие станции предлагается выполнить из трех совместимых, но самостоятельных изделий:

- блока исследования гидрологических (скорость и направление течения и др.) данных;
- гидрохимического блока для измерения параметров химического массо-обмена на поверхности раздела «вода-дно», с соответствующими специфическими устройствами и датчиками;
- блока измерения гидрофизических параметров в толще воды и в придонном слое.

**В процессе исследований создания комплекса, выполнен анализ достоинств и недостатков существующих автономных станций и обоснованы требования как к конструкции, так и функционированию комплекса станций. Основными требованиями являются:**

- высокая надежность работы, постановки и подъема комплекса донных станций;
- максимально возможная простота изготовления, калибровки, подготовки к постановке, проведения постановки, съема информации и подъема комплекса;
- минимально возможные размеры и вес;
- минимально возможная стоимость изготовления и эксплуатации;
- удовлетворение международным требованиям по точности измеряемых параметров.

Высокая надежность работы и гибкость перестройки состава и структуры комплекса станций, определяется модульным принципом построения и использованием микрокомпьютерных технологий с цифровыми твердотельными накопителями информации. Качество постановки и функционирования комплекса в основном связано с наличием гидроакустического канала считывания данных, что позволит дистанционно оценивать качество постановки и функционирования. Надежность всплытия комплекса предполагается обеспечить тройным дублированием размыкающей системы (гидроакустический канал связи, гидроакустический канал размыкателя и таймер) и двойным дублированием исполнительного механизма размыкания.

Функциональная простота компоновки и калибровки каналов измерения обеспечивается их исполнением в виде отдельных измерительных модулей с цифровым выходом, объединенных общей шиной данных. Физически общая шина располагается в центральном модуле-коллекторе. Измерительная часть помещена в цилиндрические легкоъемные модули-корпуса, которые стыкуются с коллектором и



устанавливаются на каркасе станции. Коллектор имеет до 8 стыковочных узлов. Съём измеренных и частично обработанных данных осуществляется по гидроакустическому каналу. Оптимальные весогабаритные показатели комплекса обеспечиваются его конструктивными особенностями, связанными с современными материалами корпуса и плавучестей, а также возможностью оснащения комплекса перед его постановкой, только необходимыми измерительными блоками. Размер корпуса и размещение на нем плавучестей выбираются так, чтобы обеспечить вертикальное нахождение комплекса в поверхностном слое, что необходимо для работы радио и светового маяка при состоянии волнения моря до 3-х баллов включительно. Предусматривается использование отечественных измерительных датчиков океанологических параметров, чувствительные элементы которых располагаются на одном уровне на корпусе комплекса, чтобы измеренные значения соответствовали методикам анализа и обработки не только синоптической и мезомасштабной, но и мелкомасштабной структуры водных масс. К основным измерительным блокам станции, следует отнести три блока: гидрохимический, гидрофизический и гидрохиноновый, а также вспомогательные подсистемы.

Гидрохимический блок, включает:

- несущую металлическую раму с установленными на ней камерами (боксами), опускаемую с судна на морское дно на тросе или в свободном падении (тонкая балансировка механической конструкции, возможен парашют);
- края боксов погружаются в донные отложения, верхняя часть боксов снабжена крышкой, закрывающейся после постановки на дне;
- моторы для перемешивания воды в боксах, имитирующие придонную гидродинамику;
- блок шприцев для отбора проб придонной воды из боксов (в дальнейшем планируется электромеханическая система отбора).

Гидрофизический блок:

- включает измерители температуры, солености, гидростатического давления, также, систему электрохимических датчиков гидрофизического блока, в т.ч.  $O_2$ , величины рН и возможно других компонентов солевого состава.

Гидрохиноновый блок:

- это система, позволяющая корректировать разницу в гидродинамике внутри боксов в соответствии с наружной гидродинамикой.

Вспомогательные подсистемы:

- подсистемы измерения, считывания и передачи электрических сигналов с датчиков в блок накопления информации;

- подсистемы программного и операционного обеспечения работы отдельных систем станции, включая работу моторов, шприцев и т.д.;

- подсистема акустического обеспечения работы станции, включая передачу цифровой информации на борт судна, работу размыкателей и т.д.

В результате проведенных исследований и разработок были обоснованы и выбраны функциональные схемы микрокомпьютерной системы управления океанологическими датчиками, а также системы накопления данных гидрофизического блока. Проведена разработка функциональных и принципиальных схем базового измерительного модуля, на основе микро-потребляющих процессоров, в том числе устройства измерения аналоговых параметров. Выполнена разработка функциональной схемы акустического измерителя скорости и направления течения. Разработан вариант системы цифровой гидроакустической связи с автономными приборами. Выполненные исследования позволили создать научно-техническую базу для дальнейших разработок и совершенствования комплекса донных станций.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема FMWE-2021-0010)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шрейдер Ал.А. Высокоразрешающая геоакустическая система для геолого-археологического изучения дна / Ал.А. Шрейдер, А.А. Шрейдер, М.С. Клюев, Е.И. Евсенко // Процессы в Геосредах. - 2016. - № 2. - С. 156–161.
2. Левченко Д.Г. Особенности конструирования широкополосных кабельных донных сейсмостанций для мониторинга нефтегазовых месторождений / Д.Г. Левченко, Л.И. Лобковский, Д.А. Ильинский, К.А. Рогинский // Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции «МСОИ-2017»: «Современные методы и средства океанологических исследований». Москва. - 2017. - Т.1. - С. 223-227.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ РАБОТЫ С БНПА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА.

**Муравья В.О., Анисимов И.М., Лесин А.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, [Muravya.vo@ocean.ru](mailto:Muravya.vo@ocean.ru)*

### STUDY OF TOWED UNMANNED SUBMERSIBLE (TUMS) OPERATION FOR HIGH QUALITY IMAGES.

Muravya V.O.<sup>1</sup>, Anisimov I.M.<sup>1</sup>, Lesin A.V.<sup>1</sup>

*Shirshov Institute of Oceanology, RAS,  
36, Nakhimovsky prosp., Moscow, 117997, Russia, Tel.: 8(499)1246149*

Подводные съёмки, проводимые при помощи необитаемых подводных аппаратов, широко известны в научном сообществе, благодаря возможности получения труднодоступного материала. В докладе рассмотрена поэтапная работа по получению подводных изображений для достижения наилучших результатов.

Underwater surveys carried out with the help of uninhabited underwater vehicles are widely known in the scientific community due to the acquisition of hard-to-reach material. The report discusses the step-by-step work on obtaining underwater images to achieve the best results.

В Мировой практике за годы научных исследований и решения различных прикладных задач был накоплен опыт, как методологический, так и практический, по созданию и использованию подводных аппаратов. Подводная среда считается труднодоступной, именно поэтому системы, технологии и многофункциональные комплексы постоянно совершенствуются. На данный момент, наиболее актуальными задачами являются [1]:

- широкомасштабные долговременные наблюдения и мониторинг морских акваторий, рельефа дна, геологических образований, биологических объектов и гидрофизических полей;

- поиск, обнаружение и идентификация технических и природных объектов на морском дне.

Первый пункт включает в себя биологические исследования. Классические методы отбора проб имеют мозаичный анализ и дают малую долю в выявлении распределения организмов по топографии дна. Использование буксируемых необитаемых подводных аппаратов (БНПА) позволяет в той или иной мере восполнить этот пробел и соотнести количественные и качественные биологические данные с физико-географическими особенностями изучаемого района. Отсутствие двигателей и подвижных механизмов исключают отпугивание. БНПА способны снимать продолжительные трансекты дна, которые позволяют определить, измерить и посчитать плотность большого количества мега- и макрофауны, обитающей на поверхности дна.

Второй пункт относится к экологическим исследованиям и связан с присутствием на дне захоронений радиоактивных отходов (РАО) [2]. На протяжении последних 20 лет, практически ежегодно, Институт Океанологии им. П. П. Ширшова РАН совместно с коллегами из МЧС России и Курчатовского института проводят комплексные экспедиции к местам захоронения РАО в Карском море. В период поисковых экспедиций было обнаружено, что зачастую координаты мест затоплений, приводимые в архивных документах, не соответствуют их реальному положению [3]. В связи с этим появилась задача поиска и идентификации затопленных объектов и определение их точного местоположения с использованием гидролокационной аппаратуры и телевизионных систем в составе буксируемых аппаратов.

Работы, связанные с обследованием подводных потенциально опасных объектов (ППОО), требуют особого режима функционирования БНПА, такого как более тщательное позиционирование судна-носителя при буксировке БНПА, чтобы обеспечить попадание объекта в зону действия систем наблюдения в составе аппарата [4]. Основной задачей при этом является получение как можно более четкого и репрезентативного изображения исследуемого объекта – как гидролокационного, так и фото- и видеоизображения. Работа БНПА при обследовании ППОО делится на два этапа: уточнение координат местоположения ППОО и непосредственно визуальный осмотр.

Уточнение координат ППОО не является обязательным этапом, однако в ряде случаев он необходим: например, если объект был обнаружен методом площадной акустической съемки морского дна с помощью низкочастотного буксируемого ГБО и ранее не обследован. Например, при обследовании реакторного отсека (РО) атомной подводной лодки (АПЛ) К-19, затопленного на глубине 47 м на входе в залив Абросимова, Новая Земля, уточнение координат не потребовалось, т.к. изначальное местоположение объекта было зафиксировано достаточно

точно. Гидролокационные изображения, полученные в совместной экспедиции МЧС и ИО РАН на НИС «Профессор Штокман» в 2004 году, по которым была получена первоначальная точка местоположения, не позволяли сделать вывод о том, что это за объект. В дальнейшем объект был идентифицирован как РО АПЛ К-19 в 76 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2019 г. [3].

Вторым этапом является осмотр объекта и его идентификация, если она ранее не проводилась. Задача этого этапа – получить чёткое фото- и видеоизображение исследуемого объекта. Максимальная высота аппарата над объектом ограничивается мутностью воды в исследуемом районе. При этом оператор БНПА ориентируется на изображения сразу двух камер: камера, направленная вниз, дает информацию о видимости и визуальном охвате объекта в кадре; камера, направленная вперед, позволяет контролировать наличие выступающих частей объекта, чтобы вовремя изменить высоту буксировки аппарата для обхода препятствия. При проходе над объектом одновременно производится высокоразрешающая фото-, видео- и гидролокационная съемка.

Помимо представления каждого вида полученных данных в отдельности, имеется возможность комплексирования полученной информации для повышения эффективности ее интерпретации. Например, видеозаписи и гидролокационные съемки можно объединить в комплексное изображение, представляющее объект целиком [5]. Также фото- и видеозаписи позволяют построить трёхмерную модель части или целого объекта для детального анализа его формы и оценки размеров отдельных частей.

Массив данных, собранных с помощью БНПА в течение нескольких лет, демонстрирует широкие возможности аппарата для обследования ППОО. Особенность режима работы заключается, прежде всего, в тщательном позиционировании судна при обследовании ППОО, а также в необходимости нескольких проходов через одну точку, чтобы увеличить шанс попадания объекта в объектив камеры. При этом на подходе к объекту допускается движения аппарата на небольшой высоте над грунтом, что позволяет попутно проводить вблизи объекта учет донной макрофауны.

Работа выполнена в рамках государственного задания темы № FMWE-2021-0010. Экспериментальные исследования выполнены при поддержке РФФ (проект № 23-17-00156)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Инзарцев А. В., Киселев Л. В., Костенко В. В. [и др.] Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение;

Ответственный редактор Л. В. Киселев. – Владивосток: Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2018. – 368 с. – EDN IMBINM.

2. Поярков С. Г., Римский-Корсаков Н.А., Флинт М. В. Технические аспекты исследований окружающей среды в западной части Карского моря // Океанологические Исследования. 2017. № 1 (45). С. 171–186.

3. Римский-Корсаков Н.А. [и др.]. Результаты исследования объектов, представляющих экологическую угрозу, в заливе Абросимова (Новая Земля, Карское море) // Океанология. 2020. № 5 (60).

4. Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е. Особенности инструментального контроля захоронений радиоактивных объектов в заливах Новой земли в Карском море — Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований. Материалы научной конференции. – М.: АПР, 2015. – 320 с.

5. Анисимов И. М., Тронза С. Н. Программное комплексирование данных синхронной видеосъемки и гидролокационного обзора поверхности дна // Океанология. 2021. № 3 (61).

УДК 528.931.2

## **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕСПИЛОТНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ**

**Дунчевская С.В., Видихин С.В., Большаков Е.Н.,  
Дьяконов М.В.**

*Научно-производственное предприятие «Форт XXI»,  
141070, Московская область, г. Королев, Пионерская, д. 1,  
8(495)789-90-19, [mail@fort21.ru](mailto:mail@fort21.ru)*

**MULTIFUNCTIONAL UNMANNED PLATFORM FOR  
HYDROGRAPHIC AND COASTAL SURVEY**

**Dunchevskaya S.V., Vidichin S.V., Bolshakov E.N.,  
Diakonov M.V.**

*RESEARCH & DEVELOPMENT ENTERPRISE FORT XXI LTD  
1, Pionerskaya Street, Korolev, Moscow Region, 141070, Russia*

В статье представлена многофункциональная беспилотная платформа для выполнения гидрографических и поисковых работ с гибкой конфигурацией, позволяющей расширять полезную нагрузку и легко переносить комплект оборудования на другой тип носителя. Приводятся материалы по опытной эксплуатации пилотных образцов в различных условиях.

The article presents a multifunctional unmanned platform for hydrographic and coastal survey with a flexible configuration that allows expanding the payload and easily transforming a set of equipment to another type of carrier. The information about experimental operation of the first model in various conditions are given.

Авторы статьи представляют новую разработку НПП «Форт XXI» - универсальную беспилотную платформу. В основу разработки положена универсальность решения по двум различным направлениям – расширение состава технических средств, представляющих собой полезную нагрузку в зависимости от решаемых задач и возможности простого переноса скомпонованного готового решения на носитель, наиболее подходящий для требуемых условий эксплуатации.

Опытный образец данной платформы – безэкипажный катер КАЛАН проектировался в максимально компактном варианте для того, чтобы обеспечить его удобную доставку к местам испытаний. Весь комплект БЭК КАЛАН легко помещается к багажнике кроссовера. При этом, несмотря на свою компактность (длина 1200 мм, ширина 900 мм, высота 500 мм) и небольшой вес в снаряженном состоянии (32 кг), КАЛАН может выполнять работу с крейсерской скоростью не менее 5 км/ч в течение 8 часов. Наличие в составе комплекта двух быстроменяемых сменных батарей позволяет обеспечить работу в течение 16 часов. Внешний вид катера показан на рисунке 1.

В базовой комплектации КАЛАН оснащается однолучевым гидрографическим эхолотом, ГНСС-приемником, работающим в RTK-режиме и выполняющим функции ГНСС-компыаса, видеокамерой высокого разрешения с обзором 360 градусов, комплектом из двух аккумуляторных батарей. Дополнительно на КАЛАН можно установить интегрированный гидроакустический модуль, включающий гидролокатор бокового обзора (ГБО) СКАТ и эхолот СКАТ, другие модели гидролокаторов, многолучевой эхолот (МЛЭ), звуковизор, гидролокатор кругового обзора, профилограф скорости течения (ADCP), систему лазерного сканирования и т.д. Возможность обработки и передачи данных с таких устройств

изначально заложена в архитектуру электронного блока и канала передачи данных.

Информация со всего оборудования, работающего на борту, записывается с максимальным качеством на жесткий диск. Необходимый для контроля работы оборудования поток данных по каналу связи передается на берег. При этом возможность канала связи позволяет передать на берег данные с ГНСС, эхолота, ГБО или МЛЭ, видеокамеры.

Корпус катера представляет собой катамаран с поплавками, являющимися одновременно элементами плавучести, блок электроники находится в прочном герметичном кейсе, что, в совокупности, обеспечивает безопасность катера при возможном повреждении корпуса. Двигатель расположен в гидродинамическом канале, защищенном решетками, что позволяет защитить их от попадания мусора и выхода из строя. Конфигурация корпуса и двигательного комплекса показана на рисунке 2.



Рис.1. КАЛАН при проведении испытаний



Рис.2. Конструкция корпуса и двигательного комплекса.

В навигацию 2022 года и в начале навигации 2023 года КАЛАН прошел опытную эксплуатацию на многочисленных водоемах Московской области, Канала имени Москвы, на р.Волга (Волгоград), в Кольском заливе (в феврале-марте, при зимних условиях).

Благодаря тому, что в состав комплекса входит не только БЭК КАЛАН, но и программное обеспечение для планирования съемок, сопровождения работ, управления в ручном режиме и в режиме автопилота (рисунок 3), полученные в результате испытаний материалы оперативно обрабатывались и по ним строились батиметрические карты, планшеты. Непосредственно в процессе проведения работ на экране АРМ оператора на берегу отображается информация о глубине, что позволяет оператору оперативно оценивать рельеф дна в зоне съемки. Информация, отображавшаяся на мониторе оператора непосредственно при проведении



съемки в акватория подходного канала шлюза №13 Ильевского гидроузла (р.Волга) показана на рисунке 4.

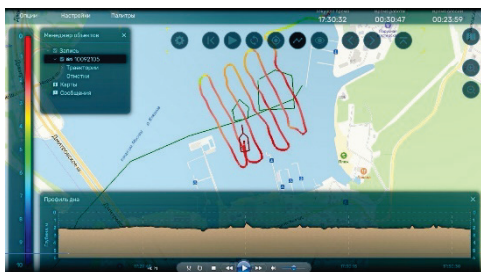


Рис. 3. Работа в режиме Автопилота

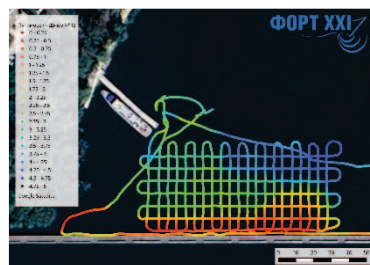


Рис.4. Прохождение галсов

В предстоящем сезоне планируется совершенствование данной модели и выпуск более крупногабаритной модели, предназначенной для работы на морских акваториях и для выполнения не только гидрографических задач, но и широкого круга сопутствующих задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дунчевская С.В., Видихин С.В., Большаков Е.Н., Дьяконов М.В., Универсальная беспилотная платформа КАЛАН и гидрографический комплекс на ее основе. - СПб.: журнал «ГИДРОТЕХНИКА», №3, 2022.-С. 20-22

## СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

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

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, nba1940 @ yandex. ru.*

### MODERN TOOLS FOR MAGNETOMETRIC DETECTION OF UNDERWATER OBJECTS

Nersesov B. A., Rimsky Korsakov N. A.

*Shirshov Institute of Oceanology. Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovsky prospect, Moscow, 117997*

В статье обсуждаются принципиально новые требования к современным магнитометрическим средствам обнаружения подводных объектов: определение ширины поисковой полосы с гарантированной вероятностью их обнаружения, а также обоснование допустимой чувствительности датчиков магнитного поля и длины поискового галса.

The article discusses fundamentally new requirements for modern magnetometric means of detecting underwater objects: determining the width of the search strip with a guaranteed probability of their detection, as well as justifying the allowable sensitivity of magnetic field sensors and the length of the search line.

Морские магнитометрические средства (ММС) успешно применяются при поиске подводных объектов в акваториях со сложной гидрологией и резким снижением эффективности гидролокационных станций (на мелководье, в условиях естественной маскировки).

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

Анализ путей совершенствования отечественных и зарубежных средств магнитометрического обнаружения показывает, что основными тенденциями их развития являются:

- расширение функциональных возможностей ММС;
- повышение чувствительности датчиков МП;
- увеличение их массогабаритных и стоимостных характеристик.

В настоящее время ММС, находящиеся в эксплуатации, кроме функции обнаружения (фиксации объекта в зоне поиска), как правило, выполняют еще и функцию пеленгации (определение направления на обнаруженный объект).

Это связано, с необходимостью компенсации геомагнитных помех с использованием системы из двух пространственно-расположенных датчиков магнитного поля.

Причем наиболее приемлемым вариантом является система датчиков в одном буксируемом контейнере с использованием новых технологий создания малогабаритных датчиков магнитного поля (ДМП).

*В 70-80-е годы XX века основной тенденцией развития ММС являлась разработка высокочувствительных (до 0,01 - 0,001 нТл) ДМП, что объяснялось требованием повышения ширины полосы поиска и обнаружения подводного объекта. Однако, повышение чувствительности сопровождалось неприемлемым ростом массогабаритных характеристик и стоимости ММС.*

В соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к поисковым ММС, приоритеты их развития изменились кардинально.

Установлено, что процесс поиска и обнаружения подводного ферромагнитного объекта мобильными магнитометрами носит стохастический характер [1]

Поэтому традиционная оценка результативности морских магнитометров, которая проводилась без учета случайных факторов (равновероятного пространственного положения подводного объекта в полосе поиска и связанной с этим неопределенным отношением «сигнал-помеха»), приводила к пропуску подводного объекта.

Принципиально новым требованием стала оценка статистической эффективности ММС в полосе ПО.

Причем показателем (критерием) такой эффективности является рекомендованная ширина полосы поиска ПО с гарантированной вероятностью его обнаружения [2].

В соответствии с современными требованиями актуальной проблемой совершенствования поисковых магнитометрических средств

являются разработка методологического аппарата оценки эффективности средств обнаружения подводных объектов [1,2].

Разработка методологических основ статистической магнитометрии позволяет определить ширину поисковой полосы с гарантированной вероятностью обнаружения ПО, а также обосновать основные характеристики процесса магнитометрического поиска ПО: допустимую чувствительность датчиков магнитного поля, а также длину поискового галса, определяемую длиной буксировочного троса и требуемым отношением «сигнал-помеха».

Одной из особенностей создания нового поколения средств морской магнитометрии является требование к повышению производительности оперативного поиска аварийных подводных объектов за счет оптимизации длины буксировочного троса ММС, а также снижения протяженности поискового галса [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А.** Статистическая магнитометрия. *(монография)*. //ФГБНУ «Аналитический центр» Министерство науки и высшего образования РФ, Институт океанологии РАН, М., 2020, 126 с.
2. **Нерсесов Б.А.** Методы вероятностной оценки эффективности средств морской магнитометрии. //Океанологические исследования – М. 2019. – т.47, № 4, С. 152-160.
3. **Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А.** Статистическое обоснование допустимого снижения чувствительности магнитометра при сохранении требуемой вероятности обнаружения подводного объекта/ //Океанологические исследования – М. 2022. Т. 50, № 2, С. 178-187.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Алиев Р.А.	159	Зеленько А.А.	15
Анисимов И.М.	140,155,180,237,279	Зубов П.А.	97
Анисимова Л.А.	124	Илларионов С.Н.	83
Багницкий А.В.	180	Каевицер В.И.	220
Баранов В.И.	35	Казеннов А.Ю.	159-172
Безгин А.А.	65,79	Калинина О.Ю.	97
Беликов Р.А.	136	Калмыков С.А.	159,165-172
Билашвилли К.	102	Кантаков Г.А.	241
Большаков Е.Н.	282	Кикнадзе О.Е.	162-172
Боран-Кешишьян А.Л.	89	Книгель Н.Я.	162
Боровик А.И.	259	Коваленко В.В.	43
Бочерикова И.Ю.	117	Кондарь Д.В.	97
Булычев А.С.	232	Кондрашов А.А.	241
Васильев Н.В.	97	Коновалов Б.В.	83
Вельтищев В.В.	245	Коноплин А.Ю.	259
Видихин С.В.	282	Королев А.В.	162
Виноградов Г.М.	224	Котельникова Ю.	102
Волков С.В.,	23,27	Кочетов О.Ю.	23,27,48
Гавриков А.В.	57	Кравченко Ю.Н.	124
Галкин С.В.	224,259	Кривцов А.П.	220
Гамазов Н.И.	263	Криницкий М.А.	136
Гонзалес-Фернандес Д.	102	Кубряков А.А.	132
Горлов А.А.	233	Кубряков А.И.	54
Григорьев А.В.	54	Кубрякова Е.А.	132
Данилов А.В.	197-216	Кузьмин В.Ю.	155
Даньшина А.В.	67	Куклев С.Б.	35
Джалилов А.Г.	85	Ладохина Е.М.	61
Дианский Н. А.	61	Ландер М.Р.	241
Дмитриева О. А.	109,113	Лебедев К.В.	75
Дунчевская С.В.	282	Левашов Д.Е.	124
Дьяконов М.В.	282	Лесин А.В.	144,155,180,237,279
Ежова Е.А.	57	Либина Н.В.	39
Елкин А.В.	248,254	Лискин В.А.	176,275
Жданов П.Н.	245	Лишаев П.Н.	132
Забавников В.Б.	93	Лунев Е.Г.	65,67,79
Залота А.К.	140,144,155	Любимов И.В.	97
Залота М.К.,	140,144	Магутин Н.Ю.	39
Захарова Е. В.	61	Мачидадзе Н.	102
Зацепин А.Г.	35,48	Машура В.В.	35

Михайлов Д.Н.	259	Сенченко В.Г.	54
Мотыжев С.В.	65,67,79	Серебряный А.Н.	31
Муравья В.О.	155,180,237,279	Смолянинов И.В.	220
Мысленков С.А.,	15	Смоляницкий В.М.	67,79
Недоспасов А.А.	150	Соколов В.Т.	67
Нерсесов Б.А.	148,286	Тараканов Р.Ю.	19
Никитин А.О.	159,165-172	Телегин В.А.	39
Островский А.Г.	23,27,43,48	Тимофеева А.Б.	67,71
Очередник В.В.	35	Толстошеев А.П.	65,79
Пака В.Т.	241	Торопов М.Н.	97
Погожева М.П.	102	Третьяк И.П.	102
Подгорный К. А.	109,113	Удалов А.А.	97,140,155
Подуфалов А.П.	241	Фетисов С.В.	128
Полухин А.А.	97	Фетисова В.В.	140
Попов С.К.	61	Фомин В. В.	61
Поярков С.Г.	150	Фофанов Д. В.	105,121
Ревина А.Д.	67	Фуркина Е.Б.	159
Реснянский Ю.Д.	15	Хабутдинов И.А.	136
Р.-Корсаков Н.А.	147,182,275,286	Ханке Г.	102
Розман Б.Я.	248,254	Хлебников Д.В.	83
Ромашко А.С.	228	Чикина М.В.	97,140,155
Рыбакова Е.И.	259	Чубаренко И.П.	117
Савин А.С.	75	Чуманихин Л.И.	39
Сагалеви́ч А.М.	184	Швоев Д.А.	27,48
Сагалеви́ч В.Д.	184	Элбакидзе А.В.	220
Сапожников Ф.В.	97	Яхонтов Б.О.	267,271
Селифонова Ж.П.	89	Lynch J.	31
Семыкина М. А.	105,121	Newhall A.	31

*Научное издание*  
*Сборник*

**ISBN 978-5-6045110-8-4**

**DOI 10.29006/978-5-6045110-8-4-2023**

«Современные методы и средства океанологических исследований»  
(МСОИ-2023)

Материалы XVIII Международной научно-технической конференции

Том I

Москва, Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 2023. – 291 с.

Тираж 50 экз.

**ISBN 978-5-6045110-8-4**