

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

ХІХ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ



«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ»  
(МСОИ-2025)

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

В двух томах  
Том II

МОСКВА 2025

На обложке: ТНПА «ГНОМ X» — модульный телеуправляемый подводный аппарат

УДК 551.46.07

ББК 26.221

«Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2025) / Материалы XIX Международной научно-технической конференции. Том II. – М.: Издательство Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 2025. – 345 с.

ISBN 978-5-6051054-6-6

DOI 10.29006/978-5-6051054-6-6-2025

Книга содержит материалы конференции МСОИ-2025. В сборнике представлены доклады ученых-океанологов, инженеров, аспирантов и студентов, посвященные современным технологиям исследований природы Мирового океана в связи с наиболее актуальными фундаментальными проблемами океанологии.

В томе II рассматриваются вопросы, связанные с состоянием экологии океана, в том числе районов захоронений радиоактивных отходов, разработками современных технологий подводной робототехники и аппаратов. Анализ и решение перечисленных задач обсуждаются на общем фоне актуальности исследований Арктических регионов России и Дальнего Востока, а также результаты применения современных информационных технологий.

Доклады опубликованы в авторской редакции.

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

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (FMWE-2024-0024) и при поддержке проекта РФФ №23-17-00156

“Modern methods and means of oceanological research”. Proceedings of the XIX International Conference MSOI-2025, Vol. II. – Moscow: Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 2025. – 345 p.

This publication contains materials of the MSOI-2025 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 II discusses issues related to the state of the ocean ecology, including areas of radioactive waste disposal, and the development of modern technologies for underwater robotics and spacecraft. The analysis and solution of these tasks are discussed against the general background of the relevance of research in the Arctic regions of Russia and the Far East, as well as the results of the use of modern information technologies.

ББК 26.221

© ИОРАН 2025

ISBN 978-5-6051054-6-6

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ МСОИ-2025**

- |    |                       |   |
|----|-----------------------|---|
| 1  | Шевченко В.В.         | <u>председатель</u> , ВРИО директора ИО РАН,  |
| 2  | Нигматулин Р.И.       | <u>со-председатель</u> , академик РАН, научный руководитель ИО РАН,                                 |
| 3  | Островский А.Г.       | <u>со-председатель</u> , к.г.н., зам директора по морской технике ИОРАН                             |
| 4  | Римский-Корсаков Н.А. | <u>со-председатель</u> , д.т.н., зав. лаб. ИО РАН   |
| 5  | Королев А.В.          | <u>со-председатель</u> , заместитель директора НИЦ «Курчатовский институт» по исследованиям Арктики |
| 6  | Флинт М.В.            | академик РАН, научный руководитель направления «Экология морей и океанов» ИО РАН,                   |
| 7  | Лобковский Л.И.       | академик РАН, научный руководитель геологического направления ИОРАН                                 |
| 8  | Верещака А.Л.         | чл. корр. РАН, руководитель лаборатории ИОРАН   |
| 9  | Гулев С.К.            | чл.-корр., руководитель лаборатории ИОРАН   |
| 10 | Завьялов П.О.         | чл.-корр. РАН, заместитель директора ИО РАН,  |
| 11 | Сагалевиц А.М.        | д.т.н., зав. лаб. ИО РАН, Герой России  |
| 12 | Вельтищев В.В.        | д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им. Н.Э.Баумана  |
| 13 | Каевицер В.И.         | д.т.н, ФИРЭ им. Котельникова РАН  |
| 14 | Вялышев А.И.          | д.ф.-м.н., главный научный сотр. ВНИИ ГОЧС МЧС РФ   |
| 15 | Вязилов Е.Д.          | д.т.н., зав. лаб. ЦОД ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»<br>Росгидрометцентра, Обнинск                              |
| 16 | Казеннов А.Н.         | руководитель лаборатории НИЦ «Курчатовский институт»  |
| 17 | Егоров А.В.           | к.г-м.н., зав лабораторией ИОРАН  |

## **ОРГКОМИТЕТ МСОИ-2025**

- |    |                       |   |
|----|-----------------------|---|
| 1  | Шевченко В.В.         | <u>председатель</u> ВРИО директора ИО РАН,                      |
| 2  | Островский А.Г.       | <u>со-председатель</u> , к.г.н., зам. директора ИО РАН          |
| 3  | Римский-Корсаков Н.А. | <u>со-председатель</u> , д.т.н., зав. лабораторией ИО РАН       |
| 4  | Вельтищев В.В.        | <u>со-председатель</u> , д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им. Баумана |
| 5  | Книвели Н.Я.          | заместитель начальника Управления НИЦ «Курчатовский институт»   |
| 6  | Свиридов С.А.         | зав. отделом инф. технологий ИО РАН                             |
| 7  | Мокиевский В.О.       | д.б.н., вед.н.с. ИО РАН   |
| 8  | Рогинский К.А.        | к.т.н., зав. лабораторией ИО РАН                                |
| 9  | Глуховец Д.И.         | к.г.н., зав. лабораторией. ИО РАН                               |
| 10 | Ананьев Р.            | с.н.с. ИО РАН   |
| 11 | Кикнадзе О.Е.         | зав. лабораторией, НИЦ "Курчатовский институт"                  |
| 12 | Войтов А.В.           | гл. специалист ИО РАН   |
| 13 | Уманская И.А.         | глав. спец. отдела информационных технологий                    |
| 14 | 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., м.н.с. Муравья В.О., м.н.с. Лесин А.В.

Конференция проводится при финансовой поддержке Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН (госзадание ИО РАН FMWE 2024-0024); Московского государственного технического университета им.Н.Э.Баумана; при научной поддержке проекта РФФ №23-17-00156.

## ОГЛАВЛЕНИЕ том 2

### РАДИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКВАТОРИЙ АРКТИКИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

<b>Елифанов А.О., Артемьев Г.Б., Каткова М.Н., Уваров А.Д., Тарасенко А.О., Реклайдис В.А. РЕЗУЛЬТАТЫ РОСГИДРОМЕТА ПО РАДИАЦИОННОМУ МОНИТОРИНГУ 2023 ГОДА РАЙОНА ЗАТОПЛЕНИЯ АТОМНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ «К-159»</b>	<b>12</b>
<b>Муравья В.О., Недоспасов А.А., Анисимов И.М.</b> УЧЕТ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ АКВАТОРИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ППОО	<b>16</b>
<b>Ерофеева Т.В., Недоспасов А.А., Басин А.Б., Карманов В.А., Носков С.А., Намсараев З.Б., Тошаков С.В. ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ВОД КАРСКОГО МОРЯ МЕТОДОМ 16S-МЕТАБАРКОДИРОВАНИЯ</b>	<b>19</b>
<b>Хортов А.В., Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Книвель Н.Я., Кикнадзе О.Е., Лесин А.В. АКУСТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ДНА В ЗАЛИВЕ СТЕПОВОГО (НОВАЯ ЗЕМЛЯ).</b>	<b>22</b>
<b>Хортов А.В., Мишин А.В., Кикнадзе О.Е., Книвель Н.Я., Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕСТА ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ УСТАНОВКИ БЕРЕГОВОГО БЛОКА ПСПРМ В ЗАЛИВЕ СТЕПОВОГО (НОВАЯ ЗЕМЛЯ)	<b>27</b>
<b>Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Калмыков С.А., Никитин А.О.</b> СОВРЕМЕННЫЕ ПОДВОДНЫЕ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ	<b>31</b>
<b>Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Калмыков С.А., Никитин А.О.</b> ПОДВОДНАЯ СТАНЦИЯ ПОСТОЯННОГО РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА	<b>35</b>
<b>Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА РАДИОАКТИВНОСТИ ИЗ АПЛ «КОМСОМОЛЕЦ»	<b>39</b>
<b>Книвель Н.Я., Кикнадзе О.Е., Калмыков С.А., Никитин А.О.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗАТОНУВШЕЙ АПЛ Б-159	<b>43</b>
<b>Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Калмыков С.А., Никитин А.О.</b> СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ БАРЬЕРОВ ЗАТОПЛЕННОЙ АПЛ К-27	<b>47</b>

<b>Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Книвель Н.Я</b> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАТОПЛЕННЫХ ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ В АРКТИКЕ	50
<b>Богомолова Т.В., Хоменко И.А., Комолов А.С., Алиев Р.А</b> РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МЕСТАХ ЗАХОРОНЕНИЯ РАО В ЗАЛИВАХ НОВОЙ ЗЕМЛИ: СТЕПОВОГО, ТЕЧЕНИЙ, БЛАГОПОЛУЧИЯ	56

## ЭКОЛОГИЯ ОКЕАНА

<b>Джалилов А.Г.</b> БИОРАЗНООБРАЗИЯ МЕЗОПЛАНКТОНА АЗЕРБАЙДЖАНСКОГО СЕКТОРА КАСПИЙСКОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ МОРЯ	58
<b>Подгорный К. А., Семенова А. С., Дмитриева О. А.</b> ОЦЕНКА ДОЛИ МЕРТВЫХ ОСОБЕЙ В СООБЩЕСТВЕ ЗООПЛАНКТОНА ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ: СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	67
<b>Галкин С.В., Виноградов Г.М., Анисимов И.М., Белов Д.А., Оленин А.Л., Лесин А.В., Лахно О.В</b> КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БНПА «ВИДЕОМОДУЛЬ» И КЛАССИЧЕСКИХ ЗАБОРТНЫХ ОРУДИЙ ПРОБООТБОРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ (96 РЕЙС НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»)	71
<b>Булатова Т.В., Царева В.А., Барканова Т.Б., Ванюшин Г.П., Сапунова Е.В.</b> ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ИСЗ В РЫБОПРОМЫСЛОВОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ	75
<b>Зайцева А.Е., Зуев Б.К., Михайлова А.В., Филоненко В.Г., Воропаев С.А</b> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФРАКЦИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ДОННЫХ ОСАДКАХ КАРСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ МЕТОДА ОКСИТЕРМОГРАФИИ	79
<b>Вайнберг А. С., Абакумов Е.В.</b> БИОАККУМУЛЯЦИЯ МИКРОПЛАСТИКА ЛАСТОНОГИМИ ( <i>PINNIPEDIA</i> ): ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	87
<b>Сентябов Е.В., Стесько А.В., Жак Ю.Е.</b> ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МНОГОЛЕТНЕЙ ТРАЛОВОЙ СЪЕМКИ КАМЧАТСКОГО КРАБА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ	93
<b>Шатохин М.В., Егорова В.М</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ОКЕАНЕ В ОКРЕСТНОСТИ ИЗОЛИРОВАННОГО ВОЗМУЩЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ТОПОГРАФИИ МЕТОДОМ КОНТУРНОЙ ДИНАМИКИ	97

<b>Сазыкин И.С., Хмелевцова Л.Е., Ажогина Т.Н., Хаммами М.И., Сазыкина М.А</b> СОДЕРЖАНИЕ ГЕНОВ РЕЗИСТЕНТНОСТИ И УГЛЕВОДОРОДОКЛЮЧАЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ МИКРОБИОМОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ	<b>101</b>
<b>Сазыкина М.А., Карчава Ш.К., Климова М.В., Ажогина Т.Н., Хаммами М.И., Сазыкин И.С</b> ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИБОЙНОЙ ЗОНЫ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ	<b>105</b>
<b>Ефимова И.В., Чубаренко И.П.</b> МИКРОПЛАСТИК В ПЛЯЖЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА БЕРЕГАХ ТИХОГО ОКЕАНА	<b>109</b>
<b>Васильев Н.В., Сапожников Ф.В., Торопов М.Н., Ивановская А.В., Ениватов В.В., Шаратов А.С.</b> СНИЖЕНИЕ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ И ЗАЩИТА РАЗНОТИПНОГО ПЛАСТИКА ОТ БИОКОРРОЗИИ В МОРСКОЙ ВОДЕ С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПО ДАННЫМ ИСПЫТАНИЙ С 2017 ПО 2024 ГОД	<b>113</b>
<b>Росинская А.Е.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УЛАВЛИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ДНОЧЕРПАТЕЛЯ ВАН ВИНА И ХАПС-КОРЕРА В КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ МЕЙОБЕНТОСНЫХ ОРГАНИЗМОВ	<b>118</b>
<b>Селифонова Ж.П., Часовников В.К., Березенко Н.С., Боран-Кешишьян А.Л., Заиченко Т.И.</b> СОСТОЯНИЕ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ НОВОРОССИЙСКОГО ПОРТА И ВОДОРΟΣЛЕЙ-ОБРАСТАТЕЛЕЙ ПРИЧАЛОВ	<b>123</b>
<b>Доманов М.М., Демидов А.Б., Суханова И.Н., Белевич Т.А</b> ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ АССИМИЛЯЦИИ УГЛЕРОДА ПРИРОДНОЙ ПОПУЛЯЦИЕЙ ФИТОПЛАНКТОНА ПОД ВЛИЯНИЕМ МАЛЫХ ДОЗ $\gamma$ - ИЗЛУЧЕНИЯ	<b>127</b>
<b>Гулин М. Б., Иванова Е.</b> А СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИЧИН СЕЗОННОЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИДОННЫХ ЗОН ГИПОКСИИ ВБЛИЗИ МЕСТ ВЫСАЧИВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ ИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРЕСНОВОДНЫХ И МОРСКИХ ВОДОЁМОВ	<b>131</b>
<b>Колочкина Г.А., Симаклова У.В., Шука А.С., Чикина М.В</b> ДОННЫЕ ЛАНДШАФТЫ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА «ГЕЛЕНДЖИК»	<b>134</b>
<b>Третьяков В.Ю., Клубов С.М., Дмитриев В.В., Никулина А.Р</b> ОСОБЕННОСТИ ЭВТРОФИРОВАНИЯ СИЛЬНОПРОТОЧНОГО ЭСТУАРИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ	<b>138</b>

<b>Оленин А.Л.</b> ОПЫТ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ ОЗЁРНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ, ФИТО- И ЗООПЛАНКТОНА ПОГРУЖАЕМЫМ ЗОНДИРУЮЩИМ КОМПЛЕКСОМ _____	<b>142</b>
<b>Домнин Д.А., Лобчук О.И.</b> РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВКИ ОТБОРА ПРОБ ВОДЫ БОЛЬШОГО ОБЪЁМА В ПРИРОДНЫХ ВОДОЁМАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА _____	<b>146</b>
<b>Лановая О.Д., Ажогина Т.Н., Сазыкина М.А., Барабашин Т.О., Сазыкин И.С.</b> ГЕНЫ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ В БАКТЕРИЯХ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ПРОМЫСЛОВЫМИ ВИДАМИ РЫБ АЗОВСКОГО МОРЯ _____	<b>150</b>
<b>Лобчук О.И., Есюкова Е.Е., Килесо А.В.</b> ПЛАСТИКОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ НА ПОБЕРЕЖЬЯХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ _____	<b>155</b>
<b>Лобчук О.И., Есюкова Е.Е.</b> ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИК ОТБОРА ПРОБ И ЭКСТРАКЦИИ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА ДЛЯ ЭСТУАРИЕВ _____	<b>157</b>
<b>Лесин А.В., Анисимов И.М., Муравья В.О., Лахно О.В., Удалов А.А., Баранов Б.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЯ АРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ В ПЕРИОД ТАЯНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БУКСИРУЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ _____	<b>160</b>
<b>Удалов А.А., Анисимов И.М., Залота А.К., Лахно О.В., Лесин А.В., Муравья В.О., Мишин А.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ В РАЙОНЕ ЗАЛИВА ТЕЧЕНИЙ В 97 РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» _____	<b>163</b>
<b>Удалов А.А., Анисимов И.М., Лесин А.В., Муравья В.О., Пронин А.А.</b> ДОННЫЕ ЛАНДШАФТЫ И МЕГАФАУНА ЗАЛИВА ЦИВОЛЬКИ (НОВАЯ ЗЕМЛЯ, КАРСКОЕ МОРЕ) _____	<b>165</b>
<b>Ерофеева Т.В., Недоспасов А.А., Басин А.Б., Карманов В.А., Носков С.А., Намсараев З.Б., Тошаков С.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ВОД КАРСКОГО МОРЯ МЕТОДОМ 16S-МЕТАБАРКОДИРОВАНИЯ _____	<b>169</b>
<b>Шиповская Е.А.</b> РОЛЬ ВЕТРОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛА В ОКЕАНЕ _____	<b>172</b>

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Дымент Л.Н., Ершова А.А., Кортикова К.Г., Бойкая Е.Г.</b> АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ РАЗРЫВОВ В МОРСКОМ ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ ПО СНИМКАМ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ _____	<b>175</b>
--	------------

<b>Вязилов Е.Д., Мельников Д.А</b> ОТ ИНТЕГРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ И НЕОДНОРОДНЫХ ДАННЫХ О МОРСКОЙ СРЕДЕ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ К АРХИТЕКТУРЕ «СЕТКА ДАННЫХ» _____	<b>179</b>
<b>Кубряков А.А., Добродий В.А., Мизюк А.И.</b> ИДЕНТИФИКАЦИЯ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ YOLO11 С ОБУЧЕНИЕМ ПО МОДЕЛИ NEMO. _____	<b>183</b>
<b>Казakov Д.В., Вязилов Е.Д</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ О ВОЗДЕЙСТВИЯХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ _____	<b>186</b>
<b>Христошин Н.В., Вязилов Е.Д</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЦИФРОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОГНОЗОВ В ТЕКСТ _____	<b>189</b>
<b>Клименко С.К., Иванов А.Ю.</b> ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА И ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРЯ _____	<b>193</b>
<b>Шмыков Н.В., Буланов А.В</b> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРА И АНАЛИЗА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ _____	<b>201</b>
<b>Пронин А.А., Хортов А.В., Мутовкин А.Д., Дерюшкин Д.В., Щербаченко С.В</b> ОСОБЕННОСТИ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШЕЛЬФА КРЫМА В 2024 ГОДУ _____	<b>207</b>
<b>Запотылько В.С., Пальшин Н.А., Иваненко А.Н., Свиридов С.А</b> РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО АРХИВА МОРСКИХ ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ _____	<b>212</b>
<b>Кикнадзе О.Е., Королев С.А., Скотаренко Д.А.</b> СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО АТЛАСА ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ (ЯРОО), ЗАТОПЛЕННЫХ/ЗАТОНУВШИХ В МОРЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ _____	<b>217</b>

## ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТЫ, ПРИБОРНАЯ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

<b>Мясникова А.И.</b> РАЗРАБОТКА, СОЗДАНИЕ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦА ПРИБОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ БАЛАНСА БЕЛОГО ПРИ ПОДВОДНОЙ СЪЕМКЕ В ВИДИМОМ ДИАПАЗОНЕ _____	<b>220</b>
<b>Смирнов И.А., Судаков Н.В</b> МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОИСКА ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ГИДРОАКУСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ _____	<b>223</b>

<b>Вельтишев В.В.</b> О ПОВЫШЕНИИ СТАБИЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЯ БУКСИРУЕМОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА	227
<b>Яхонтов Б.О</b> ЛИМИТЫ ВОДОЛАЗНЫХ СПУСКОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДВОДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	231
<b>Яхонтов Б.О</b> КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОЛАЗНЫХ МЕТОДОВ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	235
<b>Сагалевич А.М.</b> ПЕРСПЕКТИВА ГЛУБОКОВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОКЕАНА В ИО РАН.	239
<b>Чаркин А.Н., Каплуненко Д.Д., Гуленко Т.А</b> ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «SMART FISH» С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА В ИССЛЕДОВАНИИ ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ.	245
<b>Чернышова Л.М., Пак А.В., Неманов М.И., Шакуев Д.А., Артемьев Н.В., Карманов С.А., Булатов Н.В., Сухова Ю.Д</b> РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА БЕЗЭКИПАЖНОГО НАДВОДНОГО АППАРАТА	249
<b>Колигаев С.О.</b> Коллаборация <b>Vaikal-GVD</b> ПРИМЕНЕНИЕ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ И ОРИЕНТАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ГЛУБОКОВОДНОГО НЕЙТРИННОГО ТЕЛЕСКОПА <b>VAIKAL-GVD</b>	253
<b>Се Юнцян, Вэй Яньхуэй, Лу Тяньхао, Чжао Канкан, Фу Юйчжэн</b> ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО ДВУРУКОГО МАНИПУЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ RRT И APF	258
<b>Фетисов С.В.</b> РЕГИСТРАЦИЯ КРУПНЫХ ВЫБРОСОВ МОРСКОГО МУСОРА С ПОМОЩЬЮ АВТОНОМНОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ	262
<b>Бабич В.А., Макашов А.А.</b> АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ РАЗЛИЧИМОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПОДВОДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	265
<b>Ермаков И.Д., Ермаков Д.И.</b> ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ СОРЕВНОВАНИЙ ПО МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ. ИТОГИ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ И СОРЕВНОВАНИЙ ТПА И БЭК В Г. АСТРАХАНИ	269
<b>Лاخно О.В.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИДОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ БНПА «ВИДЕОМОДУЛЬ».	270
<b>Анисимов И.М., Лاخно О.В., Лесин А.В., Муравья В.О.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ДНА	273
<b>Войтов Д.В</b> КРУШЕНИЕ ОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА «ТИТАН», ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ПРОЧНОГО КОРПУСА	277
<b>Швоев Д.А</b> ДОРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДВОДНОГО ЗОНДА-ПРОФИЛЕМЕРА «ВИНЧИ»	281

<b>Фролов А.С., Вельтищев В.В</b> МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА	285
<b>Гамазов Н.И., Фролов А.С.</b> ЭКРАННАЯ КЛАВИАТУРА ПУЛЬТА ОПЕРАТОРА ТНПА.	288
<b>Цапенко А.В., Шерстов Е.А</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНТУРОМ ГЛУБИНЫ ПОДВОДНОГО АППАРАТА	292
<b>Цапенко А.В., Елкин А.В.</b> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОДНОМАЯКОВОЙ НАВИГАЦИИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА	297
<b>Цапенко А.В., Розман Б.Я., Капцов А.С.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА	302
<b>Глухов А.А., Васильчиков А.А.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ МНОГОСТЕПЕННОГО ПОДВОДНОГО МАНИПУЛЯТОРА	307
<b>Богданов А.А., Жданов Р.С., Кичко С.А., Устинов В.С., Фокин С. Г.</b> СОЗДАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА С ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫМ НЕОБИТАЕМЫМ ПОДВОДНЫМ АППАРАТОМ РАБОЧЕГО КЛАССА И ОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРОЕКТА 03660 "ЯСОН"	314
<b>Шерстов Е.А., Елкин А.В. Капцов А.С.</b> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТНПА	319
<b>Васильчиков А.А., Шерстов Е.А., Елкин А.В</b> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИКИ ТНПА	322
<b>Шубин М.Д., Розман Б.Я., Елкин А.В.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОМ ДИФФЕРЕНТА С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	326
<b>Гаврилина Е.А., Винтоняк Н.П., Агапов М.Ю., Курашина А.Е., Кузьмичев М.В., Сорокин Б.В.</b> НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА «ЯСОН»	330
<b>Ромашко А. С., Никитин С. А., Егоров С. А., Куценко А. С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НА МАЛЫХ ГЛУБИНАХ ГАНС УКБ ДЛЯ ПРОТОТИПА ДОННОЙ МАШИНЫ	333
<b>Ромашко А. С., Егоров С. А., Куценко А. С.</b> ПОСТРОЕНИЕ И ОТРАБОТКА НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОТОТИПА ДОННОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	337
<b>Ромашко А. С., Егоров С. А., Куценко А. С.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНИКОВ СНС, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ИЗДЕЛИЯХ ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ	341

# РАДИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКВАТОРИЙ АРКТИКИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

УДК 504.064

## РЕЗУЛЬТАТЫ РОСГИДРОМЕТА ПО РАДИАЦИОННОМУ МОНИТОРИНГУ 2023 ГОДА РАЙОНА ЗАТОПЛЕНИЯ АТОМНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ «К-159»

Епифанов А.О., Артемьев Г.Б., Каткова М.Н., Уваров А.Д.,  
Тарасенко А.О.<sup>1</sup>, Реклайдис В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «НПО «Тайфун», 249038, г.Обнинск, ул. Победы, 4, 8 (484)  
399-70-04, [epifanov@rpatyphoon.ru](mailto:epifanov@rpatyphoon.ru)

<sup>2</sup>ФГБУ «Северное УГМС», 163020, г. Архангельск, ул. Маяковского, 2,  
8(818)222-16-63, [esimo@sevmeteo.ru](mailto:esimo@sevmeteo.ru)

## ROSHYDROMET RADIATION MONITORING RESULTS FOR 2023 IN THE AREA OF THE SUBMARINE K-159 SUNK

Epifanov A.O., Artemev G.B., Katkova M.N., Uvarov A.D.,  
Tarasenko A.O.<sup>1</sup>, Reklaydis V.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Research and Production Association «Typhoon» (RPA «Typhoon»),  
Pobedy str., 4, Obninsk, 249038, Russia.*

<sup>2</sup> *Northern management on a hydrology and monitoring of the environment  
(Northern UGMS) Mayakovsky str., 2, Arkhangelsk, 163020, Russia.*

В докладе представлены основные результаты морских научных исследований Росгидромета по радиационному мониторингу Баренцева моря в районе аварийного затопления атомной подводной лодки (АПЛ) «К-159». Экспедиционные работы также проведены в районе посёлков Териберка и Дальние Зеленцы.

The report presents the main results of marine scientific research by Roshydromet on radiation monitoring of the Barents Sea in the area of the accidental sinking of the nuclear submarine «K-159». Expeditionary work was also carried out in the area of the settlements of Teriberka and Dalniye Zelentsy.

**Ключевые слова:** радиационный мониторинг, Арктика, радиоактивные отходы, атомная подводная лодка «К-159», Кильдин, Териберка, Дальние Зеленцы.

**Key words:** radiation monitoring, Arctic, radioactive waste, nuclear submarine «K-159», Kildin, Teriberka, Dalniye Zelentsy.

В рамках одного из направлений государственной программы РФ "Охрана окружающей среды" Росгидромет силами НПО «Тайфун» и Северное УГМС в 2023 году провёл морскую научную экспедицию по радиационному мониторингу района затопления АПЛ «К-159».

АПЛ «К-159» затонула 30 августа 2003 года в Баренцевом море в трех милях к северо-западу от острова Кильдин на глубине около 250 м во время ее буксировки для проведения работ по утилизации, более подробная информация приведена в [1]. Схема отбора проб в районе исследований представлена на рис. 1.

Экспедиционные работы проводились на НИС «Иван Петров» в период с 12 по 31 мая 2023 г. Основной целью работ являлось получение информации о текущей радиационной обстановке в компонентах водной среды исследуемых районов, для подготовки к решению задач по реабилитации территорий, на которых находятся затонувшие и затопленные объекты с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами. Схема отбора проб в районе исследований представлена на рис. 1.

Основной задачей экспедиции, был отбор образцов морской воды, донных отложений и биоты для анализа на Cs-137, Sr-90, Pu-239,240 в условиях стационарной лаборатории, образцы воды дополнительно анализировали на содержание H-3. Также в ходе экспедиций с помощью портативного полупроводникового гамма-спектрометра серии TransSpec (ORTEC), оснащенного детектором высокого энергетического разрешения, выполнялась экспресс оценка содержания техногенных радионуклидов в выборочных образцах. Это позволяло при необходимости более подробно обследовать места, в пробах из которых было выявлено повышенное (относительно других проб из данного района обследования) содержание Cs-137.

Результаты лабораторного анализа образцов не указывают на поступления техногенных радионуклидов в указанных выше районах, как от АПЛ «К-159», так и от других потенциальных источников. На рис. 2 в качестве примера приведены результаты по объёмной активности Cs-137 в фильтрате морской воды.

Зафиксированные значения ниже, полученных в совместной российско-норвежской экспедиции 2014 года [2] и подтверждают

тенденции, приведённые в [3].

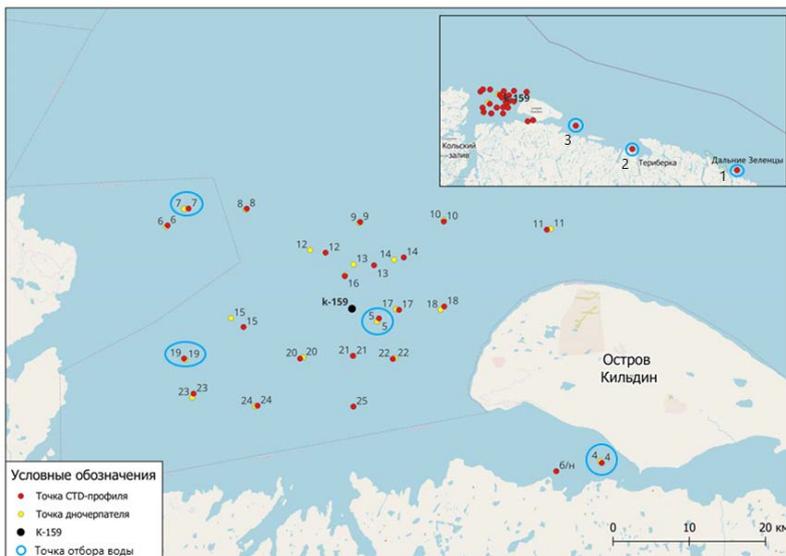


Рис. 1. Схема отбора проб в районе исследований 2023 года.

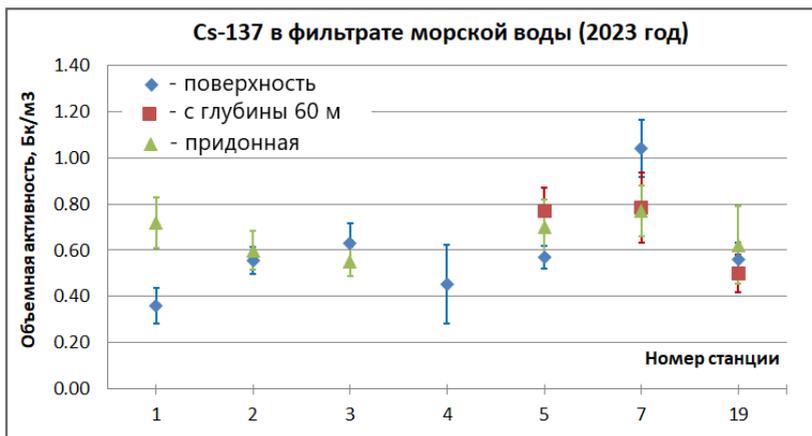


Рис. 2. Объёмная активность Cs-137 в фильтрате морской воды по результатам исследований 2023 года.

В случаях, когда место затопления РОО находится относительно недалеко от берега, работы по мониторингу непосредственно в районе затонувшего объекта, полезно дополнить прибрежным мониторингом в районах по направлению течения от РОО. Например, результаты ежегодного прибрежного радиационного мониторинга Баренцева моря в районе посёлка Териберка (Мурманская область), проводимого в рамках российско-норвежского сотрудничества в 2006 – 2021 годах [3], являлись в том числе и одним из маркеров состояния АПЛ «К-159».

Поэтому в разрабатываемую Росгидрометом программу дальнейшего мониторинга будут внесены предложения по организации таких наблюдений в районе посёлка Териберка и Дальние Зеленцы. Учитывая ранее накопленный ряд данных, такие наблюдения позволят обоснованно предоставлять информацию о наличии или отсутствии поступления загрязнений в данные районы.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Саркисов А.А. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. Радиоэкологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей / Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Никитин В.С. // ИБРАЭ РАН. – М., 2015. – 699 с.
2. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун»: официальный сайт. – Обнинск, 2014 – 2024. – URL: [https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ezhegodniki/ro/ezhegodnik\\_ro\\_2015.pdf](https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/ezhegodniki/ro/ezhegodnik_ro_2015.pdf) (дата обращения: 25.12.2024). – Текст: электронный.
3. Louise K. J. Radioactive contamination / Hilde Elise Heldal, Margarita Katkova, Justin Gwynn et al. // ICES. 2020. Working Group on the Integrated Assessments of the Barents Sea (WGIBAR). 2020. Vol.2, Issue 30. P. 193 – 206. DOI: 10.17895/ices.pub.5998

## УЧЕТ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ АКВАТОРИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПШОО

Муравья В.О., Недоспасов А.А., Анисимов И.М.

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

### CONSIDERATION OF THE HYDROLOGICAL FEATURES OF THE AQUATORIUM WHEN SUVEYING UNDERWATER POTENTIALLY DANGEROUS OBJECT

Muravya V.O., Nedospasov A.A., Anisimov I.M.

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

В статье представлена работа по обследованию подводных потенциально опасных объектов (ПШОО) с учетом гидрологических особенностей района, на примере поиска контейнеров, обнаруженных случайным образом в 2021 году в заливе Степового архипелага Новая Земля.

The article presents the survey of potentially dangerous underwater objects taking into account the hydrological features of the area, the case of searching for containers found accidentally in the Stepovoy Bay of the Novaya Zemlya archipelago in 2021.

**Ключевые слова:** гидрология, приливы, подводные потенциально опасные объекты, ТНПА

**Key words:** hydrology, tides, underwater potentially dangerous object, ROV

Залив Степового является одним из заливов южного острова архипелага Новая Земля, в котором, в середине 20 века, было принято решение сбрасывать твердые радиоактивные отходы (ТРО) в целях безопасной утилизации [1]. Большая часть объектов, затопленных в этом заливе, были найдены и идентифицированы в экспедициях 1992-2016 годов, которые проводились различными организациями на

судах Росгидромета и Института океанологии (ИО) РАН [2].

В 2021 году НИЦ «Курчатовский институт» (КИ) с ИО РАН при участии Русского географического общества (РГО) и МЧС России провели специализированную экспедицию по обследованию мест подводного захоронения ядерных и радиационно опасных объектов (ЯРОО) и радиоактивных отходов (РАО) в Карском море (заливы Абросимова, Степового и Новоземельская впадина), в ходе которой, в центральной части залива Степового, были обнаружены два ранее не идентифицированных объекта при помощи буксируемого необитаемого подводного аппарата (БНПА) «Видеомодуль». Однако погодные условия не позволили провести более тщательное обследование. Позднее, в 2023 году была сделана еще одна попытка их обследования с судового катера с помощью телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) «РОВБИЛДЕР-300», однако из-за сильного течения и плохой видимости выйти на объект с ТНПА не удалось.

В 2024 году в 97-ом рейсе научно-исследовательского судна Академик Мстислав Келдыш (НИС АМК) работы в заливе Степового продолжились. В целях уточнения местоположения двух объектов было принято решение провести обследование центральной части залива с помощью многолучевого эхолота «Teledyne SeaBat T50-R» РГО. Это позволило определить точные координаты и размеры предположительных контейнеров с ТРО, скрепленных между собой.

Планирование обследования затопленных объектов основывалось на детальном анализе погодных условий и гидрологических характеристик района. Опираясь на неудачный опыт поиска ТРО в 2021 и 2023 годах было принято решение рассчитать время прилива используя модель программы WXTIDE32, в основе которой лежат стандартные формулы предвычисления приливов по гармоническим постоянным и приливным таблицам [3].

Полученные значения позволили определить время, так называемой «тихой стоячей воды», когда прилив сменяется отливом или наоборот и скорости приливных течений имеют минимальные значения. Для залива Степового продолжительность стоячей воды была примерно 3 часа (с учетом затихания и набора скорости приливного течения). На рисунке 1 приведен график изменения уровня моря, рассчитанный в WXTIDE32 для метеостанций в заливе Благополучия и в проливе Маточкин шар, как наиболее близко расположенные к з. Степового.

Вышеописанные предвычисления приливов позволили провести работы с ТНПА в период наименьших скоростей течений,

что привело к успешному поиску ТРО.

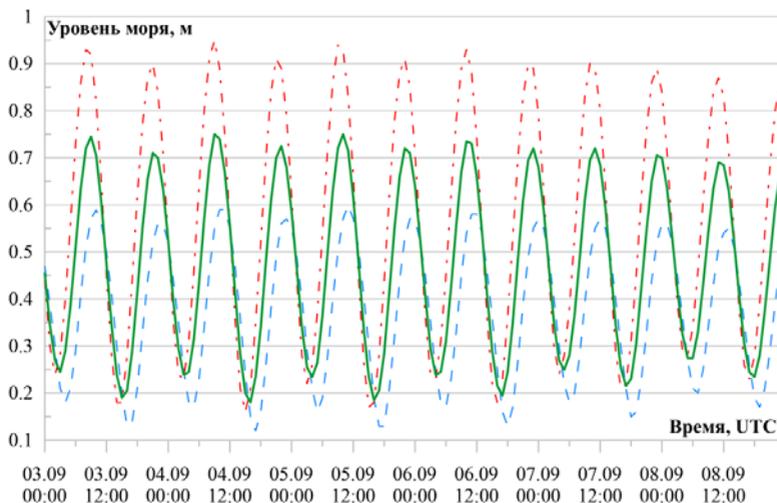


Рис. 1 Изменения уровня моря в з.Степового на 03 – 08.11.24. Синий пунктир – результаты для з. Благополучия, красное точка-тире – для пролива Маточкин шар, зеленая сплошная – среднее значение.

Радиационное обследование объектов проводилось 09.09.2024, в наиболее благоприятное время с точки зрения метеоусловий, с помощью ТНПА «СуперГНОМ» с размещенным на нем подводным гамма-спектрометром РЭМ-26. Всего было выполнено измерение радиоактивности в 7 точках.

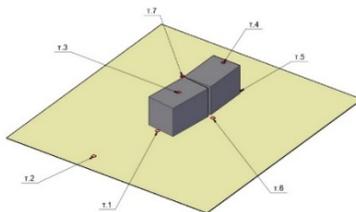


Рис. 2 Слева стоп-кадр видеосъемки ТНПА «СуперГНОМ» с зафиксированными контейнерами, справа схема расположения 7 точек, в которых были проведены измерения гамма-спектрометром РЭМ-26

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0024). Участие в экспедиции на НИС Академик Мстислав Келдыш выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-17-00156).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Саркисов А. А. и др. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. Радиоэкологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей / А. А. Саркисов, Ю. В. Сивинцев, В. Л. Высоцкий, В. С. Никитин; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. — М., 2015. — 699 с.: ил. ISBN 978-5-9907220-0-2 (в пер.).
2. Вялышев А. И. и др. Экологический мониторинг окраинных морей России: монография / А. И. Вялышев, В. М. Добров, А. А. Долгов, Б. А. Нерсесов, Н. А. Римский–Корсаков. — М.: ФГБНУ «Аналитический центр», 2019. — 240 с.
3. Ионов В. В. и др., Май Руслан Игоревич, Смагин Роман Евгеньевич Новые гармонические постоянные приливных колебаний уровня моря в губе Кереть Белого моря (по данным экспедиционных работ 2011 года) / В. В. Ионов, Р. И. Май, Р. Е. Смагин; Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, СПб, № 2, 2013, с. 94-107.

УДК 579.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ВОД КАРСКОГО МОРЯ МЕТОДОМ 16S-МЕТАБАРКОДИРОВАНИЯ

**Ерофеева Т.В.<sup>1</sup>, Недоспасов А.А.<sup>2</sup>, Басин А.Б.<sup>2</sup>, Карманов В.А.<sup>2</sup>,  
Носков С.А.<sup>1</sup>, Намсараев З.Б.<sup>1</sup>, Тоцаков С.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», 123182 Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1, 8(499) 196-95-39, [erofeeva\\_tv@rrcki.ru](mailto:erofeeva_tv@rrcki.ru)*

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

**STUDY OF MICROBIAL DIVERSITY OF THE KARA SEA WATERS  
BY THE 16S-METABARCODING METHOD**

Erofeeva T.V. <sup>1</sup>, Nedospasov A.A. <sup>2</sup>, Basin A.B. <sup>2</sup>, Karmanov V.A. <sup>2</sup>,  
Noskov S.A. <sup>1</sup>, Namsaraev Z.B. <sup>1</sup>, Toshchakov S.V.

<sup>1</sup>*National Research Centre “Kurchatov Institute”, 1, Akademika  
Kurchatova pl., Moscow, 123182, Russia*

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

В работе представлено описание микробного разнообразия Карского моря с использованием неклассических методов микробиологии. Исследование связано с отбором морской воды Карского моря с разных глубин и определением состава микробного сообщества путем осаждения на бактериальных фильтрах с последующим высокопроизводительным секвенированием последовательностей гипервариабельного участка V4 гена 16S рНК.

This paper presents a description of the microbial diversity of the Kara Sea using non-classical microbiological methods. The study involves sampling seawater of the Kara Sea from different depths and determining the composition of the microbial community by sedimentation on bacterial filters followed by high-throughput sequencing of sequences of the hypervariable V4 region of the 16S rRNA gene.

**Ключевые слова:** микробные сообщества, Карское море, 16S рНК, ПЦР, NGS

**Key words:** microbial communities, the Kara Sea, 16S rRNA, PCR, NGS

Метагеномные исследования микробных сообществ арктических морей представляют собой важное направление в современной микробиологии и экологии. Они направлены на изучение генетического разнообразия микроорганизмов, их функциональных возможностей и роли в экосистемах арктических регионов. Арктические моря, такие как Баренцево море, Карское море, море Лаптевых и другие, являются уникальными экосистемами, где микроорганизмы играют ключевую роль в биогеохимических циклах и адаптации к экстремальным условиям [1].

Одним из активно используемых методов исследования микробного разнообразия является анализ последовательностей гипервариабельных участков гена 16S рНК [2, 3]. Сочетание с методами высокопроизводительного секвенирования нового поколения (NGS) позволяет проводить оценку состава микробиома и установление прокариотной таксономии до рода/вида. Кроме того,

метабаркодирование на основе NGS делает возможным получение информации о некультивируемых микроорганизмах, которые невозможно определить с помощью классических методов микробиологии [4].

В настоящей работе представлено исследование микробного разнообразия акватории Карского моря. Методика работы заключалась в заборе морской воды с разных глубин с использованием батометра Нискина. Всего было исследовано 6 станций в районе Карского моря (на входе в залив Степового, кутовая часть залива Степового, Новоземельская впадина, станция в Карском море к востоку от полигонов, залив Течений и залив Благополучия), 1 станция у Карских ворот и 1 станция в районе Баренцева моря (о. Колгуев). В общем числе – 8 станций. Отобранный объем морской воды (10 л с каждой глубины) осаждали на стерильном мембранном фильтре 47 мм с размером пор 0,22 мкм (Sterivex Millipore) для концентрирования микробной биомассы до момента завершения пропускной способности фильтра с последующей консервацией мембран фильтров стерильным консервирующим буферным раствором (150 mM NaCl, 100 mM EDTA, 100 mM Tris-HCl (pH=8.0)). Хранение проб проводили при температуре +4 °С до конца экспедиции и транспортировки в лабораторию. Дополнительно к забору воды, проводили зондирование океанографическим зондом SBE 19plus V2 для получения гидрофизических параметров воды.

В лабораторных условиях проводили экстракцию ДНК из фильтров, представляющую весь пул ДНК сообщества микроорганизмов в конкретной точке отбора, набором Qiagen DNeasy® PowerSoil® Pro Kit. Дальнейшая подготовка образцов включала 2 этапа ПЦР: 1 – со смысловыми праймерами на V4-регион гена 16S рРНК, 2 – с индексными праймерами, маркирующими каждый образец для последующего высокопроизводительного секвенирования на платформе MiSeq.

Биоинформатическая обработка полученных данных позволила провести анализ таких показателей, как изменение альфа-разнообразия в разных точках водоотбора, анализ бета-разнообразия в разных точках акватории Карского моря, а также анализ дифференциально представленных таксонов. Полученные результаты описывают структуру микробного разнообразия в водах Карского моря.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ступникова А.Н., Неретина Т.В., Цетлин А.Б. Метагеномный анализ как инструмент изучения и мониторинга биологического разнообразия в арктических морях // Экология гидросферы. 2023. №1 (9). С. 8–17. URL: <http://hydrosphere-ecology.ru/379>
2. Tringe SG, Hugenholtz P. A renaissance for the pioneering 16S rRNA gene. *Curr Opin Microbiol.* 2008 Oct;11(5):442-6. doi: 10.1016/j.mib.2008.09.011. Epub 2008 Oct 8. PMID: 18817891.
3. Yang B, Wang Y, Qian PY. Sensitivity and correlation of hypervariable regions in 16S rRNA genes in phylogenetic analysis. *BMC Bioinformatics.* 2016 Mar 22; 17:135. doi: 10.1186/s12859-016-0992-y. PMID: 27000765; PMCID: PMC4802574.
4. Bukin YS, Galachyants YP, Morozov IV, Bukin SV, Zakharenko AS, Zemskaya TI. The effect of 16S rRNA region choice on bacterial community metabarcoding results. *Sci Data.* 2019 Feb 5;6:190007. doi: 10.1038/sdata.2019.7. Erratum in: *Sci Data.* 2022 Mar 17;9(1):94. doi: 10.1038/s41597-022-01246-0. PMID: 30720800; PMCID: PMC6362892.

УДК 551.46.007

### **АКУСТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ДНА В ЗАЛИВЕ СТЕПОВОГО (НОВАЯ ЗЕМЛЯ).**

**Хортов А.В.<sup>1</sup>, Римский-Корсаков Н.А.<sup>1</sup>, Пронин<sup>1</sup> А.А.,  
Книгель Н.Я.<sup>2</sup>, Кикнадзе О.Е.<sup>2</sup>, Лесин А.В.<sup>1</sup>.**

*<sup>1</sup>Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Нахимовский  
проспект 36, 117997, г. Москва, 8(499) 1247987, nrk@ocean.ru*

*<sup>2</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»  
(НИЦ КИ), площадь Академика Курчатова, 1, стр. 113, Москва  
+7 (926)222-79-07, Kiknadze\_OE@nrcki.ru*

### **ACOUSTIC BOTTOM PROFILING AT STEPVOVOYE BAY (NOVAYA ZEMLYA)**

**Khortov A.V.<sup>1</sup>, Rimsky-Korsakov N.A.<sup>1</sup>, Pronin A.A.<sup>1</sup>, Knivel N.Ya.<sup>2</sup>,  
Kiknadze O.E.<sup>2</sup>, Lesin A.V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, 117997, Russia, e-mail: [nrk@ocean.ru](mailto:nrk@ocean.ru)*

<sup>2</sup>*Kurchatov National Research Center, Moscow, 123182, Russia, e-mail : [Kiknadze\\_OE@nrcki.ru](mailto:Kiknadze_OE@nrcki.ru)*

Доклад посвящен исследованию осадочной толщи и подстилающих пород дна южной части залива Степового восточного побережья Новой Земли, в районе затопления АПЛ «К-27». Для подготовки проекта дальнейшего обращения с АПЛ важно знать строение подстилающего дна. Структура грунта была впервые оценена по результатам зондирования с помощью акустического профилографа АП-5.

The report is devoted to the study of sedimentary strata and underlying rocks of the bottom of the southern part of the Stepovoy Bay at the eastern coast of Novaya Zemlya, nearby the submerged «K-27» submarine. To develop a handling project for this submarine, it is important to know the structure of the underlying bottom. The first estimate of the bottom structure has been received by using an acoustic profiler «AP-5».

В 2024 году в рамках работ экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш» (97 рейс) было проведено комплексное исследование окружающей среды в районе затопления АПЛ «К-27» [1]. Исследование включало аэрофотосъемку района, фотосъемку форм берегового рельефа, геологические изыскания, гамма-спектрометрические измерения, а также съемку участка дна в районе затопления АПЛ.

Съемка дна включала геофизическое зондирование с помощью буксируемого акустического профилографа АП-5 и судового эхолота Kongsberg EA600, а также исследование рельефа дна с катера с помощью навесного многолучевого эхолота Т50-R.

Геофизическое зондирование дна центральной части залива, прилегающего к месту затопления АПЛ «К-27» было выполнено вдоль трех маршрутов общей протяженностью 4.4 м. м. (8.2 км). Схема маршрутов показана на рисунке 1.

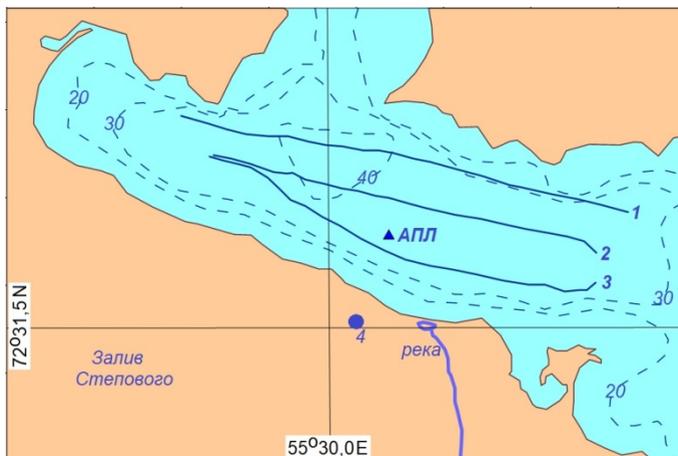
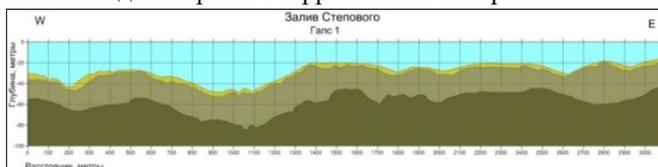


Рис. 1 - Схема маршрутов геофизического зондирования дна в южной части залива Степового (Новая Земля): 1,2,3 –маршруты движения судна, 4 – место наблюдения, 20, 30, 40 – изолинии глубин, АПЛ – место затопления АПЛ.

На основе данных акустического профилирования и эхолотирования были построены эхолотные профили и акустические разрезы толщи донных отложений и проведена их интерпретация. Выделены основные отражающие горизонты («рефлекторы»), а также ряд отдельных геолого-геоморфологических объектов, осложняющих, в отдельных случаях, строение осадочной толщи.

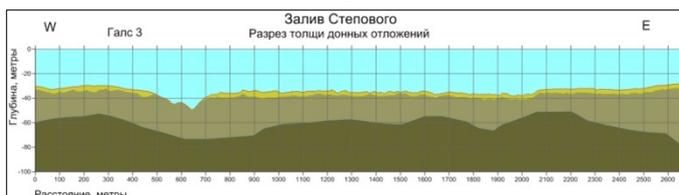
Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что верхняя часть разреза сложена ледниково-морскими отложениями голоценового возраста [2]. Большую роль в их формировании играют флювиогляциальные и солифлюкционные процессы на прилегающей суше, а также ледовый разнос терригенного материала.



а



б



в

Рис. 2 - Результаты совместной обработки данных акустического профилирования и эхолотной съемки: а, б, в – профили дна и подстилающих пород соответственно вдоль маршрутов 1, 2 и 3 (рис.1).

На профиле, выполненном вдоль маршрута 3, расположенном наиболее близко к берегу, хорошо виден подледниковый канал стока талых вод (рис. 2в и 3) - форма мезорельефа дна, характеризующая условия формирования осадочной толщи [3,4].

Представленные результаты акустического профилирования толщи донных отложений и их последующий комплексный анализ, с учетом данных, полученных другими методами (гидролокация, отбор проб и т.д.) представляет несомненный интерес. Целесообразно продолжить подобные исследования в будущем, для выявления возможных геологических опасностей с целью прогноза состояния конструкции корпуса затопленной АПЛ.

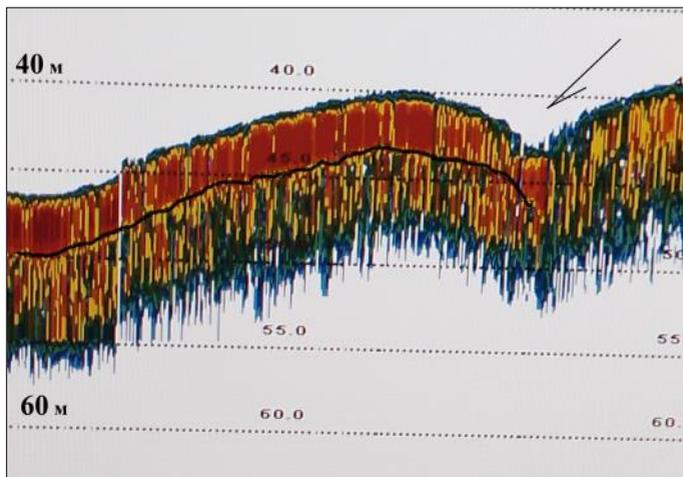


Рисунок 3 - Фрагмент записи судового эхолота EA600: вверху помечен подводный канал, где голоценовые отложения (красный цвет), частично, размывы или, практически, не откладывались.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (темы FMWE-2024-0024, а также FMWE-2024-0016, FMWE-2024-0021, FMWE-2024-0022, FMWE-2024-0026), приказа НИЦ КИ от 27.12.2024 г №5483, контракта ИО РАН с НИЦ КИ от 20.05.2024 № 105-3-24-44-22, и государственного контракта ИО РАН с ФГКУ ЦСООР «ЛИДЕР» от 26.03.2024 № 101-24. Аналитические исследования выполнены при поддержке РНФ (проект № 23-17-00156).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. N. A. Rimsky-Korsakov, N. Ya. Knievel, M. V. Flint, A. Yu. Kazennov, O. E. Kiknadze, I. M. Anisimov, A. A. Pronin, A. V. Lesin, V. O. Muraviya. Investigation of Underwater Radioactive Objects in Stepovoy Bay (Novaya Zemlya) // *Oceanology*. Volume 64, Issue 6, pages 892–902, (2024).
2. Павлидис Ю.А., Никифоров С.Л. Обстановки морфолитогенеза в прибрежной зоне Мирового океана. М. Наука. 2007. 455 С.
3. Миرونюк С.Г., Иванова А.А. Микро и мезо рельеф гляциального шельфа Баренцева и Карского морей в свете новых данных. Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2018. № 76. С. 41-58.
4. Atlas of Submarine Glacial Landform: Modern, Quaternary and Ancient/Edited by J. A. Dowdeswell et al. 2016. 618 p.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ  
МЕСТА ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ УСТАНОВКИ БЕРЕГОВОГО  
БЛОКА ПСПРМ В ЗАЛИВЕ СТЕПОВОГО (НОВАЯ ЗЕМЛЯ).**

**Хортов А.В.<sup>1</sup>, Мишин А.В.<sup>1</sup>, Кикнадзе О.Е.<sup>2</sup>, Книвель Н.Я.<sup>2</sup>,  
Римский-Корсаков Н.А.<sup>1</sup>, Пронин А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Нахимовский  
проспект 36, 117997, г. Москва, 8(499) 1247987, nrk@ocean.ru*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»  
(НИЦ КИ), площадь Академика Курчатова, 1, стр. 113, Москва  
+7 (926)222-79-07, Kiknadze\_OE@nrcki.ru*

**INVESTIGATION OF THE GEOLOGICAL FEATURES OF THE SITE  
OF THE PROPOSED INSTALLATION OF THE PSPRM COASTAL  
UNIT IN STEPVOVOYE BAY (NOVAYA ZEMLYA).**

**Khortov A.V.<sup>1</sup>, Mishin A.V.<sup>1</sup>, Kiknadze O.E.<sup>2</sup>, Knivel N.Y.<sup>2</sup>,  
Rimsky-Korsakov N.A.<sup>1</sup>, Pronin A.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow,  
117997, Russia, e-mail: [nrk@ocean.ru](mailto:nrk@ocean.ru)*

<sup>2</sup>*Kurchatov National Research Center, Moscow, 123182, Russia, e-mail:  
[Kiknadze\\_OE@nrcki.ru](mailto:Kiknadze_OE@nrcki.ru)*

Доклад посвящен организации мониторинга потенциально наиболее опасного подводного радиоактивного объекта, из затопленных в Карском море. Для организации контроля состояния АПЛ «К-27» в заливе Степового планируется создание автономной станции с береговым блоком. В докладе рассмотрены результаты исследования суши берега, выполненного с целью поиска площадки для установки такого блока.

The report is devoted to the organization of monitoring of the potentially most dangerous underwater radioactive facility, which was flooded in the Kara Sea. It is planned to create an autonomous station with an onshore unit in Stepovoye Bay to monitor the condition of the K-27 submarine. The report examines the results of a study of the land of the coast, carried out in order to find a site for the installation of such a unit.

Подводная станция постоянного радиационного мониторинга (ПСПРМ), разработка которой ведется в НИЦ «Курчатовский институт» с 2023 г., предназначена для контроля состояния реакторов АПЛ «К-27», затопленной в заливе Степового [1]. Береговой блок ПСПРМ будет размещен на берегу залива Степового, в непосредственной близости от места затопления АПЛ К-27.

В 2024 году в рамках работ экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш» (97 рейс) было проведено исследование потенциального места размещения берегового блока ПСПРМ. Исследование включало аэрофотосъемку района, фотосъемку форм берегового рельефа, геологические изыскания, гамма-спектрометрические измерения, а также съемку участка дна между береговой линией и местом затопления АПЛ.

Для составления топографического плана участка береговой линии в непосредственной близости от места затопления АПЛ «К-27» была выполнена аэрофотосъемка с помощью квадрокоптера DJI Mavic Air. Обработка полученных фотографий и расчет карты высот проводился с использованием программы Agisoft Metashpe и Surfer (Golden Software). Результаты представлены на рисунке 1.

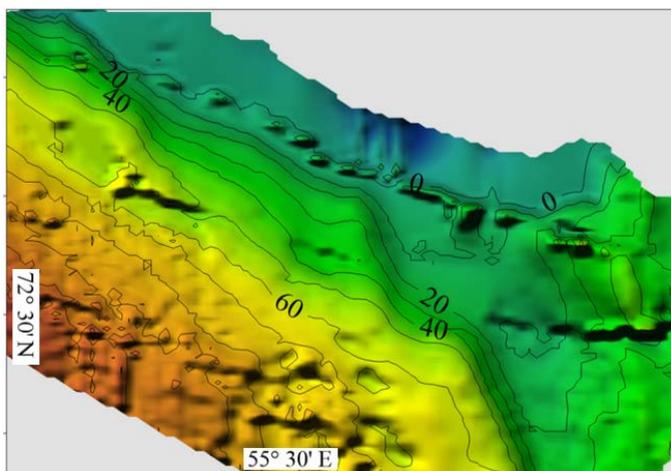


Рис. 1 - Схема высот участка берега залива Степового в районе затопления АПЛ «К-27», значения высот приведены в метрах.

Обследованный участок размером примерно 1000 x 500 м представляет собой крутой обрывистый берег (рисунки 1, 2 и 3), сложенный слоистыми сланцевыми породам с максимальной

зафиксированной высотой около 120м. Обрыв, граничащий с морем, имеет высоту около 20м. На данном участке имеется пойма и русло реки, покрытая мелкой галькой и обломочным материалом. От кромки воды она отделена фильтрующим валом из камней и гальки высотой около 1.5м.

9 сентября 2024 года состоялась высадка на берег залива Степового геологического отряда с целью изучения геологического строения и орогидрографии устьевой части реки Степового для решения инженерно-геологических задач. Исходя из ограничений по времени и площади исследований, был выбран маршрут из 6 точек с отбором образцов, описанием рельефа местности, орогидрографии и естественных обнажений горных пород (рис. 2).



Рис. 2 - Геологический маршрут исследования приустьевой части реки Степового (южный берег залива Степового).

Визуальное наблюдение рельефа южного берега залива Степового показывает, что с точки зрения палеогеографии он представляет собой прибрежную, в значительной степени пенепленизированную и в дальнейшем террасированную равнину (рис. 3). Наиболее четко выраженные аккумулятивные или абразионные морские уровни связаны с позднекайнозойской трансгрессией и, возможно, с последующим неотектоническим или гляциоизостатическим поднятием побережий [2, 3]. На рисунке 2 стрелками показаны морские террасы, выработанные в доголоценовое время.

С точки зрения инженерного строительства, образовавшиеся на побережье залива Степового террасы представляют собой интерес как потенциальные площадки с выработанным эрозией ровным и устойчивым основанием (рис. 3 и 4).

Таким образом, выделенные экспедицией площадки в точках №3 и №4, прикрытые от ветра с трех частей света горами, удаленные от обрыво-опасного склона (примерно 100 м), могут быть использованы для временных инженерно-строительных целей.

Полученную по результатам аэрофотосъемки схему можно считать удовлетворительной и пригодной для первичного анализа.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (темы FMWE-2024-0024, а также FMWE-2024-0016, FMWE-2024-0021, FMWE-2024-0022, FMWE-2024-0026), приказа НИЦ КИ от 27.12.2024 г №5483, контракта ИО РАН с НИЦ КИ от 20.05.2024 № 105-3-24-44-22, и государственного контракта ИО РАН с ФГКУ ЦСООР «ЛИДЕР» от 26.03.2024 № 101-24. Аналитические исследования выполнены при поддержке РНФ (проект № 23-17-00156).



Рис. 3 - Морские террасы южного берега залива Степового, связанные с плейстоценовыми трансгрессиями.

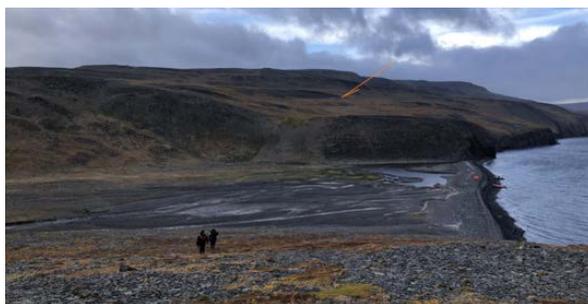


Рис. 4 - Участок террасированной равнины (показан стрелкой), пригодный в качестве площадки под инженерное сооружение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. N. A. Rimsky-Korsakov, N. Ya. Knievel, M. V. Flint, A. Yu. Kazennov, O. E. Kiknadze, I. M. Anisimov, A. A. Pronin, A. V. Lesin, V. O. Muraviya. Investigation of Underwater Radioactive Objects in Stepovoy Bay (Novaya Zemlya) // *Oceanology*. Volume 64, Issue 6, pages 892–902, (2024).
2. Дунаев Н.Н., Левченко О.В., Мерклин Л.Р., Павлидис Ю.А. Приновоземель-ский шельф в позднечетвертичное время // *Океанология*. - 1995. - Т. 35. -№ 3. - С. 400-450.
3. Павлидис Ю.А., Ионин А.С., Щербаков Ф.А., Дунаев Н.Н., Никифоров С.Л. Арктический шельф. Позднечетвертичная история как основа прогноза развития. М.:ГЕОС. 1998. - 187 с.

УДК 539.1.074, 543.429.3, 621.039.76

### **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДВОДНЫЕ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ**

**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)*

### **MODERN UNDERWATER GAMMA-SPECTROMETERS FOR RADIATION INSPECTIONS**

**Kazennov 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 работ по созданию современных подводных гамма-спектрометров в НИЦ «Курчатовский институт» в целях их дальнейшего применения при проведении радиационных обследований подводных потенциально опасных объектов.

The article presents the the results of work on the creation of modern underwater gamma-spectrometers at the National Research Center

«Kurchatov Institute» for the purpose of their further use in conducting radiation inspections of underwater potentially hazardous objects.

**Ключевые слова:** радиационный мониторинг, подводные гамма-спектрометры, затопление радиоактивных отходов.

**Key words:** radiation monitoring, underwater gamma spectrometers radioactive waste dumping.

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.

Основными методами проведения радиационных обследований являются прямые и косвенные измерения уровня радиоактивности исследуемых объектов. Прямые измерения, проводимые с помощью подводных гамма-спектрометров непосредственно вблизи объекта, позволяют получить наиболее полную информацию о текущей радиационной ситуации на объекте. Для этих целей в НИЦ «Курчатовский институт» разрабатываются современные подводные гамма-спектрометры типа РЭМ.

На текущий момент спектрометры серии РЭМ-4Х, внесенные в государственный реестр средств измерений, уже активно применяются в работах по обследованию затопленных/затонувших объектов с ТРО и ОЯТ [1–3]. Полученные в ходе этих обследований результаты позволили не только улучшить и модернизировать разработанные типы спектрометров, но и расширить номенклатуру используемых детекторов новыми типами скintилляционных кристаллов (табл. 1).

Таблица 1. Типы спектрометров серии РЭМ-4Х

Тип спектрометра	Тип и размер кристалла, мм	Максимальная глубина, м	Основной способ использования
РЭМ-4-25	BGO d25x50	400 (1600 опционально)	Проведение измерений в труднодоступных местах
РЭМ-4-50	BGO d50x100	400 (1600 опционально)	Проведение оперативных измерений на ТНПА

РЭМ-4-50 СВТ	CeBr <sub>3</sub> d51x51	2000	Проведение сложных измерений с разрешением
РЭМ-4-76Б	BGO d76x150	400 (1600 опционально)	Проведение стационарных измерений с высокой чувствительностью
РЭМ-4-76Ц	CWO d76x150	400 (1600 опционально)	Проведение высокоэнергетических измерений

Использование именно таких типов кристаллов обусловлено широким спектром задач. Различные виды сцинтилляционных кристаллов, габаритные и конструкционные особенности подводных спектрометров серии РЭМ-4Х позволяет гибко подходить к задаче проведения радиационных обследований на самых разных объектах (рис. 1).

В настоящее время в НИЦ «Курчатовский институт» ведутся работы по созданию подводных спектрометров серии РЭМ-5. Новое поколение спектрометров будет обладать большей стабильностью работы и улучшенными эксплуатационными характеристиками. Съёмный аккумуляторный блок позволит производить оперативную замену источника питания, а повышенная эргономика упростит подготовку аппаратуры к проведению измерений.

Работа выполнена в рамках выполнения приказа №5483 от 27.12.2024 г. Аналитические исследования выполнены при поддержке РНФ (проект № 23-17-00156)



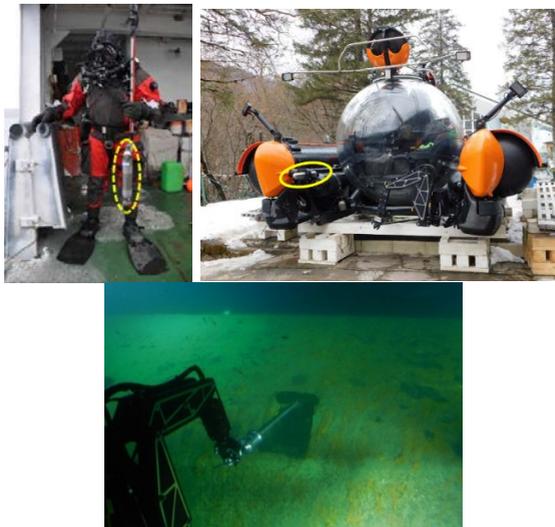


Рис. 1. Варианты применения подводных спектрометров серии РЭМ-4Х

## 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. Итоговый отчет выполнения научно-исследовательской работы по теме «Исследование состояния подводных потенциально опасных объектов в Карском и Баренцевом морях и их влияния на локальные экосистемы арктических морей в 2023 году». Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Москва, 2023.
3. Итоговый отчет выполнения научно-исследовательской работы по теме «Исследование состояния подводных потенциально опасных объектов в Карском море и их влияние на локальные экосистемы Арктики». Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Москва, 2024.

УДК 504.064.3

## **ПОДВОДНАЯ СТАНЦИЯ ПОСТОЯННОГО РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА**

**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)*

## UNDERWATER PERMANENT RADIATION MONITORING STATION

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 приведено описание разрабатываемой в НИЦ «Курчатовский институт» подводной станции постоянного радиационного мониторинга: ее назначение, принцип работы, основные элементы и область возможного применения.

The article provides a description of the underwater station for continuous radiation monitoring being developed at the Kurchatov Institute National Research Center: its purpose, operating principle, main elements and area of possible application.

**Ключевые слова:** радиационный мониторинг, подводные гамма-спектрометры, затопление радиоактивных отходов.

**Key words:** radiation monitoring, underwater gamma spectrometers radioactive waste dumping.

Радиационное обследование подводных потенциально опасных объектов является важнейшей частью решения проблемы реабилитации арктической зоны Российской Федерации. Долговременный мониторинг наиболее опасных объектов, в отличие от эпизодических обследований, позволяет получить более полную картину о состоянии защитных барьеров, а также оперативно зафиксировать начало развития возможной чрезвычайной ситуации и принять меры по минимизации распространения радиоактивности в окружающей среде.

В рамках выполнения государственной программы Российской Федерации «Научно-техническое развитие Российской Федерации» НИЦ «Курчатовский институт» разрабатывает подводную станцию постоянного мониторинга подводных потенциально опасных объектов [1]. Станция состоит из береговой и подводной частей, соединенных

между собой кабельной линией связи. Трехмерная модель ПСПРМ представлена на рисунке 1.

Береговая надводная часть ПСПРМ представляет собой автономную гибридную энергетическую установку контейнерного исполнения с аппаратурой сбора и первичной обработки информации, поступающей от измерительного оборудования, и спутниковым каналом передачи данных. Энергетический комплекс выполняет задачу бесперебойного энергообеспечения всего оборудования как подводной, так и наземной части.

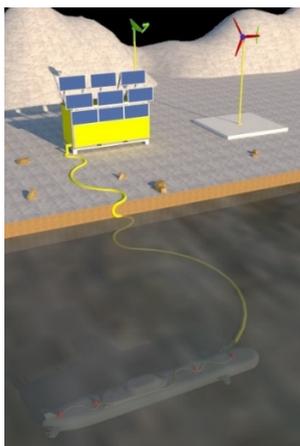


Рис. 1 – Трехмерная модель ПСПРМ

Подводная часть ПСПРМ включает концентратор, а также подключаемое к нему измерительное оборудование, представленное следующими приборами:

- подводный гамма-спектрометр РЭМ-4-25 «Щуп» – предназначен для контроля уровней гамма-излучения (мощности дозы и спектрального состава) в отверстиях корпуса контролируемого объекта на минимально возможном расстоянии от источника излучения;

- подводный гамма-спектрометр РЭМ-4-50 – для мониторинга уровней излучения (мощности дозы и спектрального состава) на корпусе контролируемого объекта;

- подводный гамма-спектрометр РЭМ-4-76 – для мониторинга содержания радионуклидов в морской воде рядом с контролируемым объектом;

- радиометр нейтронного потока МКН-01 ГС – для контроля величины нейтронного потока на корпусе контролируемого объекта;

- измеритель гидрологических параметров Вектор-3 – для контроля скорости и направления течения, давления, температуры и солености воды.

Состав измерительного оборудования может варьироваться в зависимости от особенностей объекта исследования и решаемых задач.

Концентратор подводной части представляет собой распределитель питания, информационных и управляющих сигналов, который обеспечивает подключение измерительного оборудования к береговой части.

Результаты измерений через концентратор по оптоволоконному кабелю поступают на береговой комплекс, а оттуда по каналу спутниковой связи «Гонец» в удаленный центр контроля. Кроме того, оператор центра контроля имеет возможность дистанционно управлять режимами измерений, а также осуществлять контроль и управление оборудованием берегового комплекса.

В центре контроля на пульте оператора отображаются:

- мощность дозы, определенная по спектру гамма-излучения для каждого ПГС и временной ряд зарегистрированных мощностей дозы (в виде гистограммы);

- скорость счета радиометра нейтронного потока и соответствующий временной ряд;

- значения гидрологических параметров, определенных за время регистрации спектров и регистрации нейтронного потока, и соответствующие временные ряды;

- предупреждение о «радиационной аномалии» и название обнаруженного техногенного радионуклида (для РЭМ-4-76 – расчетная удельная активность в морской воде).

Вид окна программы визуализации данных на пульте оператора представлен на рисунке 2.

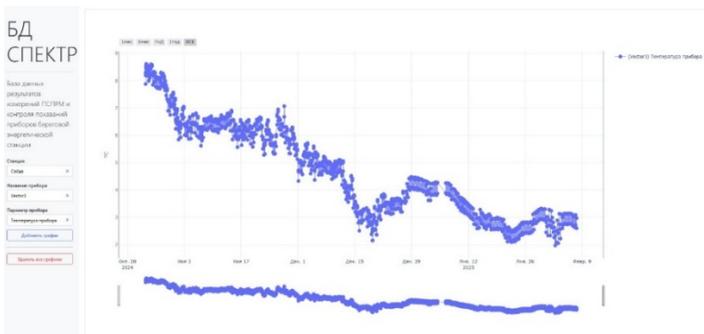


Рис. 2 - Окно программы визуализации данных на пульте оператора

В 2023 году был изготовлен и установлен в н.п. Сайда-Губа экспериментальный образец ПСПРМ. Целью создания и дальнейших испытаний экспериментального образца были проверка работоспособности и надежности используемого оборудования и отработка принятых при его разработке конструкторско-технологических решений. Испытания экспериментального образца станции позволили проверить общую работоспособность всех систем ПСПРМ при длительной автономной работе.

Использование ПСПРМ, как средства долговременного дистанционного мониторинга, актуально и целесообразно в отношении ряда ППОО с отработавшим ядерным топливом ОЯТ. В первую очередь, это атомные подводные лодки К-27 (залив Степового архипелага Новая Земля) и Б-159 (Баренцево море, около 70 км от г. Мурманск).

Работа выполнена в рамках выполнения приказа №5483 от 27.12.2024 г. Аналитические исследования выполнены при поддержке РНФ (проект № 23-17-00156). Аналитические исследования выполнены при поддержке РНФ (проект № 23-17-00156)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция непрерывного радиационного мониторинга объектов с отработавшим ядерным топливом, затопленных / затонувших в арктических морях и основные этапы работ по созданию и размещению донных станций / подводных спектрометров. ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт». Москва, 2021. 32 с.  
УДК 504.064.3, 551.46.077

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА РАДИОАКТИВНОСТИ ИЗ АПЛ «КОМСОМОЛЕЦ»

Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е.

НИЦ «Курчатовский институт»,  
123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1,  
+7 (499) 196–95–39, [nrcki@nrcki.ru](mailto:nrcki@nrcki.ru)

### STUDY OF RADIOACTIVITY RELEASE FROM THE "KOMSOMOLETS" NUCLEAR SUBMARINE

Kazenov A.Yu., Kiknadze O.E.

*National Research Center "Kurchatov Institute",  
1, Academician Kurchatova sq., Moscow, Russia, 123182*

В статье представлены результаты исследования динамики выхода радиоактивности из реакторного отсека АПЛ К-278 «Комсомолец» в морскую среду. Данные были получены с помощью подводных гамма-спектрометров серии РЭМ, разработанных в НИЦ «Курчатовский институт».

The paper presents the results of studies of radioactivity release from the reactor compartment of K-278 nuclear submarine «Komsomolets» into the marine environment. The presented data was obtained using underwater gamma-spectrometers REM, developed at the National Research Center «Kurchatov Institute».

**Ключевые слова:** выход радиоактивности, радиационный мониторинг, подводные гамма-спектрометры, АПЛ «Комсомолец».

**Key words:** radioactivity release, radiation monitoring, underwater gamma spectrometers, nuclear submarine «Komsomolets».

Авторы доклада представляют результаты работ по исследованию выхода радиоактивности из реакторного отсека АПЛ К-278 «Комсомолец», которая затонула 7 апреля 1989 года в Норвежском море на глубине 1680 метров. Суммарная активность долгоживущих продуктов деления ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) в реакторе в настоящее время составляет ~ 93 кКи (3,4 ПБк). На борту подводной лодки

находятся также две ядерные боеголовки (6,3 кг  $^{239}\text{Pu}$ ). Суммарная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  составляет 564 Ки (21 ТБк) [1].

В 2019 году норвежским агентством по радиационной защите (NRPA) была организована очередная экспедиция по обследованию АПЛ «Комсомолец». В этой экспедиции норвежскими специалистами был проведен отбор проб воды из трубы вентиляции с помощью специальной системы, расположенной на телеуправляемом подводном аппарате *Agir6000*.

Отбор проб проводился в четырех погружениях подводного аппарата, при этом в первом погружении «дымления» из трубы не было отмечено, а во всех последующих погружениях «дымление» отчетливо наблюдалось. При этом в пробе воды отобранной в первом погружении (т.е. в отсутствии «дымления») концентрация  $^{137}\text{Cs}$  не превышала  $60 \text{ Бк/м}^3$ . Пробы воды, взятые из района вентиляционной трубы или рядом с ней, когда наблюдалось «дымление», дали результаты для  $^{137}\text{Cs}$  - от  $1,4 \times 10^4$  до  $7,92 \times 10^5 \text{ Бк/м}^3$  и для  $^{90}\text{Sr}$  от  $3,2 \times 10^3 \text{ Бк/м}^3$  до  $3,98 \times 10^5 \text{ Бк/м}^3$ . Пробы, отобранные на высоте 40 см над выходом трубы дали результаты на 2 порядка меньше.

Исследования 2019 г. показали, что для оценки величины выхода радионуклидов из АПЛ «Комсомолец» метод отбора проб недостаточно информативен, и он должен быть дополнен прямыми долгосрочными измерениями в трубе вентиляции с помощью подводного гамма-спектрометра.

Измерения выхода радиоактивности были продолжены в июле 2022 года. Гамма-спектрометр серии РЭМ был размещен в трубе вентиляции реакторного отсека, при этом за 22 часа было зарегистрировано 22 спектра с экспозицией 300 с. Как видно из рисунка 1, активность  $^{137}\text{Cs}$  в воде вентиляционной трубы реакторного отсека уменьшается за время измерения примерно в 2 раза с 22 до 10 Бк/л [2].

Средние значения объемной активности внутри вентиляционной трубы и поверхностной активности, осажденной на ее стенке, составляют, соответственно,  $14,0 \times 10^3 \text{ Бк/м}^3$  и  $7000 \text{ Бк/м}^2$ . Таким образом, полученные значения превышают результаты, полученные в 2007 г. по воде более чем в 2 раза, и по осажденной активности на стенке трубы – на 40%.

В июне 2023 г. гамма-спектрометр РЭМ-26 был размещен в трубе вентиляции для проведения долговременных измерений на срок до 1 года. Режим измерений в этом случае составлял один спектр в сутки с экспозицией 100 с. Примерно через 8 месяцев спектрометр был извлечен из трубы вентиляции.

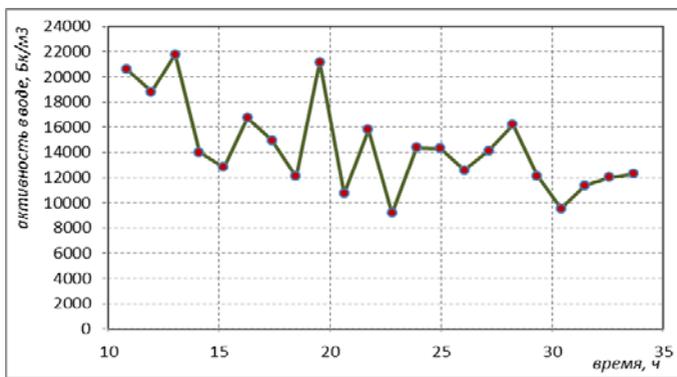


Рис. 1 – Изменение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в воде трубы вентиляции реакторного отсека, зарегистрированное в 2022 г.

Измерения в трубе вентиляции проводились с июня 2023 г. по февраль 2024 г. что на данный момент составляет наибольший срок непрерывного мониторинга выхода радиоактивности из АПЛ «Комсомолец».

На рисунке 2 представлен ежесуточный график изменения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в трубе вентиляции в течение 235 суток.

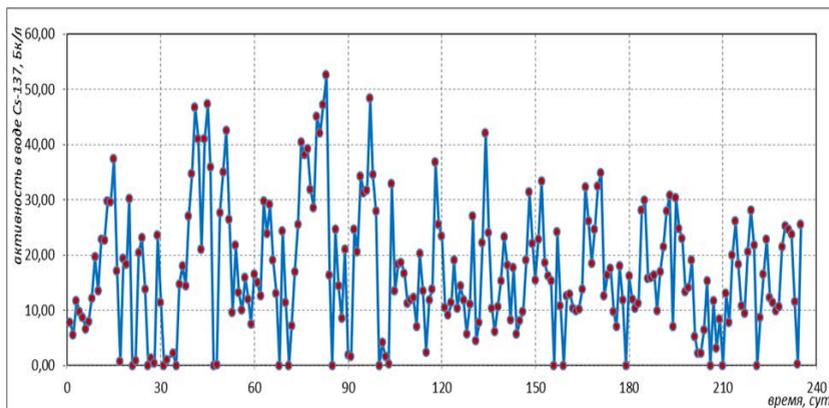


Рисунок 2 – Изменение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в воде трубы вентиляции АПЛ «Комсомолец» за 8 месяцев непрерывного мониторинга в 23-24 гг.

Измерения 2023-2024 гг. подтверждают переменный характер

выхода радионуклидов из реакторного отсека АПЛ «Комсомолец», связанный с изменением скорости и направления придонных течений. При этом особо следует отметить, что, несмотря на 15 лет, прошедших с момента измерений в 2007 г., скорость выхода  $^{137}\text{Cs}$  из АПЛ «Комсомолец» не уменьшилась. Усредненное по всем измерениям значение концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в воде трубы составляет 17 Бк/л, что близко к значению, полученному в 2022 г. (14 Бк/л) и в более чем в три раза превосходит значение 2007 г. (5 Бк/л).

Такая скорость поступления радиоактивных материалов в окружающую морскую среду не представляет опасности ни для локальных экосистем Норвежского моря, ни для населения прибрежных районов, ни для потребителей продукции рыболовного промысла, осуществляемого в этом районе. Однако, измерения, проведенные в 2023-2024 гг., как и результаты более ранних обследований, явно свидетельствуют о необходимости постоянного, или хотя бы долговременного контроля выхода радионуклидов из АПЛ «Комсомолец». Наиболее предпочтительным вариантом является размещение в трубе специальной спектрометрической системы на основе спектрометра типа РЭМ-26 с увеличенным ресурсом автономной работы и измерителя расхода воды, проходящей через трубу реакторного отсека, на срок не менее 1 года.

Работа выполнена в рамках выполнения приказа №5483 от 27.12.2024 г. Аналитические исследования выполнены при поддержке РНФ (проект № 23-17-00156)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гладков Г.А., Сивинцев Ю.В. Радиационная обстановка в районе затонувшей подводной лодки «Комсомолец». Атомная энергия, т.77, вып.5, ноябрь 1994, стр. 379-386.
2. Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е. Результаты исследования выхода радионуклидов из реактора АПЛ «Комсомолец». Отчет НИЦ «Курчатовский институт» рег. № 113-19/09 от 12.10.2022 г.

УДК 621.039.7, 629.58

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЗАТОНУВШЕЙ АПЛ Б-159

Книгель Н.Я., 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)*

## INVESTIGATION OF THE CONDITION OF THE SUNKEN SSN B-159

Knivel N.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 проведенного в 2022 году радиационного обследования АПЛ Б-159 с целью получения актуальных и достоверных данных, касающихся состояния внутренних защитных барьеров АПЛ, признаков негерметичности первого контура, динамики изменения радиационной обстановки, параметров окружающей морской среды.

The article presents the results of the radiation investigation of the NS B-159 conducted in 2022 in order to obtain up-to-date and reliable data on the state of the internal protective barriers of the submarine, signs of leakage of the primary circuit, dynamics of changes in the radiation situation, and parameters of marine environment.

**Ключевые слова:** выход радиоактивности, радиационный мониторинг, подводные гамма-спектрометры, АПЛ Б-159.

**Key words:** radioactivity release, radiation monitoring, underwater gamma spectrometers, nuclear submarine B-159.

В рамках Государственной программы РФ «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» НИЦ «Курчатовский институт» подготовил и в 2022 году провел комплексное инженерно-радиационное обследование (КИРО) затонувшей АПЛ Б-159 с целью определения фактического состояния этого объекта и сбора актуальных данных для выработки обоснованных рекомендаций по дальнейшему обращению с ним [1]. Из-за высокого радиационного потенциала, отработавшего невыгруженного ядерного топлива, в настоящее время Б-159 считается

одним из наиболее ядерно-опасных объектов с ОЯТ, затопленных в Арктике [2].

Программа КИРО включала в себя проведение силами специалистов НИЦ «Курчатовский институт» и АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества» (ЦПИ РГО) радиационного обследования АПЛ с помощью обитаемого подводного аппарата (ОПА) С-Explorer 3.11 с целью получения достоверных данных о динамике изменения радиационной обстановки и радиоактивности воды над корпусом АПЛ для выявления возможной негерметичности первого контура и анализа состояния внутренних защитных барьеров, а также инженерное обследование, направленное на получение образцов донного грунта и материалов легкого и прочного корпусов АПЛ, а также фото- и видео-обследование.

Первичное обследование показало, что мощность эквивалентной дозы (МЭД) на расстоянии 1-2 м от легкого корпуса лодки составляет не более 2,2 нЗв/ч (рис. 1), что примерно в 70 раз меньше средних значений радиационного фона на поверхности суши [1]. Присутствия техногенных радионуклидов также не было выявлено, что свидетельствует об отсутствии выхода радиоактивности в окружающую среду.

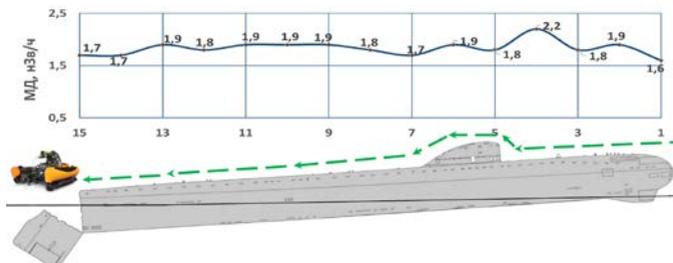


Рис. 1. Маршрут движения ОПА С-Explorer 3.11 и результаты измерений МЭД в воде на расстоянии 1-2 м над корпусом Б-159

При проведении дополнительных измерений на отдельных участках легкого корпуса АПЛ, представляющих повышенный интерес, также не было выявлено превышения допустимых значений, зарегистрированные уровни МЭД колебались от 8,8 до 18 нЗв/ч (рис. 2) [1]. В качестве подобных участков были выделены район палубы над реакторным отсеком и места с отверстиями в легком корпусе в кормовой и носовой частях АПЛ.

Характерные спектры, зарегистрированные в этих точках представлены на рисунке 2. Формы спектров обусловлены

естественными природными радионуклидами, присутствия техногенных радионуклидов на этих спектрах не выявлено, что свидетельствует о герметичности первого контура ядерной энергетической установки.

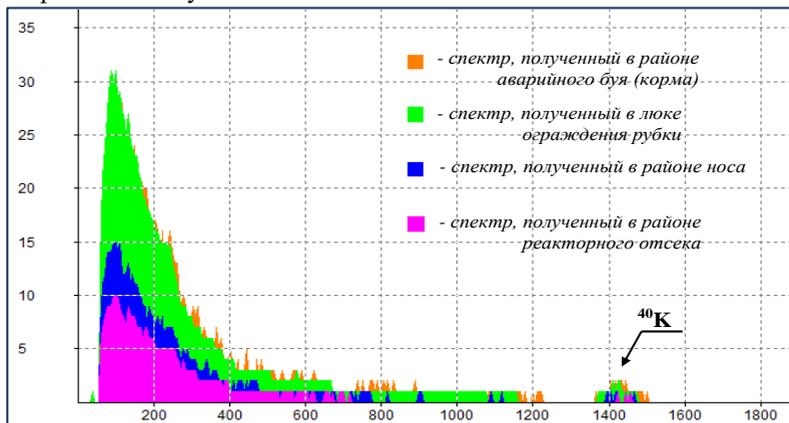


Рис. 2. Характерные спектры, зарегистрированные на легком корпусе АПЛ Б-159

Дальнейшее обследование с помощью специализированного подводного гамма-спектрометра РЭМ-4-25 «Щуп», разработанного в НИЦ «Курчатовский институт», проводилось с целью определения объемной радиоактивности воды внутри реакторного отсека. С помощью манипулятора ОПА С-Explorer 3.11 гамма-спектрометр был последовательно размещен в десяти отверстиях в легком корпусе палубы реакторного отсека. По результатам измерений составлена картограмма уровней гамма-излучения (рис. 3).

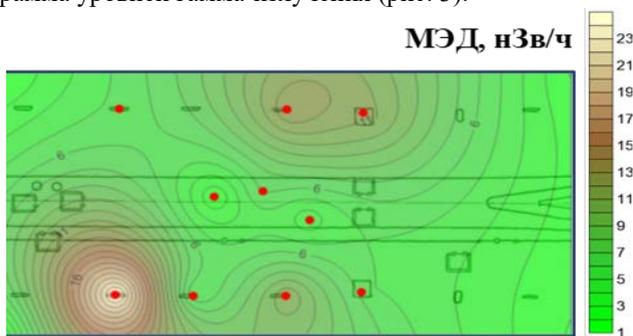


Рис. 3. Пространственное распределение значений МЭД на прочном корпусе реакторного отсека АПЛ Б-159

Только в одной точке измерения было зафиксировано присутствие техногенного радионуклида  $^{85}\text{Kr}$  (рис. 4), остаточные следы которого, предположительно, остались в баллоне ГВД. МЭД в данной точке составляла всего 24 нЗв/ч, что говорит о невысоком уровне радиационного загрязнения [1].

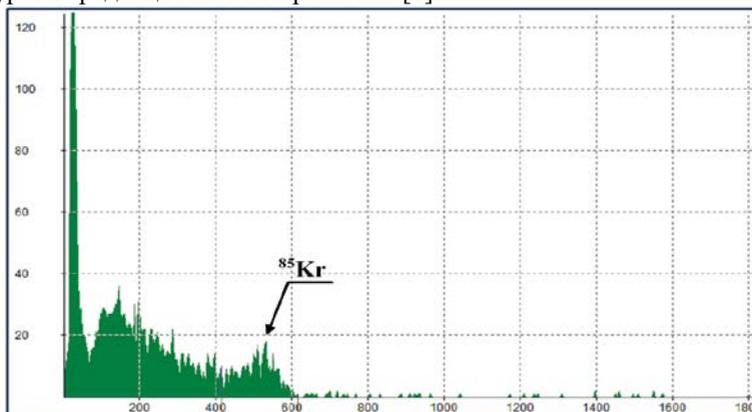


Рис. 4. Спектр, зарегистрированный в шпигатном отверстии правого борта АПЛ Б-159, в районе баллонов ГВД

Полученные результаты обследования свидетельствуют о том, что на момент проведения обследования разрушения активных зон реакторов и выхода радионуклидов во внутренний объем реакторного отсека не произошло, радиационный фон не повышен.

Работа выполнена в рамках выполнения приказа №5483 от 27.12.2024 г. Аналитические исследования выполнены при поддержке РНФ (проект № 23-17-00156)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Научно-технический отчет о результатах радиационного обследования АПЛ Б-159. ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт», Москва, 2022.
2. Программа-методика проведения работ по радиационному обследованию АПЛ Б-159. №113-19/04 от 13.06.2022, НИЦ «Курчатовский институт», Москва, 2022.

УДК 621.039.7, 629.58

## СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ БАРЬЕРОВ ЗАТОПЛЕННОЙ АПЛ К-27

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)*

## THE CONDITION OF THE PROTECTIVE BARRIERS OF THE SUBMERGED K-27 SUBMARINE

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 основные результаты обследования АПЛ К-27 во время экспедиций 2021-2024 гг., позволяющие оценить динамику радиационной обстановки и определить текущее состояние защитных барьеров подводной лодки.

The article presents the main results of the K-27 submarine survey during the 2021-2024 expeditions, which make it possible to assess the dynamics of the radiation situation and determine the current state of the submarine's protective barriers.

**Ключевые слова:** радиационный мониторинг, подводные гамма-спектрометры, затопление радиоактивных отходов.

**Key words:** radiation monitoring, underwater gamma spectrometers radioactive waste dumping.

Атомная подводная лодка (АПЛ) К-27 проекта 645 с двумя реакторами с жидкотеплоносительным теплоносителем (ЖМТ) была затоплена в 1981 г. в заливе Степового (архипелаг Новая Земля). Согласно имеющимся архивным данным, перед затоплением все

оборудование ядерной энергетической установки с ЖМТ и четвертый (реакторный) отсек были подвергнуты консервации [1]. Тем не менее, из-за длительного срока нахождения в морской воде и высокой степени обогащения невыгруженного топлива, в настоящее время К-27 считается одним из наиболее ядерно-опасных объектов с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ), затопленных в Арктике.

В 2021 году было проведено комплексное инженерное и радиационное обследование АПЛ К-27 и района ее затопления с целью получения актуальных и достоверных данных о радиационной обстановке, а также состоянии прочного и легкого корпусов [1].

В результате обследования 2021 года были сделаны следующие выводы:

- зарегистрированные значения мощности экспозиционной дозы на расстоянии 1-2 м от легкого корпуса АПЛ малы и составляют не более 8,3 нЗв/ч;

- в районе четвертого (реакторного) отсека АПЛ К-27 выявлено небольшое поверхностное загрязнение техногенными радионуклидами;

- выхода техногенных радионуклидов из АПЛ К-27 в окружающую морскую среду не обнаружено. Зарегистрированные в ходе обследования уровни содержания  $^{137}\text{Cs}$  в донном грунте не отличаются от результатов, полученных в предыдущих экспедициях.

Обследование АПЛ К-27 было продолжено во время экспедиционных работ в заливе Степового в 2023 году [2]. С помощью телеуправляемого аппарата «Falcon» осуществлено размещение подводного спектрометра РЭМ-4-50 на базе кристалла ВГО на люке реакторного отсека АПЛ К-27. В результате длительного измерения было зарегистрировано 254 спектра, общая экспозиция которых составила 21 час 10 минут.

Анализ спектров показал, что помимо  $^{137}\text{Cs}$ , продукта деления ядерного топлива, заметно влияние целого ряда активационных радионуклидов, т.е. продуктов активации конструкционных материалов реактора, в том числе,  $^{60}\text{Co}$  и  $^{152}\text{Eu}$ .

Аналогичная операция проведена в ходе экспедиции 2024 года [3], но на этот раз на люке реакторного отсека был размещен гамма-спектрометр РЭМ-4-50 на базе кристалла  $\text{CeBr}_3$ , который отличается высоким энергетическим разрешением. Прибор зарегистрировал 245 спектров, их общая экспозиция составила 20 часов 25 минут. Анализ суммарного спектра показал приблизительно тот же результат, который был получен в 2023 году: основным дозообразующим нуклидом является  $^{137}\text{Cs}$ , а также заметное влияние на формирование

спектра оказало присутствие активационных радионуклидов, в том числе, двух изотопов европия -  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$  (рисунок 1).

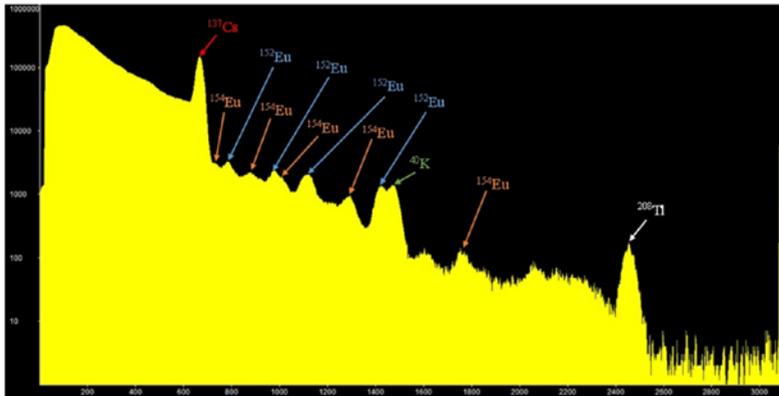


Рис. 1 - Суммарный спектр гамма-излучения, зарегистрированный на люке реакторного отсека АПЛ К-27 с помощью подводного спектрометра РЭМ-4-50 на базе кристалла  $\text{CeBr}_3$

С помощью ТНПА «АРГУС», оборудованного стереограмметрической видеокамерой, проведена уникальная видеосъемка, по которой впоследствии была построена 3D модель АПЛ К-27 (рисунок 2), необходимая как для определения мест и способов размещения измерительного оборудования подводной станции постоянного радиационного мониторинга, так и для разработки проекта подъема и утилизации подводной лодки.



Рисунок 2 - Трехмерная модель АПЛ К-27

Данные, полученные в процессе комплексного обследования АПЛ К-27, крайне важны для определения пути дальнейшего обращения с объектом. Результаты обследования говорят об отсутствии активного выхода техногенных радионуклидов и, соответственно, подтверждают целостность защитных барьеров. На спектрах, зарегистрированных на люке реакторного отсека, очень большая доля рассеянного излучения, это свидетельствует о том, что в данном случае речь безусловно идет не о поверхностном загрязнении, а о сильно заглубленном источнике.

Работа выполнена в рамках выполнения приказа №5483 от 27.12.2024 г. Аналитические исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект № 23-17-00156)

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Итоговый научно-технический отчет о результатах комплексного инженерного и радиационного обследования АПЛ К-27. ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт». Москва, 2022.
2. Итоговый отчет выполнения научно-исследовательской работы по теме «Исследование состояния подводных потенциально опасных объектов в Карском и Баренцевом морях и их влияния на локальные экосистемы арктических морей в 2023 году». Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Москва, 2023.
3. Итоговый отчет выполнения научно-исследовательской работы по теме «Исследование состояния подводных потенциально опасных объектов в Карском море и их влияние на локальные экосистемы Арктики». Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Москва, 2024.

УДК 504.064.3, 621.039.7

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАТОПЛЕННЫХ ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ В АРКТИКЕ**

**Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е., Книвель Н.Я.**

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1,  
+7 (499) 196–95–39,*

### **THE CURRENT STATE OF SUBMERGED NUCLEAR AND RADIATION-HAZARDOUS OBJECTS IN THE ARCTIC**

**Kazenov A.Yu., Kiknadze O.E., Knivel N.Ya.**

В статье приведены последние экспериментальные данные о состоянии затопленных ядерно- и радиационно-опасных объектов в Арктике, полученные в экспедиционных работах 2021-2024 гг.

The article presents the latest experimental data on the condition of sunken and submerged nuclear and radiation-hazardous objects in the Arctic, obtained during the expedition work in 2021-2024.

**Ключевые слова:** радиационный мониторинг, подводные гамма-спектрометры, затопление радиоактивных отходов.

**Key words:** radiation monitoring, underwater gamma spectrometers radioactive waste dumping,

Авторы доклада представляют основные результаты, полученные в экспедиционных работах, проводившихся НИЦ «Курчатовский институт» в 2021-2024 гг. по обследованию подводных ядерно- и радиационно-опасных объектов (ЯРОО), затопленных или затонувших в акваториях Арктического региона.

Работы проводились совместно с сотрудниками института Океанологии имени П.П. Ширшова РАН и Центра подводных исследований Русского географического общества (ЦПИ РГО).

К настоящему времени из семи заливов на восточном берегу архипелага Новая Земля (рисунок 1), в которых проводились затопления радиоактивных отходов, были подробно обследованы три залива – Абросимова, Степового и Благополучия. В этих заливах обнаружены все затопленные объекты и проведена их точная идентификация. Для обнаруженных в этих заливах крупногабаритных объектов (суда, реакторные отсеки, крупные скопления контейнеров с ТРО) получены трехмерные изображения. Вблизи всех этих объектов с помощью подводных телеуправляемых гамма-спектрометрических комплексов проведены измерения уровней гамма-излучения и отобраны пробы донных отложений и морской воды.

Полученные результаты обследования свидетельствуют об отсутствии значимого на уровне естественного радиационного фона выхода техногенных радионуклидов из объектов и стабильной радиационной ситуации в этих заливах [1,2].

В северных заливах – Седова и Течений обнаружение мест затоплений с ТРО затруднено сложным характером дна, вызванным сходом ледников. В этих заливах поиск и обследования объектов должны быть продолжены.

**В 1964-1991 гг. В КАРСКОМ МОРЕ  
И В ЗАЛИВАХ НОВОЙ ЗЕМЛИ БЫЛО ЗАТОПЛЕНО:**

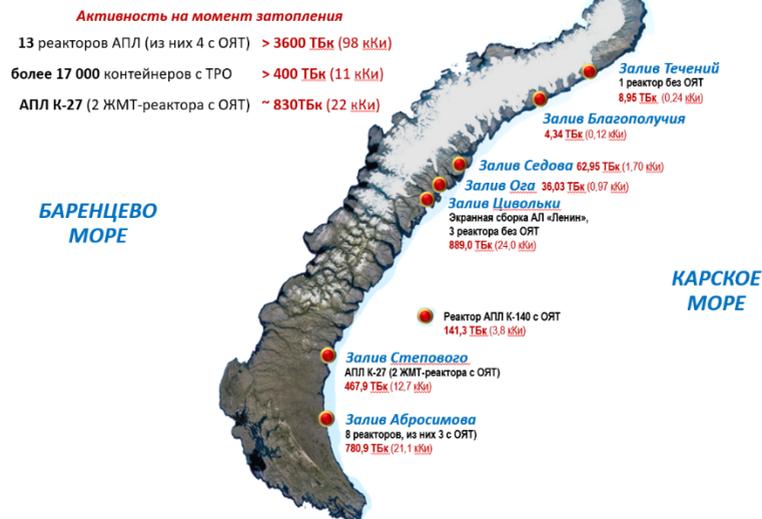


Рис. 1 – Районы захоронения и активность твердых радиоактивных отходов, затопленных в Карском море и заливах Новой Земли

В заливах Цивольки и Ога обследования затопленных объектов последние 5 лет не проводилось из-за запрета на проведение таких работ Министерством обороны России. Поэтому текущее состояние затопленных объектов и радиационная обстановка в этих заливах, в том числе, контейнера с экранной сборкой и частью ОЯТ атомного ледокола «Ленин», нам неизвестны.

Важным результатом проведенных работ является определение точного местоположения всех затопленных объектов с ОЯТ. Так в 2021 г. в Новоземельской впадине был обнаружен последний из таких объектов – реактор АПЛ К-140 затопленный на барже вместе с парогенераторами на глубине ~ 350 м. Вместе с тем, радиационное обследование этого объекта требует специальных технических средств – телеуправляемого аппарата рабочего класса, используемого с судна-

носителя, оборудованного системой динамического позиционирования [3].

Следует также отметить, что с помощью гидролокационной съемки в Новоземельской впадине на акватории в несколько сотен квадратных километров в указанных в архивах местах затопления объектов с ТРО, было обнаружено всего 3 судна, из более чем 10 судов и скоплений контейнеров, затопленных в этом районе.

В 2021-2024 гг. продолжались обследования затонувших и затопленных АПЛ: К-27, Б-159 и «Комсомолец». Так, в 2021 г. было проведено комплексное инженерно-физическое обследование (КИРО) АПЛ К-27, в которое, в том числе, входили водолазные работы по изучению радиационной обстановки и исследованию остаточной прочности защитных барьеров АПЛ. В 2022 году с помощью обитаемого подводного аппарата С-Explorer 3.1.1 (владелец – ЦПИ РГО) было проведено КИРО АПЛ Б-159, в результате которого удалось оценить сохранность корпусных конструкций лодки и радиационную ситуацию на месте аварии. Анализ результатов гамма-спектрометрических измерений показал, что, несмотря на наличие небольшого поверхностного загрязнения, ни один из двух указанных объектов не является источником поступления техногенных радионуклидов в окружающую морскую среду. Таким образом, было установлено, что ни АПЛ К-27, ни АПЛ Б-158 не являются объектами, определяющими радиационную обстановку в районах их затопления.

На основе видеоматериалов, полученных во время обследований в 2021 и 2024 гг., были построены подробные трехмерные модели лодок, которые будут использованы при разработке проектов дальнейшего обращения с этими объектами. На рисунке 2 представлена 3D-модель АПЛ К-27, подготовленная с учетом данных последнего видеообследования, проведенного специалистами ЦПИ РГО с помощью ТНПА ARGUS.

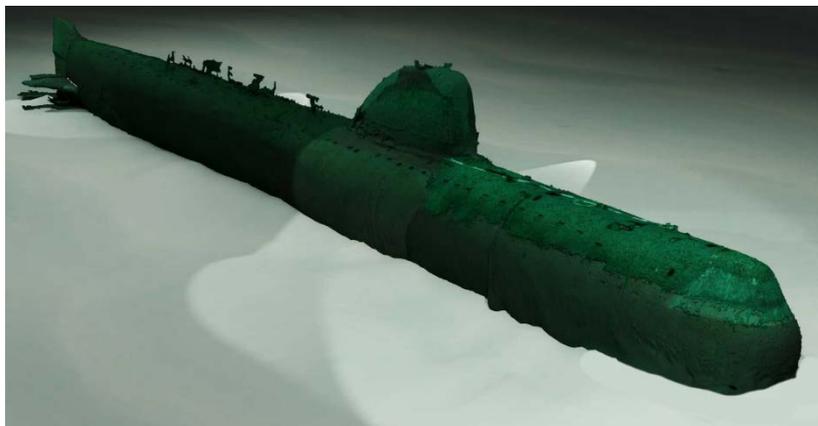


Рисунок 2 – 3D модель АПЛ К-27

На АПЛ «Комсомолец» был проведен цикл работ по изучению выхода радиоактивности в морскую среду. Местом выхода радионуклидов является отверстие вентиляционной трубы реакторного отсека, расположенное на кормовой оконечности рубки [4].

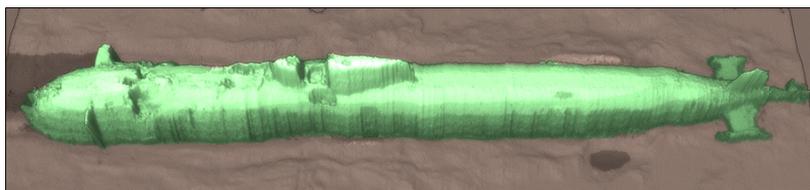


Рисунок 3 – Акустический портрет АПЛ «Комсомолец»

Измерения в 2023-2024 гг. подтвердили переменный характер выхода радионуклидов из АПЛ «Комсомолец», который мы связываем с изменением скорости и направления придонных течений. Необходимо отметить, что за 15 лет, которые прошли с измерений в 2007 г., скорость выхода  $^{137}\text{Cs}$  из АПЛ «Комсомолец» не уменьшилась. Средняя концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в воде внутри трубы реакторного отсека составляет 17 Бк/л, что примерно соответствует значению 14 Бк/л,

полученному в 2022 г., и более чем в три раза превосходит значение, зарегистрированное в 2007 г. – 5 Бк/л.

АПЛ «Комсомолец» является единственным объектом в Арктике, выход радиоактивности из которого доказан. В связи с этим необходимо организовать постоянный, или, хотя бы, долговременный контроль выхода радионуклидов из АПЛ «Комсомолец». Наиболее предпочтительным вариантом является размещение в трубе реакторного отсека специальной спектрометрической системы и измерителя расхода воды, проходящей через сечение трубы, на срок не менее одного года.

Работа выполнена в рамках выполнения приказа №5483 от 27.12.2024 г. Аналитические исследования выполнены при поддержке РФФ (проект № 23-17-00156)

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Предварительный отчет о выполнении морских научных исследований в 2024 году в экспедиции Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» на научно-исследовательском судне «Академик Мстислав Келдыш», инв. № 113-19/67 от 16.10.2024 г.
2. N. A. Rimsky-Korsakov, N. Ya. Knievel, M. V. Flint, A. Yu. Kazennov, O. E. Kiknadze, I. M. Anisimov, A. A. Pronin, A. V. Lesin, V. O. Muraviya. Investigation of Underwater Radioactive Objects in Stepovoy Bay (Novaya Zemlya) // *Oceanology*. Volume 64, Issue 6, pages 892–902, (2024). DOI: 10.1134/S0001437024700619
3. Римский-Корсаков Н. А., Книвель, Н. Я., Флинт М. В., Казеннов А. Ю., Кикнадзе О. Е., Анисимов И. М., Тихонова Н. Ф. Технологии и результаты исследований объектов, представляющих экологическую угрозу, в Новоземельской впадине // *Океанологические исследования*, 2024, Том 52, №. 3, С. 133–148,
4. Казеннов А.Ю., Кикнадзе О.Е. Результаты исследования выхода радионуклидов из реактора АПЛ «Комсомолец». Отчет НИЦ «Курчатовский институт» рег. № 113-19/09 от 12.10.2022 г.

УДК 504.064.3

**РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МЕСТАХ  
ЗАХОРОНЕНИЯ РАО В ЗАЛИВАХ НОВОЙ ЗЕМЛИ:  
СТЕПОВОГО, ТЕЧЕНИЙ, БЛАГОПОЛУЧИЯ**

**Богомолова Т.В., Хоменко И.А., Комолов А.С., Алиев Р.А.**

Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт»,  
123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1, 8(964)554-9984,  
bogomolova.tv@phystech.edu

**RADIOECOLOGICAL STUDIES AT RADIOACTIVE WASTE  
DISPOSAL SITES IN THE BAYS OF NOVAYA ZEMLYA:  
СТЕПОВОГО, ТЕЧЕНИЙ, БЛАГОПОЛУЧИЯ**

**Bogomolova T.V., Khomenko I.A., Komolov A.S., Aliev R.A.**

National Research Center Kurchatov Institute 1, Akademika Kurchatova  
sq., Moscow, 123182, Russia.

В статье представлены данные об уровне радиоактивного загрязнения в местах захоронения РАО в трех заливах Новой Земли – Степового, Течений, Благополучия. Степень загрязнения оценивали по содержанию в отобранных пробах  $^{137}\text{Cs}$ , одного из главных компонентов радиоактивного загрязнения биосферы.

Paper presents data on the level of radioactive contamination at radioactive waste disposal sites in three bays of Novaya Zemlya - Stepovoy, Tcheniy, Blagopoluchiya. The degree of contamination was assessed by the content of  $^{137}\text{Cs}$  in the collected samples, one of the main components of radioactive contamination of the biosphere.

**Ключевые слова:** затопление радиоактивных отходов, радиационный мониторинг, отбор проб.

**Key words:** radioactive waste dumping, radiation monitoring, sampling.

На протяжении многих лет заливы архипелага Новая Земля использовались в качестве мест захоронения радиоактивных отходов

(РАО) [1]. Оценки общего количества радионуклидов, сброшенных в эти районы, разнятся, также отсутствует реестр объектов захоронений по параметру устойчивости к разрушению и уровню существующих сегодня утечек радиоактивности. Русско-норвежские исследования, проводившиеся с 1992 года, выявили наличие локальных утечек за пределы защитных барьеров радиационно-опасных объектов в местах захоронения РАО в заливах Абросимова и Степового [2]. Индикатором утечки техногенных радионуклидов является радиоактивный изотоп цезия -  $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{1/2} = 30.08$  лет,  $E_{\gamma} = 661.65$  кэВ, 85.1%) [3]. Оценивая содержание  $^{137}\text{Cs}$  в донных осадках в местах затопления РАО, можно судить об общей радиоэкологической обстановке района.

Данная работа была выполнена в соответствии с Программой экспедиционных работ в Карском море на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в ходе 92 рейса, проводившегося с 7 октября по 11 ноября 2023 года.

Отбор донных осадков осуществлялся с использованием грунтозаборной трубки Неймисто диаметром 55 мм. Было получено 8 кернов: 2 керна в заливе Благополучия, 1 керн в заливе Течений и 5 кернов в заливе Степового. В судовых условиях были произведены послыное разделение кернов на слои толщиной в 1 см и их пробоподготовка 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.

Результаты измерений показали повышенное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в верхних слоях грунта для трех станций из залива Степового – от 40 Бк/кг до 900 Бк/кг, что позволяет судить о наличии утечек. В остальных исследованных районах содержание цезия-137 в донных отложениях соответствует фоновым значениям для региона (до 15 Бк/кг).

Работа выполнена в рамках выполнения приказа №5483 от 27.12.2024 Аналитические исследования выполнены при поддержке РНФ (проект № 23-17-00156)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сивинцев Ю.В. Радиоэкологические последствия затопления радиоактивных отходов в морях, омывающих Россию («Белая книга – 2000») / Ю.В. Сивинцев, С.М. Вакуловский, А.П. Васильев // ИздАт. – 2005. – Р. 624.
2. 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. Foyn, I. I. Kryshev, V. B. Chumlichev, H. Dahlgaard, E. Holm // J Environ Radioact. – 1994. – №25 (1-2). – Р. 99-112. doi:10.1016/0265-931X(94)90010-8
3. Osvath, I. Kara Sea radioactivity assessment / I. Osvath, P. P. Povinec, M. S. Baxter // J Sci. Total Environ. – 1999. – V. 237/238. – Р. 167.

## ЭКОЛОГИЯ ОКЕАНА

УДК 574.583(26)

### БИОРАЗНООБРАЗИЯ МЕЗОПЛАНКТОНА АЗЕРБАЙДЖАНСКОГО СЕКТОРА КАСПИЙСКОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ МОРЯ

Джалилов А.Г.

*Институт Зоологии Министерства Науки и Образования  
Азербайджанской Республики, Азербайджанская Республика, AZ1073,  
г. Баку, ул. А.Аббасзаде, проезд 1128, квартал 504, 994 (50)480-75-84,  
[anvarj@mail.ru](mailto:anvarj@mail.ru)*

### BIODIVERSITY OF THE MESOPLANKTON OF THE AZERBAIJANI SECTOR OF THE CASPIAN SEA UNDER CONDITIONS OF SEA LEVEL DECLINE

Jalilov A.G.

*Institute of Zoology of the Ministry of Science and Education of the  
Republic Azerbaijan, st. A. Abbaszadeh, passage 1128, block 504, Baku  
AZ1073, Republic of Azerbaijan, 504, 994 (50)480-75-84, [anvarj@mail.ru](mailto:anvarj@mail.ru)*

В статье рассматривается биоразнообразие мезопланктона Азербайджанской акватории Каспийского моря в условиях снижения уровня моря. Приведены сведения о составе и таксономической структуре мезопланктона. Исследования проводились по сезонам в

2011-2015 гг в прибрежной части Азербайджанского сектора Каспийского моря. Сеть Джеди из шелкового материала № 38 использовалась для сбора проб мезопланктона в Каспийском море. Идентифицировали 35 видов мезопланктона животных и личинок, принадлежащих к разным группам.

The article examines the biodiversity of mesoplankton in the Azerbaijani waters of the Caspian Sea in the context of decreasing sea levels. Information on the composition and taxonomic structure of mesoplankton is provided. The research was carried out in the spring, summer and autumn seasons of 2011-2015 in the coastal part of the Azerbaijan sector of the Caspian Sea. A No. 38 silk Cedy net was used to collect mesoplankton samples in the Caspian Sea. We identified 35 species of mesoplankton animals and larvae belonging to different groups.

**Ключевые слова:** мезопланктон, биоразнообразие, биотоп, фитопланктон, меропланктон, бассейн, пелагические, биоценоз, *Acartia clausi*, Каспийское море.

**Key words:** mesoplankton, biodiversity, biotope, phytoplankton, meroplankton, basin, pelagic, biocenosis, *Acartia clausi*, Caspian Sea

Каспийское море – уникальный и богатый природными ресурсами внутренний водный бассейн нашей планеты, не имеющий естественной связи с Мировым океаном. Одной из интересных особенностей Каспийского моря является изменение его уровня с резкими падениями и подъемами различной продолжительности. С 1929 по 1977 годы уровень Каспийского моря упал на три метра и добрался до пометки в – 29,02 метра абсолютной высоты – это самый низкий уровень за более чем 400 последних лет. А начиная с 1978 года, уровень Каспия стал подниматься и к 1996 году повысился на 2,34 метра [1]. Причины колебаний до сих пор точно не установлены, хотя предполагается, что это может быть связано с колебанием стока рек и изменениями климата. Наблюдения над Каспийским морем ведутся с 1837 года. За это время уровень моря резко менялся 3 раза: с 1929 по 1977 год уровень моря опустился на 3 метра, с 1977 по 1995 год уровень поднялся на 2,5 метра, с 1996 по настоящее время он снизился на 1,5 метра. Изменение уровня моря влияет на гидробионты. При понижении моря происходит процесс сокращения биоразнообразия гидробионтов. Исследования мезопланктона проводились в весенний, летний и осенний сезоны 2011-2015 гг. в шельфе Азербайджанского сектора Каспийского моря. Мезопланктон может присутствовать в воде с благоприятными условиями до тех пор, пока существует замкнутая и надежная циркуляция в пределах этой

воды. Следовательно, пелагические биотопы - это биотопы циркуляции. Состав мезопланктона и его количественное развитие определяются различиями физико-химических условий. Любое изменение подвижности воды приводит к соответствующему изменению биоразнообразия мезопланктона, а также существующих пелагических биоценозов. Среди существующих на Земле биоценозов пелагические биоценозы в большей степени зависят от внешней среды. Тот факт, что пелагические организмы в большей степени зависят от окружающей среды, иллюстрируется тем фактом, что планктон обеспечивает животных фитопланктоном, а фитопланктон - биогенными элементами. Развитие мезопланктона в основном зависит от наличия необходимого количества фитопланктона в фотической зоне [2]. Организмы мезопланктона создают настолько характерную жизненную форму, что не имеют аналогов на суше. Подавляющее большинство мезопланктона никогда не покидают водоносный горизонт. Здесь проходит их жизненный цикл. Биотоп мезопланктона подвижен, они смешиваются с другими биотопами, а также смешиваются друг с другом в географических координатах. Однако они сильно отличаются от бентосных биотопов. По составу мезопланктона различают голопланктон и меропланктон. Голопланктон всю свою жизнь проводит в водоносном горизонте. Меропланктон проводит часть своей жизни в водоносных горизонтах, а остальную часть - в бентосе, например, личинки придонных животных, водоросли, живущие в планктоне или бентосе, и так далее.

Сеть Джеди из шелкового материала № 38 использовалась для сбора проб мезопланктона в Каспийском море. Пробы мезопланктона собраны и обработаны по общепринятым в гидробиологии правилами [3; 4; 5].

Таксономическая структура мезопланктона Каспия состоит из разных глав, родов, видов и подвидов. В Каспийском море обнаружено 33 семейств, 81 род, 128 видов и 54 подвида. В группе ротиферов по видовому богатству род *Brachionus* (16 видов), род *Trichocerca* (9 видов), род *Synchaeta* (7 видов). В группе Cladocera есть род *Podonevadne* (17 видов), в роде *Cercopagis* (10 видов) и в группе Сорепода *Eurytemora* (4 вида) [6]. Некоторые виды этих родов очень широко распространены в Каспийском море. В Азербайджанском секторе Каспийского моря мы идентифицировали 35 видов мезопланктона животных и личинок, принадлежащих к разным группам и образующих меропланктон (таблица). Ротиферы обладают высокой экологической пластичностью. Благодаря

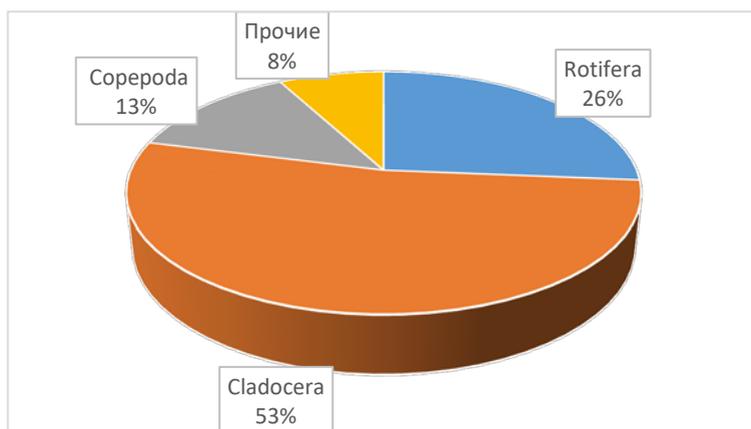
**Таблица**  
**Видовой состав мезопланктона Азербайджанской акватории**  
**Каспийского моря в 2011-2015 гг.**

Виды	Годы					Средний Каспий					Южный Каспий				
	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Rotifera</b>															
<i>Brachionus plicatilis rotindiformis</i> Müller, 1786	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-					
<i>Keratella tropica</i> (Apstein, 1907)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
<i>K. cochlearis</i> (Gosse, 1851)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
<i>Synchaeta stylata</i> Wierzejski, 1893	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
<i>S. cecilia</i> Rousselet, 1902	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+					
<i>S. vorax</i> Rousselet, 1902	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
<i>S. neapolitana</i> Rousselet, 1902	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin, 1943	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+					
<i>Asplanchna priodonta priodonta</i> Gosse, 1850	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
<i>Testudinella patina patina</i> (Hermann, 1783)	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+					
<b>Cladocera</b>															
<i>Polyphemus exiguus</i> Sars, 1897	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
<i>Cercopagis pengoi</i> (Ostroumov, 1891)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
<i>C. neonilae</i> Sars, 1902	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+					
<i>C. socialis</i> (Grimm, 1877)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
<i>C. prolongata</i> Sars, 1897	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-					
<i>Pleopis polyphemoides</i> (Leukart, 1859)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					

<i>Evadne anonyx typica</i> Sars, 1897	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ev. anonyx producta</i> Sars, 1897	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ev. anonyx deflexa</i> Sars, 1897	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Ev. anonyx prolongata</i> Behning, 1938	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Podonevadne trigona typica</i> Sars, 1897	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. trigona trigonoides</i> Sars, 1897	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. trigona intermedia</i> Sars, 1897	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. trigona pusilla</i> Sars, 1897	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. trigona rotundata</i> Behning, 1938	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>P. angusta</i> (Sars, 1902)	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>P. camptonyx typica</i> (Sars, 1897)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>P. camptonyx macronyx</i> Mord.-Bolt., 1902	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cornigerius maeoticus hircus</i> (Sars, 1902)	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
<i>C. bicornis</i> (Zernov, 1901)	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Copepoda										
<i>Calanipeda aquae dulcis</i> Kritschagin, 1873	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
<i>Heterocope caspia</i> Sars, 1897	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Acartia tonsa</i> Dana, 1849	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Acartia clausi</i> Giesbrecht, 1889	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Halicyclops sarsi</i> Akatova, 1935	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Прочие										
Личинки <i>Mnemiopsis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Личинки <i>Balanus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Личинки Mollusca	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

этой особенности они разбросаны по разным водоемам Земли. Они широко распространены как в пресноводных, так и в солоноватых водоразделах и морях. Ротиферы образовались в пресноводных бассейнах, а затем они мигрировали в моря. Основная причина, по которой они так широко распространены, заключается в том, что у них есть стадия яйца, которая может переноситься ветром и птицами на большие расстояния. 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. Они обитают в заливах Каспийского моря с высокой соленостью. В Азербайджанском секторе Каспийского моря и водоемов Азербайджана зарегистрировано 42 вида коловраток [7]. В 2011-2015 годах, когда проводились исследования, в Азербайджанских акватории Каспийского моря было зарегистрировано всего 10 видов, принадлежащих к группе коловраток (график). Влияние изменений климата на биоразнообразии каспийских коловраток в последние годы очевидно. 17 видов и форм группы Cladocera являются пресноводными,



**График. Биоразнообразие мезопланктона Азербайджанский акватории Каспийского моря.**

41 форма - солоноватоводными и 2 (*Pleopsis polyphemoides*, *Podon intermedia*) - морскими. 35 видов семейства Polyphemidae, состоящего из 42 видов, являются эндемиками Каспийского моря. 5 видов семейства Polyphemidae (*Cercopagis pengoi*, *Podonevadne trigona*, *Cornigerius maoticus*, *C. bicornis*, *Evadne anonyx*) встречаются в Азовском и Черном морях, а 3 вида (*Cercopagis pengoi*, *Podonevadne camptonux*, *P. trigona*) встречаются в Аральском море. Эндемики Каспия практически не встречаются на глубине 4-5 метров. У побережья широко распространены такие виды, как *Podonevadne camptonux typica*, *P. camptonux podonoides*, *P. angusta*, *P. trigona typica*. Максимальное их развитие наблюдается на глубине 20-30 м. Они на глубине 50 метров встречается единичны, а на участках глубже 100

метров практически отсутствует. *Evadne* и *Polyphemus exiguus* убегают из прибрежных вод. Максимальное их развитие происходит на глубине 25-50 метров. *Polyphemus exiguus* также встречается на глубинах 600-700 метров. Представители рода *Cercopagis* встречаются практически на всей территории моря, но все же многочисленны на глубинах 100-300 м. *Apagis* водятся в прибрежных водах. Среди представителей семейства Polyphemidae есть также виды стеногалинов. Они хорошо растут в условиях нормальной или близкой к нормальной солености. К ним относятся *Evadne anonyx*, *Polyphemus exiguus* и большинство видов, принадлежащих к роду *Cercopagis*. *Podonevadne camptonux typica* в изобилии встречается на открытых участках моря. Каспийские полифемиды - жаркие летние виды. Они начинают появляться в планктоне при температуре 10 ° С.

Сначала появляются *Pleopis polyphemoides*, *Podonevadne trigona typica*. При температуре воды выше 25°C количество *Evadne anonyx* и *Podonevadne trigona typica* резко уменьшается, а *E.prolongata* исчезает из планктона. Их температурный диапазон 10-25°C, оптимальный 20°C. Большинство видов Cladocera водятся с реками и процветают в устье рек. На Земле широко распространены пресноводные ветвистоусые. Это показывает их древность. Современная морская фауна группы Cladocera сформирована из пресноводных форм, принесенных речными течениями. Представители настоящих морских видов *Podon* и *Evadne* встречаются не только в морях, связанных с океанами, но и в изолированных внутренних водах, таких как Каспийское и Аральское моря. Возникновение фауны Cladocera Каспийского моря связано с периодом, когда Каспийское и Аральское моря стали единым бассейном и слились с Северным Ледовитым океаном [6]. Согласно Ю.Ф. Мануйловой [8], Cladocera можно разделить на 3 группы: 1) распространенные на севере, 2) специфичные для северного полушария и 3) характерные для южного полушария. Зарегистрировано 59 видов, входящих в группу Cladocera [9]. В группе Cladocera есть широко распространенные виды. В основном они обитают в районе впадения Волги в Северный Каспий. К ним относятся *Daphnia longispina*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaerialis*. Некоторые виды встречаются по всему миру, кроме Австралии- *Diaphanosoma brachyurum*, *Scapholeberis mucronata*, *Ceriodaphnia quadrata*, *Alona rectangula*, *Rhynchotalona rostrata*. Есть даже широко распространенный на американо-африканском континенте вид - *Moina rectirostris*.

В Каспийском море насчитывается 47 видов из группы Copepoda [10]. Из них *Limnocalanus grimaldii*, обитающий только в открытых частях

Южного и Среднего Каспия, относится к арктической фауне. Его верхний температурный диапазон находится в пределах 14 ° С, но встречается он и летом при температуре 20-21°С [11]. Четыре вида из группы Copepoda (*Calanipeda aquae dulcis*, *Halicyclops neglectus neglectus*, *Acartia clausi*, *A. tonsa*) относятся к Атлантическому Средиземноморью. Некоторые виды встречаются и в других морях. Например, *Eurytemora velox*, *E. affinis*, были обнаружены не только в Каспийском море, но и в Северном и Балтийском морях. *Eurytemora grimmi* в Черном море, *Paraergasilus rylovi* в озере Байкал, *Heterocope caspia* в Азовском море, на Буге и Дунае, на озерах Абрау и Сапанджа в Малой Азии, *Ectinosoma abrau* в низовьях Аральского и Черного морей, авандельты и бассейн Черного моря в Западной Европе. В портах Днепр-Буг, *Nitocra typica* и *Mesochra lilljeborgi* в прибрежных водах Северного Ледовитого и Атлантического океанов, в Балтийском, Черном и Средиземном морях. *Limnocletodes behningi* встречаются в Аральском море, в пресноводных районах Азовского и Черного морей, а также в впадающих в них реках. 15 видов веслоногих являются эндемиками Каспийского моря. Сюда входят *Eurytemora minor*, *Halicyclops sarsi*, *Eucyclops orthostylus*, *Paracyclops dilalatus*, *Diacyclops odessanus*, *D. clandestinus*, *D. languidoides clandestinus*, *Caspiocyclops mirabilis*, *Metacyclops minutus*, *Cryptocyclops mirabilis*, *Cryptocyclops inopinata*. Остальные виды группы Copepoda - пресноводные виды, обитающие в устьях рек, впадающих в Каспийское море. Они считаются видами эвригалинных. Так, в халистической зоне обитают морские виды автохтонного и арктического происхождения, а в прибрежных — эвригалинные виды атлантико-средиземноморского происхождения. В халистической зоне также преобладают стеногалинные виды и очень редко — эвригалинные виды. В прибрежных водах преобладают атлантико-средиземноморские виды, автохтонные и пресноводные виды. По сравнению с предыдущими годами произошел процесс сокращения биоразнообразия, что объясняется негативным воздействием на гидробионтах понижения уровня Каспийского моря и других природных факторов. Обеднение биоразнообразия проявляется во всех основных группах мезопланктона. Как видно, гидробионты, обитающие в пелагиали Каспийского моря, более чувствительны к изменениям климата. В 1911-1915 годах при проведении исследований было обнаружено 19 видов ветвистоусых и 5 видов веслоногих. Понижение уровня Каспийского моря в большей степени затронуло эти группы. Следует отметить, что сокращение биоразнообразия этих групп приведет к сужению пищевой базы рыб-планктофагов и рыбных

мальков. В целом 53% биоразнообразия мезопланктона принадлежит группе Cladocera, 26% — группе Rotifera, 13% — группе Copepoda и 8% — остальным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гусейнова С.А., Абдусаматов А.С. Прогноз динамики уровня Каспийского моря и ее последствия для прибрежных территорий // Юг России: экология, развитие Т. 10 № 4 2015, стр. 119 – 126.
2. Беклемишев К.В. Экология и биогеография пелагиали. – М.: Наука, 1969, 291 с.
3. Яшнов В.А. Инструкция по сбору и обработка планктона. Ленинград, 1939, 41 с.
4. Богоров В.Г. Стандартизации морских планктонных исследований. Тр.Инс-та Океанологии АН СССР, 1957, 24, стр.200–207.
5. Касымов А.Г. Методы мониторинга в Каспийском море. Баку. изд. «Qarr-Poliqraf», 2000, 57 с.
6. Касымов А.Г. Экология планктона Каспийского моря. // Баку:Изд-во «Адилъоглы», 2004, -545с.
7. Джалилов А.Г. Распределение коловраток (Rotifera) в Каспийском море и водоемов Азербайджана // «Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений» Астрахань. 2021, 88 – 99.
8. Мануйлова Е.Ф. Ветвистоусые рачки фауны СССР. – М.-Л.: Наука, 1964, 327 с.
9. Джалилов А.Г. Распределение Cladocera в Азербайджанской акватории Каспийского моря // «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2021), Том II. – М.: 2021. 191-195.
10. 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.
11. Кун М.С. Отряд Веслоногие. Copepoda. – Кн.: Атлас беспозвоночных животных Касп. моря. М.: Пищевая промышленность.1968, с.160-183

**ОЦЕНКА ДОЛИ МЕРТВЫХ ОСОБЕЙ В СООБЩЕСТВЕ  
ЗООПЛАНКТОНА ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО  
МОРЯ: СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ МНОГОЛЕТНИХ  
НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Подгорный К. А.<sup>1</sup>, Семенова А. С.<sup>1,3</sup>, Дмитриева О. А.<sup>1,2</sup>**

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

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

<sup>3</sup>*Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742,  
пос. Борок, 109, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия,  
E-mail: [a.s.semenowa@mail.ru](mailto:a.s.semenowa@mail.ru)*

**ASSESSMENT OF THE PROPORTION OF DEAD INDIVIDUALS IN  
THE ZOOPLANKTON COMMUNITY OF THE VISTULA LAGOON OF  
THE BALTIC SEA: COMPARISON OF LONG-TERM OBSERVATION  
DATA AND SIMULATION MODELING RESULTS**

**Podgorny K. A.<sup>1</sup>, Semenova A. S.<sup>1,3</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*

*Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of  
Sciences, 109, Borok, 152742, Nelouz Distr., Yaroslavl Reg., Russia*

Проведено сравнительное исследование значений доли мертвых особей в сообществе зоопланктона Вислинского залива (ВЗ) по данным многолетних наблюдений и их оценок, полученных в результате выполнения имитационного моделирования.

A comparative study of the values of the proportion of dead individuals in the zooplankton community of the Vistula Lagoon (VL) was conducted based on long-term observations and their estimates obtained as a result of simulation modeling.

**Ключевые слова:** зоопланктон, доля мертвых особей, моделирование  
**Key words:** zooplankton, proportion of dead individuals, modeling

В гидробиологических исследованиях доля мертвых особей в сообществе зоопланктона учитывается достаточно редко. Вместе с тем необходимо иметь в виду, что игнорирование этого параметра может приводить к неверному пониманию реальных механизмов биогеохимических процессов [2, 6, 11]. Правильная оценка смертности планктонных и бентосных организмов важна и при разработке математических моделей водных экосистем **Цель данной работы:** провести сравнение доли мертвых особей в сообществе зоопланктона ВЗ по данным многолетних наблюдений и их значений, полученных в результате проведения имитационного моделирования.

Исследования зоопланктона российской части ВЗ были выполнены в 2008–2021 гг. Пробы отбирали ежемесячно с марта-апреля по октябрь-декабрь на 5–9 стандартных мониторинговых станциях АтлантНИРО. Для отбора проб зоопланктона использовали 5–6-литровый батометр. Пробы отбирали в поверхностном, среднем и придонном слое и концентрировали через мельничный газ №70 (размер ячеек 68 мкм). После отбора пробы зоопланктона прижизненно окрашивали 7,5%-ным раствором анилинового голубого красителя [1, 7, 10]. При гибели мембрана клетки становится для него проницаемой и в результате он способен окрашивать погибшие клетки организмов. После окрашивания пробы промывали и фиксировали 40%-ным формалином с сахарозой [8] до конечной концентрации в пробе 2–4%. Обработка и анализ проб были выполнены по стандартной методике.

Для ВЗ Балтийского моря нами разработана математическая модель ее экосистемы [3]. Для ряда лет (1998–2000 гг.) проведено моделирование процессов трансформации соединений биогенных элементов, показана высокая степень соответствия результатов моделирования данным мониторинговых наблюдений [4, 5, 9].

Результаты моделирования доли мертвых особей зоопланктона ВЗ и данные многолетних наблюдений показаны на рис. 1. Установлено, что модельные значения хорошо соответствуют медианным значениям и нижнему квартилю этой величины, которые получены по данным многолетних наблюдений.

Временная динамика и положение верхнего квартиля свидетельствуют о достаточно высокой межгодовой изменчивости доли мертвых особей в экосистеме ВЗ. Это означает, что при моделировании и расчете скорости отмирания зоопланктонных организмов помимо трофодинамических взаимодействий в сообществе необходимо дополнительно учесть влияние ряда ключевых для ВЗ абиотических факторов (изменений солености воды, концентрации взвеси, интенсивности ветроволновых процессов).

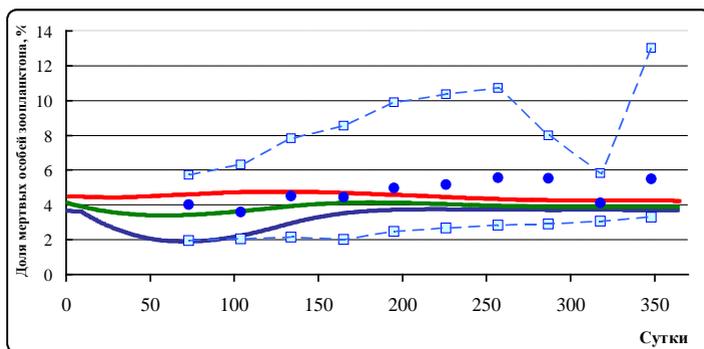


Рис. 1 Доля мертвых особей (в %) в сообществе зоопланктона ВЗ. Непрерывные линии – максимальные, минимальные и средние значения по данным моделирования; синие точки – медианные значения, квадраты с пунктирными линиями – нижний и верхний квартили, полученные по данным многолетних наблюдений.

*Исследования проведены в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00001-24-00 часть II, раздел 12 и государственного задания ИО РАН им. П.П. Ширинова № FMWE-2024-0021.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубовская О.П. Оценка количества мертвых особей рачкового зоопланктона в водоеме с помощью окрашивания проб анилиновым голубым: методические аспекты применения // Журнал Сибирского Федерального университета. 2008. Сер. Биология. №2. С. 145–161.
2. Дубовская О.П. Не связанная с хищниками смертность планктонных ракообразных, ее возможные причины (обзор

- литературы) // Журнал общей биологии. 2009. Т. 70. №2. С. 168–192.
3. 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.
  4. Подгорный К.А., Дмитриева О.А. Математическое моделирование процессов трансформации соединений биогенных элементов в экосистеме Вислинского залива Балтийского моря // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 6. С. 142–160. doi: 10.17076/lim1605
  5. Подгорный К.А., Дмитриева О.А., Семенова А.С. Сравнительный анализ применения алгоритмов прямого поиска для оценки значений параметров в моделях экосистем Невской губы и Вислинского залива Балтийского моря // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 2. С. 79–94. doi: 10.17076/lim1860
  6. Семенова А.С. Доля мертвых особей в зоопланктоне Куршского залива Балтийского моря // Биология внутренних вод. 2011. № 3. С. 35–44.
  7. Bickel S.L., Tang K.W., Grossart H.P. Use of aniline blue to distinguish live and dead crustacean zooplankton composition in freshwaters // Freshwater Biology. 2008. V. 54. № 5. P. 971–981. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02141.x>
  8. Haney J.F., Hall D.J. Sugar-coated *Daphnia*: A preservation technique for Cladocera // Limnology and oceanography. 1973. V. 18. № 2. P. 331–333. <https://doi.org/10.4319/lo.1973.18.2.0331>
  9. Podgorny K.A., Dmitrieva O.A. Studying the dynamics of the transformation processes for nitrogen and phosphorus compounds in the ecosystem of the Vistula lagoon of the Baltic Sea using mathematical modeling // Inland Water Biology. 2024. Vol. 17. No. 4. P. 513–533. doi: 10.1134/S1995082924700172
  10. Seepersad B., Crippen R.W. Use of aniline blue for distinguishing between live and dead freshwater zooplankton // J. Fish. Res. Board Canada. 1978. V. 35. № 10. P. 1363–1366. <https://doi.org/10.1139/f78-213>
  11. Tang K.W., Gladyshev M.I., Dubovskaya O.P., Kirillin G., Grossart H. Zooplankton carcasses and non-predatory mortality in freshwater and inland sea environments // J. Plankton Res. 2014. V.36. №3. P. 597–612. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbu014>

УДК: 574.587:551.46.077:268

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БНПА  
«ВИДЕОМОДУЛЬ» И КЛАССИЧЕСКИХ ЗАБОРТНЫХ  
ОРУДИЙ ПРОБООТБОРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БЕНТОСНЫХ  
СООБЩЕСТВ  
(96 РЕЙС НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»)**

**Галкин С.В., Виноградов Г.М., Анисимов И.М., Белов Д.А.,  
Оленин А.Л., Лесин А.В., Лахно О.В.**

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

**INTEGRATED USE OF UNDERWATER TOWED VEHICLE  
“VIDEOMODULE” AND CLASSICAL SAMPLING GEARS FOR  
STUDYING BENTHIC COMMUNITIES  
(96th CRUISE OF THE R/V AKADEMIK MSTISLAV KELDYSH)**

**Galkin S.V., Vinogradov G.M., Belov D.A., Anisimov I.M., Olenin A.L.,  
Lesin A.V., Lakhno O.V.**  
*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.  
galkin@ocean.ru*

Рассмотрено комплексное использование видеонаблюдений и фотосъёмки с буксируемой платформы и «классических» бентосных тралений и дночерпательных проб для более полного изучения донных сообществ на примере работ в арктическом 96 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш».

The integrated use of video observations and photography from a towed vehicle and “classical” benthic trawls and bottom-grab samples for a more complete study of benthic communities during the Arctic 96th cruise of the R/V *Akademik Mstislav Keldysh*.

**Ключевые слова:** буксируемая платформа «Видеомодуль», заборные орудия пробоотбора, бентосные сообщества

**Key words:** towed vehicle ‘Videomodule’, bottom sampling gears, benthic communities

Ещё со времён работ с глубоководными обитаемыми аппаратами стало понятно, что результаты прямых наблюдений донной фауны значительно пополняют и уточняют результаты траловых сборов, проведённых в той же точке, и такие комплексные исследования имеют особую ценность (Виноградов, Галкин, 2024). Практика показала, что сказанное в полной мере относится и к видеопрофилям, получаемым буксируемыми необитаемыми платформами (Галкин и др., 2021). Видеопрофилирование, с одной стороны, позволяет получить данные по крупным животным, способным избегать попадания в трал, а с другой – применить к изучению донных сообществ требующий прямых наблюдений ландшафтный подход. Сборы же классическими тралами и дночерпателями позволяют уточнить систематическое положение наблюдавшихся животных, а также доставляют исследователям образцы мелкой и зарывающейся фауны, неразличимые на записях БНПА. В результате исследованием оказывается охвачен весь размерный комплекс донных животных, включая представителей как макро-, так и мегафауны.

Именно такой комплексный подход был применён в 96 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (август 2024) в Баренцево и Карское моря и на склон Северного Ледовитого океана. Основными направлениями биологических работ в рейсе были изучение донных сообществ районов метановых выходов, а также сбор материала для биогеографических исследований в зоне взаимодействия атлантического и арктического географических элементов фауны. Схема биологических работ в рейсе включала непременно видеопрофилирование, проводимое параллельно с классическими траловым и дночерпательным пробоотбором. Донные траления тралом Сигсби были выполнены на 5 станциях; пробы из дночерпателя «Океан-0.25» взяты на 23 станциях. В ходе работ с БНПА «Видеомодуль» было выполнено 19 трансект. Общая длина трансект составила 11754 м, визуально обследованная площадь дна 15665 м<sup>2</sup>, были получены более 13 видеозаписи и 2991 фотография высокого разрешения.

Оборудование БНПА «Видеомодуль» включает систему управления и передачи данных, позволяющую передавать команды управления и получаемую информацию между судном и буксируемой платформой по оптическому кабель-тросу в режиме реального времени. Также имеются системы навигации, энергопитания, три видеокамеры (одна из них, высокого разрешения, настроена для проведения плановой съёмки), позволяющие как осуществлять запись

данных на внутренний накопитель, так и передавать видеопоток по локальной сети в реальном времени. Видеосистема имеет угол обзора 74° в воде и позволяет различить в кадре объекты величиной ~1 см. Фотосистема реализована на базе фотокамеры с объективом, обеспечивающим угол обзора 54° в воде, и позволяет различить в кадре объекты величиной порядка 1 мм. Освещение обеспечивают шесть светильников заливающего света; имеются два параллельных лазерных указателя, проецирующих на поверхность дна две отметки на фиксированном расстоянии в 20 см друг от друга. При необходимости, возможна установка дополнительного оборудования – гидрофизического зонда, локатора бокового обзора и т.д. Таким образом, использование БНПА «Видеомодуль» позволяет получать навигационно-привязанные (в том числе по глубине), пространственно-ориентированные и масштабированные изображения дна, с присутствующими на них животными (Пронин, 2017). Видео и фотосъемка велась по возможности на прямолинейных трассках длиной около 600 м при равномерном движении аппарата со скоростью около 0.5 узла на расстоянии около 1 м от дна.

Оказалось, что состав и относительное обилие животных, оцениваемые по данным видео- и фотосъемки существенно различаются. Причин этому несколько. Видеосъемка производится в течение трассек непрерывно, и соответственно захватывает значительно большую площадь дна. Дискретные фотографии, сделанные с принятым интервалом, по нашим оценкам, покрывают лишь 10-14% площади, отображенной на видеозаписи. Таким образом, многие крупные, но относительно редкие животные могут просто не попасть в кадр. Так, очевидно, произошло с доминирующим в сообществе банки Ушакова морским пером *Funiculina quadrangularis*, которые по данным видеозаписи по численности почти на порядок опережают другие группы, а судя по фотографиям, находятся лишь на пятом месте по встречаемости. С другой стороны, разрешающая способность применяемой фотокамеры намного выше, чем видеокамеры. Поэтому многие мелкие и обильные животные, вроде амфипод или мелких офиур, хорошо различимые на фотографиях, практически не видны на видеозаписи. Кроме того, направление съемки фото- и видеокамер не вполне совпадают, что тоже может привести к разночтениям. Из этого следует два важных методологических вывода. 1). Не следует пытаться проводить сравнение результатов, полученных путем видеопрофилирования в одном биотопе с результатами, полученными на фоторазрезах в другом. Такое сопоставление будет некорректным. 2). Фоторазрезы и

видеопрофилирование не взаимозаменяемы, и не дублируют, а взаимно дополняют друг друга. В настоящее время получить более или менее адекватную картину распределения жизни на дне можно лишь при сочетании обоих методов. Перспектива развития метода визуальных исследований видится в увеличении частоты кадров фотосъемки и увеличении разрешения видеозаписи. При этом желательна «соосность» или сближение направления съемки фото- и видеокамер (по крайней мере, масштабные точки должны попадать в поле зрения фотокамеры).

Проводившиеся параллельно бентосные траления и отбор проб дночерпателем позволили не только значительно расширить видовые списки донных обитателей, но и дали возможность точного определения крупных бентосных животных, наблюдаемых «Видеомодулем». Так, разбор траловой пробы из желоба Св. Анны показал, что наблюдавшиеся трансекте крупные офиуры *Gorgonocephalus* на самом деле принадлежат к двум видам, *G. eucnemis* и *G. arcticus*. Более того, анализ свежего тралового материала позволил выявить габитуальные различия, позволившие с достаточной уверенностью различать эти близкие виды и на записях «Видеомодуля». Кроме того, траловые сборы позволили пополнить коллекционный фонд ИО РАН на 441 единицу хранения, а также получить материал, пригодный для дальнейших молекулярно-генетических исследований, что крайне важно в современной систематике.

Материал подготовлен в рамках госзадания № FMWE-2024-0022.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов, Г. М., Галкин, С. В. Увидеть дно: от первой батисферы до глубоководных модулей // Океанологические исследования. – 2024. – Т. 52. – № 3. – С. 160–184.
2. Галкин, С. В., Залота, А. К., Удалов А. А., Пронин А. А. Оценка плотности популяций краба-вселенца *Chionoecetes opilio* в Карском море с использованием БНПА «Видеомодуль» // Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2021). Материалы XVII международной научно-технической конференции. Т. 2. – М.: Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, 2021 – С. 207–210.
3. Пронин, А. А. Методика сбора и представления материалов видеосъемки поверхности дна с помощью необитаемого подводного буксируемого аппарата «Видеомодуль» // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 12-1. – С. 142-147.

УДК 551.463.6:639.2.053.8

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ИСЗ В РЫБОПРОМЫСЛОВОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ

**Булатова Т.В., Царева В.А., Барканова Т.Б., Ванюшин Г.П.,  
Сапунова Е.В.**

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский  
институт рыбного хозяйства и океанографии»  
105187 Москва, Окружной проезд, 19  
тел. 8(499)369-92-97, fax: 8(499)369-03-81, e-mail: [sst@vniro.ru](mailto:sst@vniro.ru)*

## THE EXPERIENCE OF USING SATELLITE DATA IN FISHERY FORECASTING

**Bulatova T.V., Tsareva V.A., Barkanova T.B., Vanyushin G.P.,  
Sapunova E.V.**

*FSBSI Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO)  
105187 Moscow, Okružhnoy proezd, 19  
tel. 8(499)369-92-97, fax: 8(499)369-03-81, e-mail: [sst@vniro.ru](mailto:sst@vniro.ru)*

Представлены примеры использования данных о температуре поверхности океана с ИСЗ серий Meteosat, GMS, Himawari и GOES при прогнозировании выловов лососевых рыб в Северо-Западной части Тихого океана, морского окуня *Sebastes mentella* в море Ирмингера и кальмара *Illex argentinus* в Юго-Западной Атлантике.

The paper presents examples of application of sea surface temperature data from Meteosat, GMS, Himawari and GOES satellite series in forecasting salmon catches in the Northwestern Pacific Ocean, redfish *Sebastes mentella* in the Irminger Sea and squid *Illex argentinus* in the Southwestern Atlantic.

**Ключевые слова:** температура поверхности океана, спутниковые данные, рыбопромысловое прогнозирование, тихоокеанские лососи, морской окунь, море Ирмингера, аргентинский кальмар иллекс, Фолклендское течение.

**Key words:** sea surface temperature, satellite data, fishery forecasting, Pacific salmon, redfish, the Irminger Sea, Illex squid, Falkland Current.

В связи с тем, что современный подход к рыбопромысловому прогнозированию имеет в своей основе анализ динамики развития крупных морских экосистем, использование температурных данных в качестве элемента стратегического планирования промысла может иметь большое практическое значение при разработке соответствующих методик и рекомендаций.

Организованная ФГБНУ «ВНИРО» система спутникового мониторинга температуры поверхности океана (ТПО) дает возможность оперативно отслеживать текущее состояние температурных условий в промысловых акваториях, а обширная (с 1989 г.) база данных позволяет проводить оценку влияния динамики ТПО на величину пополнения и условия промысла различных гидробионтов.

Технология мониторинга ТПО базируется на основе комплексного анализа цифровых материалов ежесуточной инфракрасной съемки с геостационарных ИСЗ серий GOES, Meteosat, GMS и HIMAWARI с разрешением от  $0,3 \times 0,3^\circ$  до  $1,0 \times 1,0^\circ$  и квазисинхронных данных ТПО с судов и буев из Центра Мировых данных. При восстановлении температуры по спутниковым данным использовался гистограммный метод обработки и выборки данных. Конечным продуктом мониторинга являются карты ТПО недельной, месячной, сезонной или другой необходимой дискретности [1]. В дальнейшем они используются для расчетов ТПО в конкретных акваториях.

Так, для анализа влияния ТПО на общий вылов тихоокеанских лососей были проанализированы показатели ТПО в зоне зимовки лососевых (рис. 1а) для периода январь–март 1998–2021 гг. В результате для нечетных лет была выявлена прямая зависимость ( $r = 0,81$ ) объема вылова тихоокеанских лососей от ТПО в период зимовки (рис. 1б) [2], а в четные годы соответствующая зависимость была не столь велика ( $r = 0,41$ ). По результатам исследований были проведены тестовые расчеты вариантов краткосрочного прогноза итоговых выловов лососей на Дальнем Востоке в 2023 г. для нечетных лет. Полученные значения были близки к реальным (83 % от фактического вылова) [3]. Таким образом, данные о ТПО за зимний период могут быть использованы при прогнозировании выловов тихоокеанских лососей с заблаговременностью 6–7 месяцев.

Другое направление применения данных ТПО – прогноз численности окуня-клювача *Sebastes mentella* моря Ирмингера в слое 0–500 м. Для решения этой задачи проводился сравнительный анализ ТПО и распределения окуня по данным международных акустических съемок в период июнь–июль 2001–2011 гг. (нечетные годы) (ICES NEAFC-WGRS). В границах выделенной реперной зоны (рис.2а) был произведен расчет ТПО (для квадратов  $1 \times 1^\circ$ ) и относительных величин отраженного скоплениями окуня сигнала SA ( $\text{м}^2/\text{миля}^2$ ). Результаты сравнительного анализа показали существование прямой зависимости между ними ( $r = 0,91$ ) (рис.2б) [4]. В дальнейшем была предпринята попытка прогностической оценки запасов окуня в 2015 г. (рис. 2б).

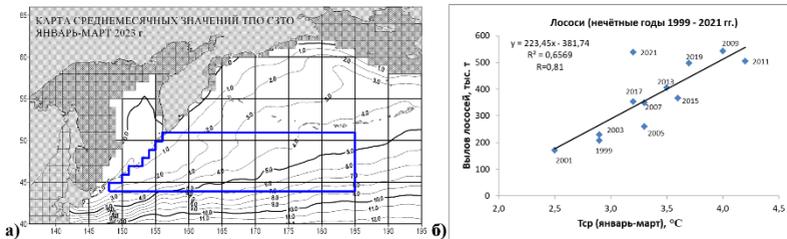


Рис. 1 Применение мониторинга ТПО в Северо-Западной Пацифике: а) пример карты распределения ТПО (январь–март 2023 г.); б) зависимость общих выловов лососей от ТПО в зимовальный период (январь–март) в реперной зоне в нечетные годы 1999–2021 гг.

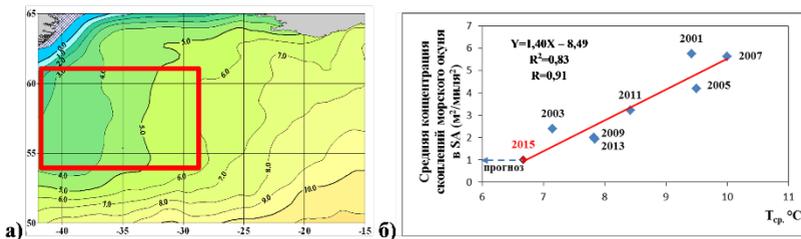


Рис. 2. Применение мониторинга ТПО в Северо-Восточной Атлантике: а) пример карты распределения ТПО (апрель 2015 г.); б) зависимость между ТПО в реперной зоне и показателями SA в 2001–2013 гг.

Для выявления влияния ТПО на условия промысла кальмара *Illex argentinus* в Юго-Западной Атлантике проводился мониторинг отклонения стрежня Фолклендского течения от границ 200-мильной ИЭЗ Аргентины на 46° ю.ш. в 1989–2016 гг. [5]. В ходе исследований было установлено, что отклонение стрежня к западу от границ ИЭЗ в начале года (январь) ведет к увеличению уловов в целом за год, особенно за пределами зоны (рис. 3).

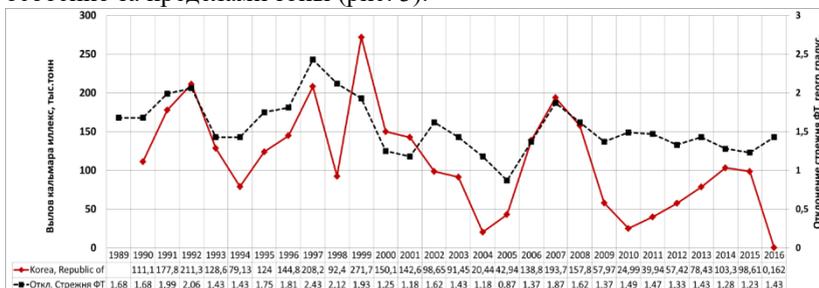


Рис. 3. Отклонение стрежня Фолклендского течения от границ 200-мильной ИЭЗ Аргентины на 46° ю.ш. в январе 1989–2016 гг. и суммарный вылов аргентинского кальмара Кореей в 1990–2016 гг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ванюшин, Г.П. Спутниковый мониторинг температурных условий промысловых районов Мирового океана. Программа ВНИРО / Ванюшин Г.П., Котенев Б.Н., Кружалов М.Ю., Трошков А.А., Барканова Т.Б., Булатова Т.В., Царева В.А., Коробочка А.А., Марков С.Н. – М.: изд. ВНИРО, 2005. – 48 с.: ил. – Библ.: с.48.
2. Булатов, О.А. Перспективы промысла тихоокеанских лососей / Булатов О.А., Ванюшин Г.П., Царева В.А., Кружалов М.Ю., Сапунова Е.В. // Экономика сельского хозяйства России. – 2022. – №10. – С 83-86.
3. Ванюшин, Г.П. Влияние температурных условий в районе зимнего обитания лососей в СЗТО на их промысел / Ванюшин Г.П., Царева В.А., Кружалов М.Ю., Сапунова Е.В. // Труды II Международной научно-практической конференции «Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке. – 2024. – С. 85–90.

4. Ванюшин, Г.П. Изучение влияния поверхностной температуры моря Ирмингера на распределение окуня-клевача в слое 0–500 м. / Ванюшин Г.П., Булатова Т.В., Мельников С.П. // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование», ч. I. – 2014. – С.144-148.
5. Барканова, Т.Б. Использование систем дистанционного зондирования Земли при управлении промыслом аргентинского кальмара / Т.Б. Барканова, М.К. Глубоковский // Вопросы рыболовства, т.15, №2. – 2014. – С. 270-281.

УДК 551.46:550.4.08

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФРАКЦИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО  
УГЛЕРОДА В ДОННЫХ ОСАДКАХ КАРСКОГО МОРЯ ПО  
ДАНЫМ МЕТОДА ОКСИТЕРМОГРАФИИ**

**Зайцева А.Е., Зувев Б.К., Михайлова А.В., Филоненко В.Г.,  
Воропаев С.А.**

*ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.  
Вернадского РАН,  
119991 Москва, ул. Косыгина, 19, 8-499-137-31-86.  
mihneva.1999@yandex.ru*

**IDENTIFICATION OF ORGANIC CARBON FRACTIONS IN BOTTOM  
SEDIMENTS OF THE KARA SEA BASED ON THE  
OXYTHERMOGRAPHY METHOD**

**Zaitseva A.E., Zuev B.K., Mikhailova A.V.,  
Filonenko V.G., Voropaev S.A.**

*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the  
Russian Academy of Sciences (GEOKHI RAS), 19, Kosygina St., Moscow,  
119991, Russia.*

Методом окситермографии проанализированы донные осадки и водоросли Карского моря на содержание органического вещества (ОВ) по регистрации выделившегося органического

углерода в виде  $\text{CO}_2$ . Проведена идентификация термоспектров голубого углерода. Подтверждено соответствие ОВ осадков и водорослей. Сделан вывод о природном растительном происхождении ОВ донных отложений. Можно также заключить, что антропогенных органических загрязнителей в районе исследования не выявлено.

The bottom sediments and algae of the Kara Sea were analyzed for organic matter (OM) content by recording released organic carbon in the form of  $\text{CO}_2$  using the oxythermography method. Identification of blue carbon thermal spectra was carried out. The correspondence of sediment OM and algae was confirmed. A conclusion was made about the natural plant origin of bottom sediment OM. It can also be concluded that anthropogenic organic pollutants were not detected in the study area.

**Ключевые слова:** Арктический шельф, Карское море, анализ морских осадков, голубой углерод, определение органического углерода, окситермография, экология

**Key words:** Arctic shelf, Kara Sea, marine sediment analysis, blue carbon, organic carbon determination, oxythermography, ecology

Голубой (синий) углерод (ГУ) – это органический углерод, который находится в морских экосистемах. Накопление/расход ГУ характеризует его круговорот в биосфере, а также размер и характер загрязнения, если таковое имеется, донных отложений. Поэтому количественное определение общего органического углерода в донных осадках важно для оценки содержания органического вещества (ОВ) в них. Считается [1], что фитопланктон и растительность прибрежно-водных экосистем, например, морские водоросли, вносят большой вклад в поглощение, удерживание и накопление углерода в донных отложениях. Показать это можно проведя идентификацию ОВ водорослей и донных отложений. В цель работы входит идентификация ОВ ламинарии и донных осадков Карского моря [2] методом окситермографии.

Методы термического анализа в последнее время стали широко применяться в анализе природных объектов, во многом заменив трудоемкие методы так называемой «мокрой химии» с применением реактивов. Например, при мониторинге состояния природных и сточных вод особое внимание уделяется определению показателей химического потребления кислорода (ХПК), общего органического

углерода в воде (ООУ), растворенного органического углерода (РОУ). Однако используемые в настоящее время методы анализа являются сложными и требуют больших временных затрат. Таким образом, возникает необходимость создания новых методов и соответствующих приборов, позволяющих быстро и качественно определять содержание ОВ в природных объектах. Для решения поставленной задачи предложена новая модификация метода, названного окситермографией [3-5]. В целом метод основан на программированном высокотемпературном окислении ОВ в потоке атмосферного воздуха и количественном определении молекулярного кислорода и/или диоксида углерода. Метод реализован в приборе – окситермографе [3, 4]. В нашем случае проба анализируемого образца подается в высокотемпературный реактор, через который прокачивается воздух. По мере поступления пробы в реактор происходит ее нагрев и окисление ОВ. Датчик (сенсор) непрерывно фиксирует образующийся  $\text{CO}_2$  на выходе из реактора. На окситермограмме появляются пик/пики соответствующие количеству выделившегося  $\text{CO}_2$ . Новизна данного подхода была подтверждена несколькими патентами РФ. Созданная аппаратура и разработанные методы позволяют определять содержание ОВ в воде, донных отложениях и почвах. В окситермографе не используются химические реагенты. В связи с этим в отличие от классических методов данный метод можно называть безреагентным. Безреагентный способ определения общего ОВ в воде (ХПК), как экологически чистый метод анализа, был отмечен золотой медалью с отличием на Международной выставке в Брюсселе. В большинстве случаев такие инструментальные методы позволили использовать портативную аппаратуру, вывести процедуру анализа из лабораторий и проводить определения «на месте».

Раньше метод окситермографии успешно применен авторами для определения ХПК без предварительной пробоподготовки в питьевой и природной воде: найдены оптимальные параметры работы прибора, влияющие на аналитические характеристики метода; предел обнаружения для объема пробы воды 10 мкл составил 3.4 мг О/л. Анализируемый образец воды подается в высокотемпературный реактор, через который прокачивается смесь газа с заранее заданным парциальным давлением кислорода. По мере поступления образца в реактор происходит его нагрев и окисление ОВ, датчик кислорода непрерывно фиксирует уменьшение содержания кислорода, выходящего из реактора. На графике зависимости концентрации кислорода от времени появляется отрицательный пик, который

характеризует количество кислорода, затраченного на окисление находящихся в образце веществ. Результаты анализа приводятся в виде окситермограммы – зависимости потребления кислорода от времени температурно-программируемого процесса или от температуры образца в ходе его нагрева, и являются характерными для органических и других окисляемых веществ. Общее время полного сгорания образца составляет 3-4 мин. Как правило, для воды пик отклика регистрируется в области 200 с.

Окситермография была с успехом использована для определения пленок нефтепродуктов и масел на поверхности воды. Помимо анализа природных объектов, метод окситермографии применим для контроля различных химико-технологических процессов. Так, было показано, что метод позволяет контролировать процессы прививки органических соединений к неокисляемой поверхности (сорбенты, сенсоры). Разработан метод определения сорбционной емкости сорбентов по кислороду с чувствительностью, позволяющей регистрировать сорбционную емкость отдельных крупинок и изучать кинетику десорбции.

Методом окситермографии также были исследованы болотная вода и грунт нарушенных торфяных месторождений (пожарами, сельскохозяйственными работами, торфоразработками, другой деятельностью). Для детального изучения торфяников отбор проб торфа был проведен на выгоревших и невыгоревших участках, расположенных на расстоянии 1 км друг от друга. Графически результаты измерения в данном варианте метода отображаются на экране компьютера в координатах «Потенциал датчика  $\text{CO}_2$ , отн.ед. – Время, с». При сравнении условий термического окисления на воздухе гуминовых кислот и торфа идентифицирована их растительная природа и определены условия полного сжигания – область температур 200–400 °С с появлением узкого пика в области 400 с.

Следует отметить, что окситермографией в области температур 200-500 °С фиксируется только вещества органической природы. Вещества неорганической природы, содержащие карбонаты (неорганический углерод в виде  $\text{CO}_2$ ), подвергаются окислению при значительно больших температурах с появлением на окситермограмме пика выделения « $\text{CO}_2$ » при 2600 с.

В настоящей работе анализировали донные осадки, отобранные в ходе рейса 89 НИС «Академик Мстислав Келдыш», на станциях 7441 и 7444 [2]. Станция 7444 располагается на полигоне, находящемся в юго-западной части Карского моря. На расстоянии 224 км от станции 7444 находится станция 7441, расположенная на

Западно-Карской ступени. Осадки были отобраны с разных глубин (см): 0-5, 304-308 и 622-686. Использовали водоросли сухие измельченные. Сжигание проводили на лабораторной установке окситермографа. Окситермограф компьютеризирован и работа с окситермограммой проводится в специально разработанном ПО. За результат принимается площадь пика/пиков. Навески воздушно сухих осадков 5-7 мг и водорослей 0.3-0.7 мг отбирали на аналитических весах фирмы ОХАУС РА-64С (с НПВ 65 г и дискретностью 0.1 мг). Оптимальные условия термического окисления представлены на рис. 1.

Полученные окситермограммы представлены ниже (рис. 1 и 2)

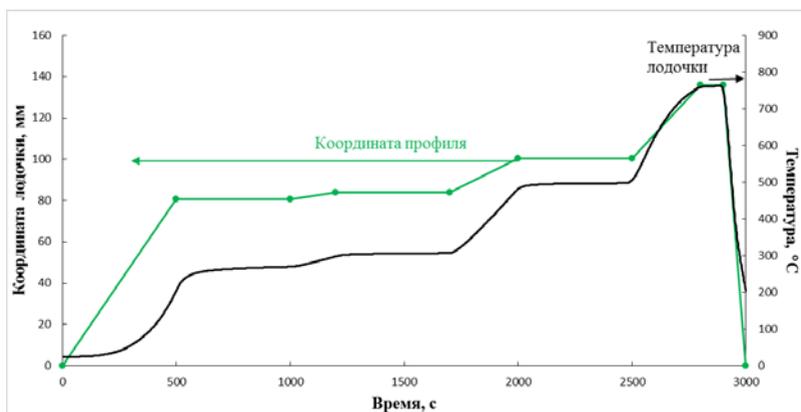


Рис. 1. Заданный профиль движения лодочки в реакторе, время и температура нагрева образца.

Как видно из экспериментально полученных окситермограмм основные симметричные пики ламинии, характеризующие легколетучие фракции ОВ в пределах 200-300 °C (фракция 1) и фракции 400-550 °C (фракция 2), и осадков совпадают. Можно предположить, что в этом регионе водоросли и подобные им флора и арктическая фауна могут быть основными источниками морского ОВ для которого характерна высокая доля алифатических УВ (C<sub>12</sub>-C<sub>27</sub>).

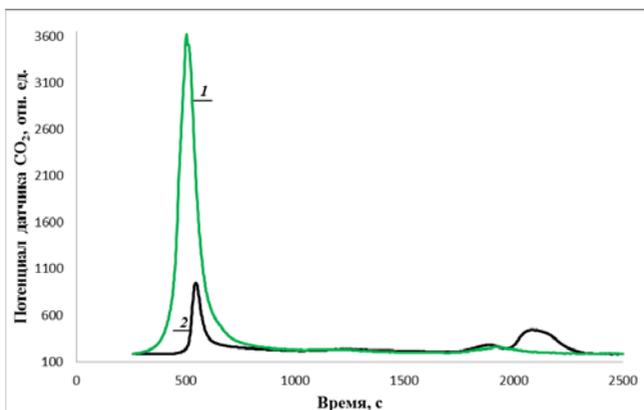


Рис. 2. Оксистермограмма: 1 – нефти; 2 – ламинарии.

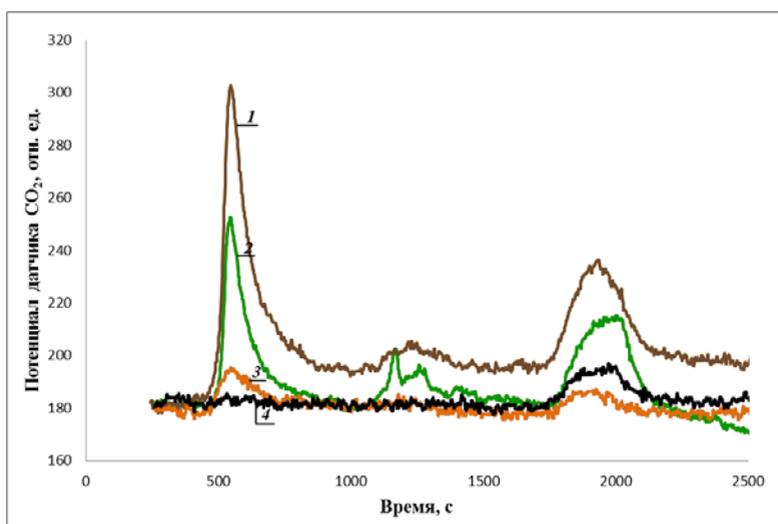


Рис. 3. Оксистермограмма донных отложений: 1 – 7444 (0-5 см); 2 – 7444 (622-686 см); 3 – 7441 (0-5 см); 4 – 7441 (304-308 см).

В табл. 1 представлены характеристики воспроизводимости метода [6], где  $A_{cp}$  – средние значения измерений площадей пиков (фракция 1),  $S$  – вероятное стандартное отклонение,  $S_r$  –

относительное стандартное отклонение,  $\Delta$  – абсолютные значения случайных погрешностей для доверительной вероятности 0,95,  $\Delta/A_{\text{ср}}$  – значения относительных погрешностей.

Таб. 1. – Метрологические характеристики воспроизводимости экспериментальных результатов для фракции 1 (при  $n=5$ ,  $P=0.95$ )

Образец	Глубина отбора, см	$A_{\text{ср}}$	S	$S_r$	$\Delta(0.95)$	$\Delta/A_{\text{ср}}$
Водоросли	поверхность	53305	2.7	0.0001	3.4	0.0001
7744	0-5	13129	16.9	0.001	21	0.002
	622-686	9152	6.5	0.001	8.1	0.001
7441	0-5	3152	3.1	0.001	3.8	0.001
	304-308	—	—	—	—	—

В таблице 2 приведено сравнение содержания ОБ в донных отложениях.

Таб. 2. – Сравнительное содержание фракций ОБ от глубины отбора проб

Образец	Глубина отбора, см	Навеска, мг	Фракция 1, %	Фракция 2, %
Водоросли	поверхность	0.3	87.3	12.7
7744	0-5	6.5	61.8	38.2
	622-686	6.3	46.5	53.5
7441	0-5	6.9	59.6	40.4
	304-308	8.6	0	100

Как видно из табл. 2, содержание ОБ в донных отложениях изменяется по глубине – в поверхностных слоях летучих компонентов ОБ содержится больше (61.8% и 59.6%), чем в нижних (46.5% или отсутствуют). В нижних слоях преобладают и накапливаются ОБ, в большей степени подвергшиеся биохимической переработке.

Можно предположить, что ГУ в донных отложениях состоит в основном из смеси деградированного органического углерода и «свежего». Особенно это проявляется в верхних слоях отложений. На деградацию органического углерода влияет широкий спектр явлений, включая производство метана и природу биосферы морского дна.

Применение нового аналитического метода контроля распределения органического углерода в слоях донных отложений позволяет подтвердить его природу и роль экосистемы в деградации ОВ. Представленные результаты определения содержания ГУ в донных отложениях является новыми, поэтому интерполяция полученных данных в целом носит оценочный характер.

Таким образом, можно заключить, что экспресс-метод окситермография – перспективный методом анализа органических и других окисляемых компонентов природных объектов, в т. ч. донных отложений. Этот портативный метод не требует больших количеств анализируемого вещества (<10 мг), дополнительных реагентов/реактивов, прост в исполнении и экономичен, а также характеризуется экспрессностью и наглядностью. Отличительной особенностью метода является наличие характерных термоокислительных спектров соответствующих определяемым веществам, на чем и основана возможность их идентификации.

В целом предложенный метод окситермографии характеризуют такие параметры как:

- быстрая разделения компонентов сложной смеси;
- отсутствие пробоподготовки;
- малая навеска пробы;
- высокая чувствительность;
- точность;
- анализ различных видов природных и технических образцов;
- простота в эксплуатации прибора;
- устойчивость к воздействию условий внешней среды.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Vidal-Melgosa, S. Diatom fucan polysaccharide precipitates carbon during algal blooms / A. Sichert, T. B. Francis et al. // Nat. Commun. – 2021. – **12**. – 1150. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21009-6>
2. Севастьянов, В. С. Формирование газогеохимических особенностей в донных осадках в зоне линейной депрессии западно-карской ступени / В. С. Севастьянов, В. Ю. Федулова, Е. А. Мороз, Е. А. Краснова, С. Г. Наймушин, Н. В. Душенко, С. А. Воропаев, А. А. Долгонос // Геохимия. - 2024. (в печати).
3. Роговая, И.В. Оптимизация условий определения органического вещества в воде «безреагентным» методом окситермографии и его применение для анализа природной воды / И. В. Роговая, Б. К. Зуев, Т. В. Титова, С. В. Моржухина, А. Е. Сараева, В. Г.

- Филоненко // Ж. аналит. хим. - 2016. - Т. 71. - № 10. - С. 1069-1074.  
DOI: 10.7868/S0044450216100121
4. Zuev, B. K. Oxythermography for exploring the thermal stability of polymer materials: a novel analytical approach / B. K. Zuev, A. E. Zaitseva (Mikhneva), A. S. Korotkov, V. G. Filonenko, I. V. Rogovaya // *J. Anal. Chem.* - 2024. - Т. 79. - № 7. - С. 944-951.  
DOI: 10.1134/S106193482470031X
  5. Зуев, Б. К. Идентификация органического вещества торфа с целью апробации метода окситермографии в полевых условиях для оценки содержания углерода / Б. К. Зуев, А. Е. Сараева, И. В. Фадейкина, Н. П. Ахметьева, О. В. Федотова, И. В. Грехова, Е. В. Фатюшина, А. В. Михайлова // *Геохимия.* - 2022. - Т. 67. - № 4. - С. 394-400. DOI: 10.31857/S0016752522030104
  6. Болотоков А.А. О возможности рентгенофлуоресцентного микроанализа растворов с предварительным концентрированием / А. А. Болотоков, М. А. Кумахов, А. Н. Груздева, Р. Х. Хамизов, Е. Б. Подгорная // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2011. Т. 11. № 1. С. 88-99.

УДК 574.24

## **БИОАККУМУЛЯЦИЯ МИКРОПЛАСТИКА ЛАСТОНОГИМИ (PINNIPEDIA): ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

**Вайнберг А. С.<sup>1,2</sup>, Абакумов Е.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Петербургская улица, 41, Россия*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7-9, Россия*

## **MICROPLASTIC BIOACCUMULATION IN PINNIPEDS (PINNIPEDIA): A LITERATURE REVIEW**

**Vainberg A. Se.<sup>1,2</sup>, Abakumov E. V.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Yaroslav-the-Wise Novgorod State University; B. St. Petersburgskaya str. 41, Veliky Novgorod 173003, Russia.*

<sup>2</sup> *St. Petersburg State University, St. Petersburg, Universitetskaya embankment, 7-9, 199034, Russia.*

Представлен обзор литературы по биоаккумуляции микропластика тремя семействами ластоногих (*Pinnepedia*): *Phocidae*, *Otariidae*, *Odobenus*, состоящий из 21 исследования. Обсуждаются современный опыт и методы исследования.

This paper presents a literature review on microplastic bioaccumulation by three families of pinnipeds (*Pinnepedia*): true seals *Phocidae*, *Otariidae*, *Odobenus*, consisting of 21 studies. The review discusses current research on microplastic bioaccumulation, the identification of microplastic characteristics, and its impact.

**Ключевые слова:** микропластик, морские млекопитающие, ластоногие (*Pinnepedia*)

**Keywords:** microplastic, marine mammals, pinnipeds (*Pinnepedia*)

### Введение

Распространение микропластика (фрагменты пластика <5 мм) вызывает все большую обеспокоенность научного сообщества и общественности [1]. Пластик и микропластик поглощает, как минимум, 701 вид живых организмов [2]. Среди них ракообразные, рыбы, морские (всех видов) черепахи, пингвины и 44–50% всех морских птиц, ламантины, многочисленных китообразные, тюлени [3]. Последствия биоаккумуляции полимеров живыми организмами, особенно птицами, млекопитающими и человеком остаются малоизученными. Морские млекопитающие считаются индикаторами экологического состояния морских экосистем, а многие виды имеют охранный статус, страдая от множества антропогенных факторов [4]. Ластоногие (*Pinnepedia*) подвержены биоаккумуляции микропластика из окружающей среды, как вследствие прямого заглатывания, так и путем трофического переноса.

Изучение трофического переноса, накопления и влияния на физиологические процессы в организме микропластика у указанной группы представлено ограниченным количеством работ, однако в последние годы интерес к исследованию проблемы возрос.

Представлен обзор литературы по биоаккумуляции микропластика тремя семействами ластоногих (*Pinnepedia*) настоящими (*Phocidae*) тюленями, ушастыми тюленями (*Otariidae*), моржами (*Odobenus*), состоящий из 21 исследования.

## Материалы и методы

Поиск соответствующей рецензируемой литературы был проведен в апреле 2024 года с использованием двух баз данных онлайн-публикаций: PubMed и ScienceDirect.

## Результаты

По итогам поиска была отобрана 21 статья.

В основном работы посвящены (57%;  $n = 12$ ) настоящим тюленям (*Phocidae*), при этом в половине случаев объектом исследования являлся серый тюлень (*Halichoerus grypus*) ( $n = 6$ ). Немного меньше внимания привлекает биоаккумуляция микропластика ушастыми тюленями (*Otariidae*) (38%;  $n = 8$ ) и лишь одна работа (5%;  $n = 1$ ) посвящена изучению взаимодействия моржей (*Odobenus*) с микрочастицами пластика.

Пластиковый материал обнаружен в 18 исследованиях, всего его встречаемость варьировала от 0 до 100% проб. Самыми распространенными типами обнаруживаемых полимеров являются полиэтилен, полиамид и полипропилен. В 5 работах исследовалось содержимое желудочно-кишечного тракта выброшенных на берег или полученных в результате промысла погибших млекопитающих, но в большинстве статей приведены данные по результатам изучения содержания микропластика в экскрементах. Более высокое внимание к данному объекту исследования связано, вероятно, с простотой сбора из-за использования наземных сред обитания (например, лежбищ), доступа к многолетним данным по другим параметрам, для которых тоже собирались экскременты (например, анализ диеты) и неинвазивностью метода, учитывая, что многие виды являются охраняемыми.

3 основных этапа определения микропластика в желудочно-кишечном тракте и в экскрементах включают: 1) сбор 2) извлечение и 3) идентификацию. Кроме того, важнейшей частью является предотвращение и контроль загрязнения проб микропластиком извне. На всех перечисленных этапах между исследованиями выявлены существенные различия, что не позволяет корректно сравнивать результаты исследований (Табл.1).

**Таблица 1.**

Краткое описание различий извлечения и идентификации микропластика.

«-» означает не зарегистрировано в исследовании/не определялось.

<b>Исследование</b>	<b>Размер ячеек (µm)</b>	<b>Метод расщепления</b>	<b>Метод идентификации</b>
Ayala et al. 2021	-	-	<i>Микроскопия</i>
Bourdages et al. 2020	850, 425	-	<i>Фурье-ИКС</i> (микропластик не обнаружен)
<i>Carlsson, P et al. 2021</i>	500, 300	-	<i>Фурье-ИКС</i>
<i>Cebunar J.D. et al. 2024</i>	500, 330	10% КОН (1 неделя)	<i>Фурье-ИКС</i> + <i>КР</i>
<i>Desclos-Duces et al. 2022</i>	20	К протеиназа (ферментативное)	<i>Фурье-ИКС</i>
Donohue et al. 2019	500, 250	NaCl (5.4M)	<i>Фурье-ИКС</i>
Eriksson and Burton. 2003	100,500	-	<i>Фурье-ИКС</i>
Garcia-Garin et al. 2020	3000,1000, 500, 1.2	20% КОН (1 неделя)	<i>Фурье-ИКС</i>
Hernandes-Milian et al. 2019	От 250 до 1000	10% КОН (3 недели)	Микроскопия
Hernandez-Milian et al. 2023	1000, 500, 250	10% КОН (3 недели)	<i>Фурье-ИКС</i>
Hudak and Sette 2019	2000, 1000, 500	10% КОН	<i>Фурье-ИКС</i>
McIvor et al. 2023	20	10% КОН	<i>Фурье-ИКС</i>
Nelms et al. 2018	2000, 1000,5000,2000	К протеиназа (ферментативное)	<i>Фурье-ИКС</i>
Nelms et al. 2019a	35	К протеиназа (ферментативное)	<i>Фурье-ИКС</i>

Nelms et al. 20196	35	К протеиназа (ферментативное)	Фурье-ИКС
Moreira-Mendieta et al. 2023	1.2	H2O2 (окислительное)	Фурье-ИКС
Ortega-Borchard et al. 2023	1000, 500, 212	30% КОН (3-5 дней)	-
Perez-Venegas et al. 2018	-	20% КОН (1 неделя)	Микроскопия
Perez-Venegas et al. 2020	-	20% КОН (1 неделя)	Фурье-ИКС
Jardine et al. 2023	80, 10	10% КОН (2 недели)	НПВО Фурье-ИКС

Но положительной тенденцией является нарастание соответствия между применяемыми авторами методами выделения и идентификации материала – почти все исследования последних 3 лет проводятся с применением Фурье-ИКС и идентификацией не только вида, но и цвета и типа полимера. Наблюдается тенденция к более частому применению не только химического, но и ферментативного выделения (К протеиназа). А также все большее внимание уделяют защите от загрязнения на всех этапах работы. В работах последних лет используются новые методы: был применён метод ДНК-анализа в отношении диеты серого тюленя (*Halichoerus grypus*) с целью уточнения способов трофического переноса микропластика. Кроме того, впервые биоаккумуляция микропластика ластоногими (*Pinnepedia*) была оценена в комплексе с такими поллютантами, как фталаты и порфирины. Первые добавляют в пластик для повышения пластичности, при попадании полимеров в окружающую среду они могут вымываться. Кроме того, фталаты способны к биоаккумуляции в живых организмах и дальнейшему влиянию на развитие и размножение эмбрионов, функцию эндокринной системы. Посредством анализа 12 образцов экскрементов тюленей-монахов (*Monachus monachus*) исследователи обнаружили корреляцию между количеством микропластика и концентрацией фталатов.

## Выводы

В настоящее время микропластик обнаруживается в большинстве анализируемых образцов содержимого желудочно-кишечного тракта и экскрементов исследуемых животных, но для полноценной оценки биоаккумуляции микропластика необходимо продолжать изучение процесса у разных видов ластоногих (*Pinnepedia*), стремясь к стандартизации протоколов сбора и анализа материалов. Исследователям предстоит дальнейшее уточнение и развитие представлений о влиянии микропластика на здоровье настоящих (*Phocidae*) и ушастых (*Otariidae*) тюленей, а также моржей (*Odobenus*). Следует проводить исследования на предмет выявления биологических или химических маркеров. Многообещающим способом уточнения механизмов трофического переноса и оценки суммарного воздействия микропластика являются сопоставления количества микропластика в воде, пище и тканях морских млекопитающих.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госконтракт № 075-15-2024-629, МегаГрант).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Barnes, D. K. A. et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments // – 2009. – V. 364. – P.1985-1998
2. Kühn, S., van Franeker, J.A. Quantitative overview of marine debris ingested by marine megafauna //Marine Pollution Bulletin. – 2020. – V. 151..
3. Taylor, M. L. et al. Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms // Scientific Reports. –2016. – V.6
4. Moore, S.E. Marine Mammals as Ecosystem Sentinels // *Journal of Mammalogy*. – 2008. – V.89. – P. 534–540

УДК 639.2.053.1 (268.45)

**ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МНОГОЛЕТНЕЙ  
ТРАЛОВОЙ СЪЕМКИ КАМЧАТСКОГО КРАБА В  
БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**

**Сентябов Е.В., Стесько А.В., Жак Ю.Е.**

*Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ПИНРО») им. Н.М. Книповича), ул. Академика Книповича, д.6, 183038, г. Мурманск, 8(8152)402607, sentyab@pinro.vniro.ru*

**OCEANOLOGICAL ASPECTS OF THE LONG-TERM TRAWL  
SURVEY OF RED KING CRAB IN THE BARENTS SEA**

**Sentyabov E.V., Stesko A.V., Zhak Ju.E.**

*Polar Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («PINRO» named after N.M. Knipovich), 6, Akademik Knipovich Str., Murmansk, 183038, Russia*

По океанографическим данным траловых съемок камчатского краба в Баренцевом море в 2017-2024 гг. выявлены пространственно-временные особенности термохалинных параметров. Оценена связь распределения краба с придонной температурой, соленостью и толщиной придонного однородного слоя.

Based on oceanographic data from trawl surveys of red king crab in the Barents Sea in 2017-2024, spatial and temporal features of thermohaline parameters were identified. The relationship between crab distribution and bottom temperature, salinity, and the thickness of the bottom homogeneous layer was estimated.

С 2017 г., Полярный филиал ВНИРО ежегодно проводит комплексную траловую съемку камчатского краба в Баренцевом море, сопровождаемую притраловыми океанографическими наблюдениями. Особенностью этой съемки является покрытие достаточно большой

акватории (в среднем 38 тыс. км<sup>2</sup>) частой сеткой тралов и океанографических станций (со средним расстоянием между ними около 10 морских миль), что позволяет отнести эти исследования к полигонным.

Основной целью работы является анализ пространственно-временной изменчивости океанографических параметров на акватории вышеуказанной съемки за период 2017-2024 гг. и влияния изменений этих параметров на изменение распределения скоплений камчатского краба.

Материалом для работы послужили океанографические данные притраловых станций, выполненные зондом SBE19Plus в ходе траловых съемок камчатского краба в южной части Баренцева моря в августе 2017–2024 гг. (рис. 1), а также данные траловых уловов камчатского краба в этих съемках. Среднее количество тралений (океанографических станций) за съемку составляло 120.

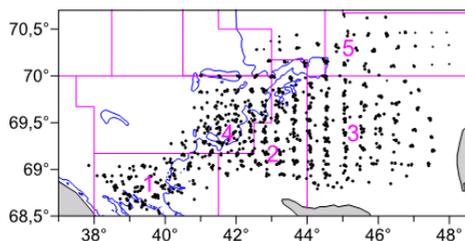


Рис. 1. Положение притраловых океанографических станций в съемках камчатского краба в Баренцевом море в 2017-2024 гг. и промысловых районов: 1 – Восточный Прибрежный район; 2 – Канинская банка; 3 –Канино-Колгуевское мелководье; 4 – Мурманское мелководье; 5 – Северный склон Канино-Колгуевского мелководья.

Фиолетовой линией обозначены границы промысловых районов, синей – изобата 100 м

Исследования распределения океанографических параметров проводилось на выбранных горизонтах, а также на условном разрезе вдоль 69° с.ш., проходящий через большинство районов съемки. Для картирования океанографических параметров использован пакет Surfer11 (метод Kriging), распределение плотности скоплений краба строилось с помощью ГИС «Картмастер 4.1» с использованием метода 2D-сплайна. Отдельно для каждого из промысловых районов были рассчитаны средние значения температуры, солености, толщины квазиоднородных слоев, численности и биомассы камчатского краба

по данным уловов в экз./час траления и кг/час траления, а также оценены их межгодовые изменения.

В докладе представлены некоторые особенности пространственно-временной изменчивости температуры и солености в поверхностном и придонном слоях, а также на условном разрезе вдоль 69° с.ш., который дает представление об изменчивости толщины верхнего и придонного квазиоднородных слоев, глубины залегания и обостренности термо- и халоклинов. Район исследований интересен тем, что на его акватории проходит мощная халинная фронтальная зона между прибрежными мурманскими и распресненными беломорскими водами.

На рис. 2 и 3 представлены распределения придонной температуры и промысловых самцов камчатского краба по данным съемок 2017-2024 гг., на рис. 4, для примера, – межгодовые изменения температуры и солености придонных вод, осредненных по промысловым районам, а также изменения плотности скоплений камчатского краба в них.

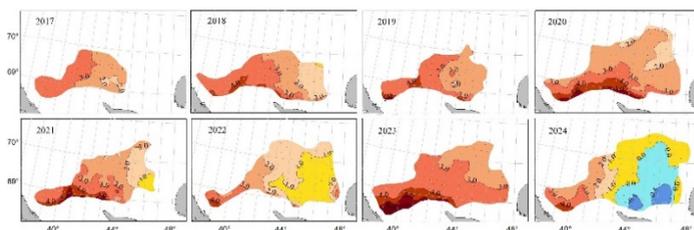


Рис. 2. Распределение придонной температуры воды в августе 2017-2024 гг. в Баренцевом море на акватории траловой съемки камчатского краба

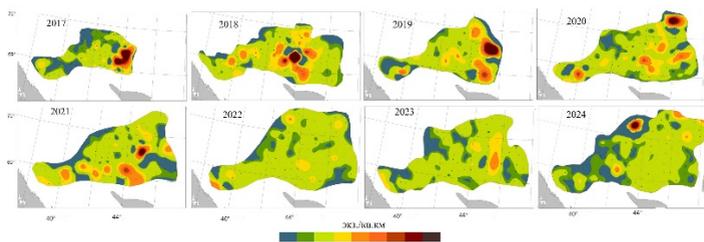


Рис. 3. Распределение промысловых самцов камчатского краба (экз./кв. км) по данным траловых уловов в августе 2017-2024 гг. в Баренцевом море

Анализ пространственной изменчивости океанологических

параметров показал, что толщина верхнего квазиоднородного слоя на акватории исследований изменялась от 5 до 15 м с минимальной толщиной в западных промысловых районах и максимальной (до 20 м), имея также максимальный межгодовой разброс, в районе 5. Толщина придонного квазиоднородного слоя от района к району изменялась от 15 до 65 м, с минимальными значениями в мелководном районе 3 и максимальными в глубоководной части района 4.

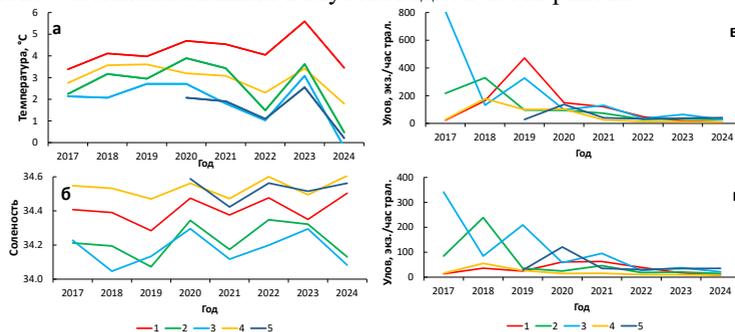


Рис. 4. Межгодовые изменения придонной температуры (а) и солёности (б) воды, а также общей плотности (и) и плотности скоплений промысловых самцов (г) камчатского краба в промысловых районах Баренцева моря в августе 2017-2024 гг. Номера промысловых районов см. на рис. 1

В межгодовом ходе поверхностной температуры за описываемые 8 лет по всем промысловым районам наблюдалось чередование повышения и понижения температуры с размахом в 1-2 °С, от 2017 к 2023 г. отмечалась тенденция на потепление, затем произошло резкое похолодание в 2024 г. Межгодовой ход поверхностной солёности, изменяющейся на акватории исследований в широких пределах от 31,5 до 34,5, для большинства районов описывал квазипараболу с минимальными значениями в 2017 и 2024 гг. и максимальными в 2021 г.

Придонная температура в 2017-2021 гг. во всех районах имела относительно ровный ход, межгодовые колебания происходили в пределах 0,5 °С, в последние 2 года отмечались резкие изменения в диапазоне 2-3 °С, особенно в мелководных районах 2, 3 и 5. Придонная солёность, имеющая гораздо меньший, чем на поверхности, диапазон изменчивости (34,0-34,6), также, как и поверхностная температура, испытывала межгодовые колебания, достигающие 0,2, объясняемые взаимодействием на акватории вод атлантического, беломорского и карскоморского происхождения.

От 2017-2019 к 2022-2024 гг. на акватории исследований

наблюдалось неуклонное уменьшение уловов камчатского краба (см. рис. 3 и 4 в, г), особенно в районах 2 и 3, причем отмечалась зависимость уловов крабов от изменений придонной температуры, наиболее выраженная в районах 3 и 4 ( $r = 0,57-0,63$ ). В глубоководном районе 1 увеличение плотности скоплений краба происходило при уменьшении придонной солености ( $r = 0,65-0,68$ ), т.е. с уменьшением влияния вод атлантического происхождения.

УДК 551.465.45

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В  
ОКЕАНЕ В ОКРЕСТНОСТИ ИЗОЛИРОВАННОГО  
ВОЗМУЩЕНИЯ ПОДВОДНОЙ ТОПОГРАФИИ МЕТОДОМ  
КОНТУРНОЙ ДИНАМИКИ**

**Шатохин М.В., Егорова В.М.**

*Институт водных проблем РАН, 117312, Москва,  
ул. Губкина, 3, 8(499)135-73-31, [info@iwpr.ru](mailto:info@iwpr.ru)*

**INVESTIGATION OF OCEAN POLLUTION DISTRIBUTION IN THE  
VICINITY OF AN ISOLATED DISTURBANCE OF UNDERWATER  
TOPOGRAPHY BY CONTOUR DYNAMICS METHOD**

**Shatokhin M.V., Egorova V.M.**

*Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, 3 Gubkin  
str., Moscow, 117312, 8(499)135-73-31, [info@iwpr.ru](mailto:info@iwpr.ru)*

Взаимодействие свободных вихрей верхнего слоя с топографическим антициклоном, сформированным над подводной горой, представлено в рамках модели трехслойного океана. Загрязнение – область внутри вихревого контура, эволюция которого описывается методом контурной динамики.

The interaction of the upper layer free vortices with a topographic anticyclone formed over a seamount is presented within the framework of a three-layer ocean model. Pollution is associated with the area inside the vortex contour, the evolution of which is described using the contour dynamics method.

**Ключевые слова:** метод контурной динамики, трехслойная модель океана, топографический вихрь, примесь, вихревое взаимодействие.

**Key words:** contour dynamics method, three-layer ocean model, topographic eddy, impurity, vortex interaction.

Мы прослеживаем, как антициклонический топографический вихрь, сгенерированный изолированной подводной горой, взаимодействует в трех слоях с пятнами примеси в вертикально однородном зональном потоке  $U$ , направленном на восток. Динамика пятна примеси описывается эволюцией его контура в рамках модели контурной динамики [1]. Используем модель трехслойного океана [2], где каждый слой характеризуется постоянным значением плотности воды. В качестве горы выбран гайот Затонского, принадлежащий массиву Магеллановых гор. Начало декартовой системы координат совпадает с центром гайота, расположенным в нижнем слое. Оси  $x$  и  $y$  направлены на восток и север, соответственно.

Существование топографического вихря в каждом слое определяется наличием 2-ух неподвижных точек (эллиптической – центр вихря; гиперболической – точка самопересечения линии сепаратрисы). Возникновение точек и их расположение определяются параметрами внешнего потока и стратификацией. Параметры, принятые для дальнейшего моделирования:  $U = 0.05$ ,  $h_1 = 400$  м,  $h_2 = 600$  м, где  $h_{1,2}$  – толщины верхнего и среднего слоев при стратификации Тихого океана, взятой из [3]. При этих параметрах топографический вихрь существует в трех слоях.

На рис. 1 представлены результаты численных экспериментов по динамике изначально круговых пятен примеси для верхнего, среднего и нижнего слоев — последовательно сверху вниз. В верхнем слое пятно примеси имеет антициклоническую завихренность  $\zeta = -0.2$ . В среднем и нижнем слоях  $\zeta \approx 0$ . На рис. 2 аналогичный численный эксперимент, где пятно примеси в верхнем слое имеет циклоническую завихренность  $\zeta = +0.2$ . Координаты начального положения центров пятен  $(x_0; y_0) = (-300 \text{ км}; -275 \text{ км})$ , исходный радиус пятен 50 км в каждом слое.

По мере приближения свободного антициклона (красный) в область над возмущением топографии происходит частичный «перенос» завихренности: петля сепаратрисы топографического вихря сужается (вплоть до полного исчезновения), параллельно формируется вторая сепаратриса (рис. 1, верхний ряд,  $T = 300 - 600$ ). В этот

момент объем жидкости (зеленый), исходно попавший внутрь петли сепаратрисы топографического вихря, «вентируется» и сносится вниз по потоку. Возникает частичный захват ядра антициклонической примеси квазистационарным топографическим вихрем в процессе восстановления его сепаратрисы (рис. 1, верхний ряд,  $T = 900$ ).

Пятна пассивной примеси, расположенные ниже, частично повторяют картины поведения, полученные в [4], аналогично вытягиваясь вниз по течению и делясь на две части (рис. 1, средний и нижний ряды). Тем не менее процессы выноса зеленой области из петли сепаратрисы топографического вихря и частичный захват пятна примеси наблюдаются, хоть и не столь выражено. Пятно в нижнем слое быстрее взаимодействует с топографическим вихрем и покидает область над возмущением топографии.

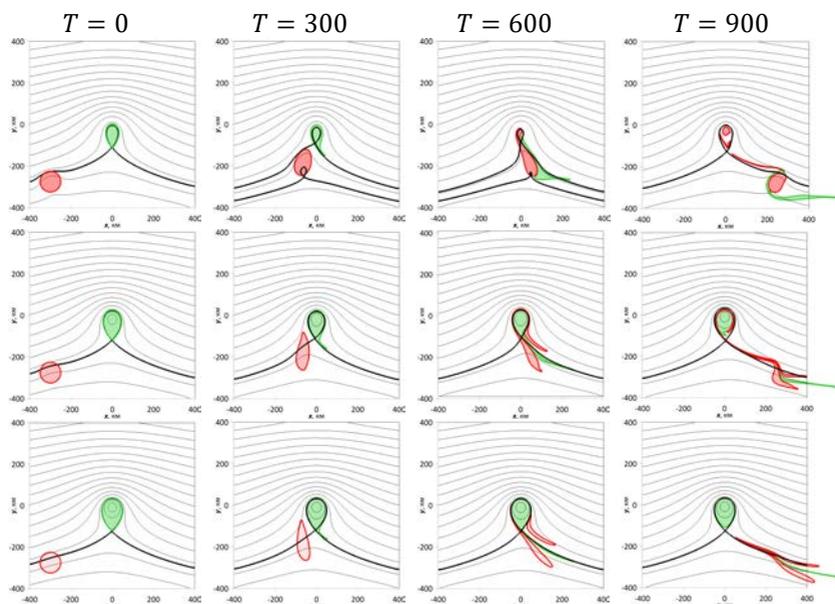


Рис. 1. Эволюция во времени (слева направо) пятен примеси (красная область;  $\zeta = -0.2$  в верхнем слое,  $\zeta \approx 0$  в среднем и нижнем слоях), переносимых зональным восточным потоком ( $U = 0.05$ ) над горой в верхнем, среднем и нижнем слоях, последовательно сверху вниз. Внутренняя часть петли сепаратрисы (зеленая область) ассоциируется с топографическим вихрем.

Как видно из рис. 2, при тех же входных условиях захвата ядра

циклонического пятна не происходит. Взаимодействуя с топографическим антициклоном в верхнем слое (рис. 2, верхний ряд,  $T = 600 - 900$ ), вихревое пятно примеси (синий) разбивается на 2 части, выбрасывает вихревой хвост и ядро. Во всех слоях происходит слабовыраженная «вентиляция» вихря: зеленая область частично сносится вниз по потоку.

Интересно отметить, что в верхнем слое пятно примеси большой завихренности  $\zeta$  проносится под линией сепаратрисы топографического вихря (отодвигая ее), практически не взаимодействуя с самим вихрем.

Исследования выполнены в рамках темы № FMWZ-2024-0001 Государственного задания ИВП РАН.

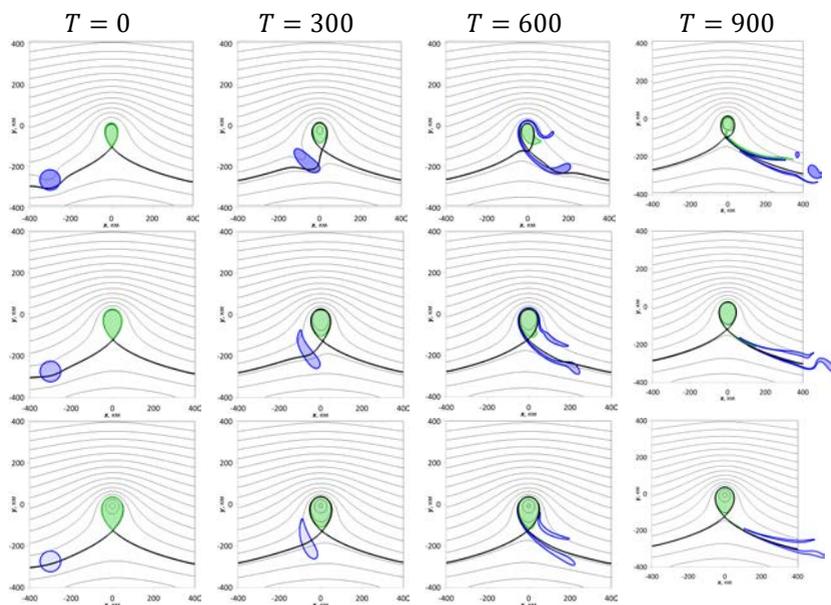


Рис. 2. То же, что на рис. 1 для верхнего слоя, но завихренность  $\zeta = 0.2$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров, В.Г. Метод контурной динамики в океанологических исследованиях / В.Г. Макаров // Владивосток: ДВО АН СССР. - 1990. - С. 28-39.
2. Соколовский, М.А. Моделирование трехслойных вихревых

движений в океане методом контурной динамики / М.А. Соколовский // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. - 1991. - т. 27. - № 5. - С. 550-562.

3. Каменкович, В.М. Синоптические вихри в океане / В.М. Каменкович, М.Н. Кошляков, А.С. Монин - Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 264 с.
4. Шатохин, М.В. Динамика пассивной примеси в поверхностном и подповерхностном слоях во внешнем деформационном поле над подводной возвышенностью в океане / М.В. Шатохин, М.А. Соколовский // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. - 2023. - № 3. - С. 2330901-1-11.

УДК 574.64, 504.064

## **СОДЕРЖАНИЕ ГЕНОВ РЕЗИСТЕНТНОСТИ И УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ МИКРОБИОМОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ**

**Сазыкин И.С., Хмелевцова Л.Е., Ажогина Т.Н.,  
Хаммами М.И., Сазыкина М.А.**

*Южный федеральный университет, 344090 Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/2, +7(918)-512-76-37, [issa@sfedu.ru](mailto:issa@sfedu.ru)*

## **CONTENT OF RESISTANCE GENES AND HYDROCARBON- OXIDIZING POTENTIAL OF BOTTOM SEDIMENT MICROBIOME OF THE TAGANROG BAY OF THE SEA OF AZOV**

**Sazykin I.S., Khmelevtsova L.E., Azhogina T.N.,  
Khammami M.I., Sazykina M.A.1**

*Southern Federal University, 344090 Rostov-on-Don, pr. Stachki, 194/2,  
+7(918)-512-76-37, [issa@sfedu.ru](mailto:issa@sfedu.ru)*

Представлены данные по содержанию генов резистентности, а также углеводородокисляющему потенциалу микробиомов донных отложений Таганрогского залива Азовского моря.

Data on the content of resistance genes, as well as the hydrocarbon-oxidizing potential of the microbiomes of bottom sediments of the Taganrog Bay of the Sea of Azov are presented.

**Ключевые слова:** донные отложения, гены резистентности, углеводороды, Азовское море

**Key words:** bottom sediments, resistance genes, hydrocarbons, Azov sea

За последние десятилетия значительно возросло антропогенное загрязнение донных отложений (ДО) морей, заливов и эстуариев поллютантами, поступающими в прибрежную зону. Изучение ДО представляет значительный интерес с точки зрения выявления экотоксикологических рисков. Предыдущие исследования выявили присутствие хлороорганических пестицидов (ХОП) [1], различных токсических металлов, органических соединений [2; 3] и нефтепродуктов [4] в ДО Азовского моря. Одной из важнейших угроз современному здравоохранению является распространение генов антибиотикорезистентности (АРГ) в окружающей среде. Сейчас АРГ признаны новым классом антропогенных биологических поллютантов [5], способных самостоятельно распространяться в загрязненной окружающей среде. На распространение и изменчивость АРГ в природе влияет также присутствие других загрязнителей, таких как металлы, полиароматические углеводороды (ПАУ), полихлорированные бифенилы (ПХБ), ХОП и др. [6]. Важной характеристикой микробных сообществ антропогенно загрязненных ДО является их способность к биодеградации органических поллютантов. Сейчас для этого все шире внедряется метод мультисубстратного тестирования (МСТ), основанного на окислительно-восстановительных индикаторах, и, в частности, 2,6-дихлорфенолиндофеноле (2,6-DCPIP) [7].

Задачами исследования были оценка биодеградации углеводородов микробиомом ДО с использованием МСТ (декан, гексадекан, циклогексан, бензол, нафталин, антрацен, дизельное топливо) на основе 2,6-DCPIP; оценка содержания АРГ - устойчивости к карбапенемам (*blaVIM* и *blaNDM*), тетрациклину (*TetO*), сульфонидам (*sulII*), макролидам (*ErmB* и *mphA*), аминогликозидам (*aadA2*), метициллину (*mecA*), цефалоспорином и монобактамам (*CTX-M*), гликопептидам (*VanA* и *VanB*), полимиксином (*mcr-1*) и амфениколам (*catA2*); генов эффлюксных насосов, обеспечивающих множественную лекарственную устойчивость (МЛЮ) *qacE* и *acrD*;

генов устойчивости к ртути (*merE*) и множественной металлорезистентности (*CzcA* и *zntA*); генов интеграз (*IntI1*, *IntI2*, *IntI3*), интегронов 1, 2 и 3 классов.

В сентябре 2024 года в прибойной зоне Таганрогского залива Азовского моря в Ростовской области было отобрано 20 проб ДО согласно ГОСТ 17.1.5.01-80. Точки отбора проб расположены в акватории по обе стороны от устья Дона и представлены на карте-схеме (Рис.1).

В ходе исследования было установлено широкое распространение в ДО генов резистентности к металлам. Так, ген *zntA* (эффлюкс Zn/Cd/Pb) обнаружен в значительных количествах ( $1 \times 10^{-4}$ – $1 \times 10^{-2}$  на ген 16S рРНК) во всех 20 пробах. Ген *merE* и эффлюкс Zn/Co/Cd (ген *CzcA*) также широко распространены – в 14 и 13 точках соответственно ( $1 \times 10^{-5}$ – $1 \times 10^{-3}$ ), причем места обнаружения преимущественно совпадали.



Рис.1. Карта-схема точек отбора проб донных отложений.

Из АРГ наиболее распространенным был ген *tesA* (устойчивость к метициллину, 15 точек), однако он присутствовал в количествах, незначительно превышающих его присутствие в естественных микробиомах. В половине проб обнаружен ген эффлюкса МЛУ (*qacE*,  $1 \times 10^{-6}$ – $1 \times 10^{-4}$ ), в 9 пробах – *ErmB* ( $1 \times 10^{-6}$ – $1 \times 10^{-5}$ ), в 8 пробах – *VanB* ( $1 \times 10^{-5}$ – $1 \times 10^{-3}$ ). В 7 пробах в большом количестве найден ген *mphA* ( $1 \times 10^{-3}$ – $1 \times 10^{-2}$ ). Из интегронов наиболее распространенным был 3 тип (11 проб,  $1 \times 10^{-6}$ – $1 \times 10^{-4}$ ), 1 тип присутствовал в 8 ( $1 \times 10^{-5}$ – $1 \times 10^{-4}$ ), а 2 тип всего в трех пробах, в незначительных количествах ( $1 \times 10^{-8}$ – $1 \times 10^{-5}$ ). Установлена корреляция содержания интегронов и спектра АРГ в ДО. Распространение таких АРГ как *tesA*, *VanB* и *mphA*, а также гена *zntA* коррелировало с

распространением интегронов 3 типа, хотя принято считать, что в распространении АРГ преимущественно участвуют интегроны 1 типа.

Наибольшая активность при мультисубстратном тестировании окисления углеводов отмечена в точках 3, 4, 17, 18. В данных точках (кроме точки 3) интегроны не обнаружены, в этих ДО также снижено содержание АРГ. В ДО, отобранных в точке 3, присутствуют интегроны 3 типа в незначительном количестве ( $1 \times 10^{-6}$ ). Таким образом, нефтеокисляющий потенциал микробиомов исследованных ДО обусловлен, прежде всего, активацией присутствующих видов нефтеокисляющих микроорганизмов, а не горизонтальным переносом генетического материала. В точках отбора с большим содержанием АРГ отмечен либо средний (точки 7, 8) либо низкий (точки 9, 10) потенциал окисления углеводородных субстратов. Таким образом, положительных взаимосвязей между содержанием АРГ и интегронов и уровнем окисления углеводородных субстратов в микробиомах ДО Таганрогского залива Азовского моря не установлено.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2024-0026.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Klenkin, A.A., Pavlenko, L.F., Korpakova, I.G., Studenikina, E.I., 2008. Characterization of the Azov Sea surface sediments by the degree of present pollution with a complex of most hazardous toxicants. Water. Resour. 35, 87–91. <https://doi.org/10.1134/S0097807808010107>.
2. Korablina, I.V., Sevostyanova, M.V., Barabashin, T. O., Gevorgyan, J.V., Katalevsky, N.I., Evseeva, A.I., 2018. Heavy metals in the ecosystem of the Azov Sea. Problems of fisheries. 19(4), 509–521.
3. Tikhonova, E.A., Kotelyanets, E.A., Soloveva, O.V., 2021. Sea surface sediments pollution of the Crimean Coast (The Black and Azov Seas). In: Processes in GeoMedia (Volume II). Springer Geology. Springer, Cham, pp. 199–211. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-53521-6\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-53521-6_23).
4. Korablina, I.V., Pavlenko, L.F., Klimenko, T.L., Anokhina, N.S., Ekilik, V.S., Savchuk, I.A., Ryzhkova, V.V., 2021. Characterization of oil pollution of the Azov sea in 2016–2020. Aquatic Bioresources & Environment. 4(1), 19–27.
5. Pruden A., Pei R., Storteboom H., Carlson K. H. (2006) Antibiotic resistance genes as emerging contaminants: studies in Northern

- Colorado. *Environ. Sci. Technol.* 40, 7445–7450.  
<https://doi.org/10.1021/es060413l/>.
6. Gorovtsov, A.V., Sazykin, I.S., Sazykina, M.A., 2018. The influence of heavy metals, polyaromatic hydrocarbons, and polychlorinated biphenyls pollution on the development of antibiotic resistance in soils. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 9283–9292.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-1465-9>.
  7. Kumari B., Chandra R., Benzo[a]pyrene degradation from hydrocarbon-contaminated soil and their degrading metabolites by *Stutzerimonas stutzeri* (LOBP-19A), *Waste Management Bulletin*, Vol. 1, Issue 3, 2023, P. 115-127, <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.07.006>.

УДК 574.64, 504.064

## **ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИБОЙНОЙ ЗОНЫ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Сазыкина М.А., Карчава Ш.К., Климова М.В., Ажогина Т.Н.,  
Хаммами М.И., Сазыкин И.С.**

*Южный федеральный университет, 344090 Ростов-на-Дону,  
пр. Стачки, 194/2, +7(918)-512-76-37, [submarinas@list.ru](mailto:submarinas@list.ru)*

## **ECOTOXICOLOGICAL CHARACTERISTIC OF THE SURF ZONE BOTTOM SEDIMENTS OF THE TAGANROG BAY OF THE AZOV SEA IN THE ROSTOV REGION**

**Sazykina M.A., Karchava Sh.K., Klimova M.V., Azhogina T.N.,  
Khammami M.I., Sazykin I.S.**

*Southern Federal University, 344090 Rostov-on-Don, Stachki Ave., 194/2,  
+7(918)-512-76-37, [submarinas@list.ru](mailto:submarinas@list.ru)*

В статье представлены результаты биотестирования токсичности донных отложений прибойной зоны Таганрогского залива Азовского моря в Ростовской области. С помощью бактериальных люк-биосенсоров выявлены эффекты токсичности различной природы и определены наиболее загрязненные районы.

The article presents the results of bottom sediments toxicity biotesting of the surf zone of the Taganrog Bay of the Azov Sea in the Rostov Region. Using bacterial lux-biosensors, toxicity effects of various origin were revealed and the most polluted areas were identified.

**Ключевые слова:** токсичность, донные отложения, Азовское море  
**Key words:** toxicity, bottom sediments, Sea of Azov

Экосистема Азовского моря подвержена интенсивному антропогенному прессингу – в нее попадает широкий спектр токсичных отходов человеческой деятельности. Поэтому в настоящее время проблема экологической безопасности акватории Азовского моря становится все более актуальной. В последние годы значительный интерес вызывает загрязнение донных отложений (ДО) и его воздействие на водные организмы. Разнообразные загрязняющие вещества попадают в воду и накапливаются в ДО. В результате загрязненность донных отложений приобретает все большее значение в оценке состояния водных экосистем. В связи с вышесказанным изучение токсичности именно донных отложений при помощи батареи биолюминесцентных бактериальных тестов, позволяющей достичь оптимального сочетания экспрессности и чувствительности, представляло особый интерес для эффективной оценки качества водной экосистемы Азовского моря.

ДО отбирали согласно ГОСТ 17.1.5.01-80 [1] в сентябре 2024 года в прибойной зоне Таганрогского залива Азовского моря в Ростовской области у побережья 20 населенных пунктов (рис. 1).



Рис. 1. Сайты отбора образцов донных отложений Азовского моря:

- 1 - Весело-Вознесенка, 2 –Рожок, 3 – Натальевка, 4 – Беглиця,
- 5 – Золотая коса, 6 – Красный Десант, 7 – Новобессергеневка,
- 8 – Таганрог, 9 – Приморка, 10 – Мержаново, 11 – Морской Чулек,
- 12 – Займо-Обрыв, 13 – Круглое, 14 – Стефанидинодар,
- 15 – Павло-Очаково, 16 – Семибалки, 17 – Чумбур-Коса,
- 18 – Маргаритово, 19 – Новомаргаритово, 20 – Порт-Катон.

Токсичность ДО исследовали с помощью батареи генно-инженерных индуцируемых бактериальных lux-биосенсоров, реагирующих на: генотоксиканты – *E. coli* MG1655 (pRecA-lux), *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux); супероксид-анион и пероксиды – *E. coli* MG1655 (pSoxS-lux), *E. coli* MG1655 (pKatG-lux); вещества, вызывающие повреждение белков – *E. coli* MG1655 (pGrpE-lux), *E. coli* MG1655 (pIbpA-lux); вещества, повреждающие мембраны – *E. coli* MG1655 (pFabA-lux). Рассчитывался фактор индукции (I). При статистически значимых ( $p < 0,05$ ) отличиях опытных вариантов от контрольных  $I \leq 2$ , обнаруженный эффект оценивали как «слабый», при  $2 \leq I \leq 10$  - как «средний» и при  $10 \leq I$  - как «сильный» эффект. Интегральную токсичность тестировали с помощью природного штамма *Vibrio aquamarinus* ВКПМ В-11245. Рассчитывался индекс токсичности «Т». Обнаруженный эффект оценивали следующим образом: допустимый ( $T < 20$ ), токсичный ( $20 \leq T < 50$ ) и высокотоксичный ( $T \geq 50$ ). Подробный протокол тестирования подробно описан в работе [2].

Тестирование интегральной токсичности с *V. aquamarinus* ВКПМ В-11245 показало высокую степень токсичности ДО всех сайтов, кроме № 14 ( $T=42$ , токсичны) и № 5–16 ( $T=16$ , допустимая степень токсичности). Максимальную токсичность показали ДО сайтов № 2, 5, 6 ( $T=100$ , высокотоксичны).

При исследовании ДО с генно-инженерными штаммами были выявлены токсические эффекты различной природы. С биосенсорами (*E. coli* MG1655 (pRecA-lux) и *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux), реагирующими на присутствие генотоксикантов, были зарегистрированы эффекты, обусловленные присутствием как промутагенных веществ, так и прямых мутагенов. Следует отметить преобладание прямых мутагенов. Максимальные факторы индукции с *E. coli* MG1655 (pRecA-lux) отмечены в ДО сайтов № 5 и № 6 (факторы индукции (I) составили 22,0 и 43,7 соответственно). С *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux) наиболее значительные эффекты выявлены в ДО сайтов № 1 ( $I=19,3$ ) и № 6 ( $I=33,1$ ).

С биосенсорами *E. coli* MG1655 (pSoxS-lux), *E. coli* MG1655 (pKatG-lux), реагирующими на прооксидантные вещества, было зарегистрировано примерно одинаковое количество слабых, средних и сильных эффектов. Максимальные значения фактора индукции были зарегистрированы в ДО сайтов № 5 и № 6 и составили 17,8 и 28,8 (*E. coli* MG1655 (pKatG-lux)), 19,8 и 35,22 (*E. coli* MG1655 (pSoxS-lux)), соответственно.

Максимальное присутствие веществ, вызывающих повреждение белков, обнаружено с биосенсорами *E. coli* MG1655 (pGrpE-lux) и *E. coli* MG1655 (pIbpA-lux) в ДО сайтов № 5 (I=16,0 и 32,8) и № 6 (I=19,6 и 32,8), соответственно. Всего зарегистрировано по 7 слабых, 10 средних и 3 сильных эффекта с каждым биосенсором.

С биосенсором *E. coli* MG1655 (pFabA-lux), реагирующим на присутствие веществ, повреждающих мембраны, в ДО 7 сайтов зарегистрирован слабый эффект, в 9 ДО – средний и в 4 ДО – сильный. Максимальный фактор индукции отмечен в ДО сайтов № 5 (12,8) и № 6 (I=30.3).

В целом биотестирование на основе батареи люминесцентных тестов выявило общую закономерность: в ДО сайтов № 13–19 преимущественно были зарегистрированы эффекты токсичности слабой силы; в ДО сайтов № 3, 12, 20 – средней силы; в ДО сайтов № 1, 2, 4–11 – средний и сильный эффекты. Максимальные факторы индукции были характерны для ДО сайтов № 5 и № 6.

В ДО сайтов № 5 (Золотая коса) и № 6 (Красный десант) было выявлено максимальное количество сильных эффектов, что свидетельствует о максимальном загрязнении токсическими веществами. Также значительное количество средних и сильных токсических эффектов обнаружено в ДО, отобранных у побережья населенных пунктов № 1 (Весело-Вознесенск), № 2 (Рожок), № 4 (Беглица), № 7 (Новобессергеновка), № 8 (Таганрог), № 9 (Приморка), № 10 (Мержаново), № 11 (Морской Чулек).

Все вышеуказанные населенные пункты находятся на северном побережье Таганрогского залива. Возможно, его большее загрязнение в сравнении с южным, можно объяснить влиянием морских течений, либо близостью г. Таганрога. Таганрог – крупный индустриальный город с металлургическим, теплоэнергетическим производством, машиностроением и пр. В Таганроге расположен крупный морской порт. Следствием всех этих факторов является постоянный сброс сточных вод в Таганрогский залив. Кроме того, негативную роль может также играть бухта Андреева, которая является одной из самых зашлакованных прибрежных частей.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости постоянного контроля загрязнения донных отложений Азовского моря. Создание базы данных по токсичности донных отложений моря поможет идентифицировать источники загрязнения поллютантами и предложить пути их устранения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке  
Министерства науки и высшего образования РФ в рамках  
государственного задания в сфере научной деятельности  
№ FENW-2024-0026.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 17.1.5.01-80. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность.
2. Sazykin, I.S., Sazykina, M.A., Khmelevtsova, L.E., Mirina, E.A., Kudееvskaya, E.M., Rogulin, E.A., Rakin, A.V. Biosensor-based comparison of the ecotoxicological contamination of the wastewaters of Southern Russia and Southern Germany // International Journal of Environmental Science and Technology. - 2016. – V. 13(3). - P. 945-954.

УДК 504.054

### **МИКРОПЛАСТИК В ПЛЯЖЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА БЕРЕГАХ ТИХОГО ОКЕАНА**

**Ефимова И.В., Чубаренко И.П.**

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

### **MICROPLASTIC IN BEACH SEDIMENTS ON THE COAST OF THE PACIFIC OCEAN**

**Efimova I.V., Chubarenko I.P.**

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

Полученные данные по распределению микропластика из разных источников на побережьях Тихого океана позволят исследовать влияние процессов фрагментации на распределение частиц пластика по размерам в условиях реальной окружающей среды.

The obtained data on the distribution of microplastics from different sources on the coasts of the Pacific Ocean will allow us to investigate the impact of fragmentation processes on the distribution of plastic particles by size in a real environment.

**Ключевые слова:** микропластик, распределение, побережье, Тихий океан

**Key words:** microplastics, distribution, coast, Pacific Ocean

Высокая долговечность, универсальность, легкость и прочность пластика [1] привели к увеличению его мирового производства в последние годы, которое достигло почти 390,7 млн тонн в 2021 году [2]. Микропластик (МП) (кусочки пластика <5 мм) вызывает растущую обеспокоенность, поскольку в настоящее время встречается в окружающей среде повсеместно [3, 4].

Результаты лабораторных экспериментов по механической фрагментации пластиковых объектов и генерации МП разными пляжевыми отложениями [5, 6, 7] требуют верификации, для чего могут быть использованы открытые данные натурных наблюдений, например, с берегов Тихого океана (таблица 1).

Таблица 1. Распределение МП в пляжевых отложениях на побережьях Тихого океана

Страна, дата	Пляж	Тип пляжа	Размер МП	Количество МП	МП
Новая Зеландия (январь 2020) [8]	Children's Bay, Akaroa	мелкозернистый песок	<500 $\mu\text{m}$	45,36 МП/кг	40% волокна: полипропилен, нейлон, полистирол, полиэтилен, поликарбонат
			500 - 999 $\mu\text{m}$	124,79 МП/кг	
			1 – 5 мм	64,86 МП/кг	
	Shelley Beach	крупнозернистый песок	<500 $\mu\text{m}$	5,45 МП/кг	
			500 - 999 $\mu\text{m}$	64,68 МП/кг	
			1 – 5 мм	94,88 МП/кг	
	Napier Beach	скальный	<500 $\mu\text{m}$	0	

			500 - 999 µm	14,98 МП/кг	
			1 – 5 мм	29,97 МП/кг	
Оаху, Гавайи (январь 2020) [8]	Sandy Beach	средне зирнис тый песок	<500 µm	9,88 МП/кг	
			500 - 999 µm	80,18 МП/кг	
			1 – 5 мм	99,94 МП/кг	
	Макапу' u Tide Pools	средне - и мелкоз ернист ый песок	<500 µm	9,95 МП/кг	
			500 - 999 µm	45,05 МП/кг	
			1 – 5 мм	140,01 МП/кг	
Гуанчжо у, Китай (декабрь , 2020) [9]	Nansha	песок	<1 мм	1096,7± 270,2 МП/кг	полиэтилен, полистирол, поливинилх лорид, полипропил ен, полиамид
			1 – 2 мм	100±36, 1 МП/кг	
			2 – 3 мм	183,3±2 3,1 МП/кг	
			3 – 4 мм	143,3±4 1,6 МП/кг	
			4 – 5 мм	120±17, 3 МП/кг	
Западно е Папуа, Индонез ия (март	Anday Beach	песок	<1 мм	1383,2 МП/кг	пленки, гранулы
			1 – 5 мм	0,82 МП/кг	

2019) [10]			<1 мм	614,4 МП/кг	волокна
			1 – 5 мм	0,18 МП/кг	

Исследования на пляжах Тихого океана показали, что песчаные пляжи удерживают в себе наибольшее количество МП, в отличие от скалистого берега (таблица 1.). Возможно влияние также других факторов - высоты волны [11], наличия мусора на пляжах [3].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 25-47-00030.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Kautish, P. Awan Understanding choice behavior towards plastic consumption: an emerging market investigation / P. Kautish, R. Sharma, S.K. Mangla, F. Jabeen, U. Awan // Resources, Conservation and Recycling. – 2021. – Vol. 174. - P. 105828.
2. Europe Plastics, Plastics - the Facts 2022 – 2022. - URL: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/> (дата обращения 10.12.2024)
3. Andrady, A.L. Microplastics in the marine environment / A. L. Andrady // Marine Pollution Bulletin. – 2011. – Vol. 62. – № 8. – P. 1596–1605.
4. Esiukova E. Plastic pollution on the Baltic beaches of Kaliningrad region, Russia / E. Esiukova // Marine Pollution Bulletin. – 2017. – Vol. 114. – № 2. – P. 1072–1080.
5. Efimova, I. Secondary Microplastics Generation in the Sea Swash Zone With Coarse Bottom Sediments: Laboratory Experiments /I. Efimova, M. Bagaeva, A. Bagaev, A. Kileso, I.P. Chubarenko // Frontiers in Marine Science. – 2018. – Vol. 5 – P. 313.
6. Chubarenko, I. On mechanical fragmentation of single-use plastics in the sea swash zone with different types of bottom sediments: insights from laboratory experiments / I. Chubarenko, I. Efimova, M. Bagaeva, A. Bagaev, I. Isachenko // Marine Pollution Bulletin. – 2020. – Vol. 150 – P. 110726.
7. Чубаренко, И.П. Исследование роли берегов, покрытых грубым осадочным материалом, в механической фрагментации морского пластика / Чубаренко И.П., Исаченко И.А., Есюкова Е.Е. // Процессы в геосредах. – 2019. – № 4 (22). – С. 534-539.
8. Bleszynski, M. Preliminary Assessment into the Prevalence and

- Distribution of Microplastics in North and South Pacific Island Beaches. / M. Bleszynski, E. Clark // *Microplastics*. – 2023 – Vol. 2 – P. 219 – 229.
9. Chai, B. Microplastic Contamination on the Beaches of South China / B. Chai, Y. Li, L. Wang, X. Zhang, Y. Wan, F. Chen, J. Ma, W. Lan, K. Pan // *Frontiers Marine Science*. – 2022. – Vol. 9. – P. 863652.
10. Marei, I. C. A. Occurrence and distribution of microplastics in the beach sediment of Anday Beach, West Papua (Indonesia) / I. C. A. Marei, F. I. E. Saleh, C. Y. Manullang, A. Soamole, I. Rehalat // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – Vol. 944. – P. 12070
11. Isachenko, I. Beach-cast appearance on the tide-less sea shore: Parameters of favoring surface waves/ I. Isachenko, E. Esiukova, I. Chubarenko // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. – 2023. – Vol. 281. – P. 108219

УДК 620.193.81+66.018.8

**СНИЖЕНИЕ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ  
СТАЛИ И ЗАЩИТА РАЗНОТИПНОГО ПЛАСТИКА ОТ  
БИОКОРРОЗИИ В МОРСКОЙ ВОДЕ С ПОМОЩЬЮ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПО ДАННЫМ ИСПЫТАНИЙ С  
2017 ПО 2024 ГОД**

**Васильев Н.В.<sup>1</sup>, Сапожников Ф.В.<sup>2</sup>, Торопов М.Н.<sup>1</sup>,  
Ивановская А.В.<sup>3</sup>, Ениватов В.В.<sup>3</sup>, Шаратов А.С.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Российский университет транспорта (МИИТ), 127994, ГСП-4, г.  
Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, nikwas55@mail.ru*

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

<sup>3</sup>*Керченский государственный морской технологический университет,  
298309, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, +79788312577, seykgmtu@mail.ru*

**REDUCING THE CORROSION RATE OF STRUCTURAL STEEL AND  
PROTECTING DIFFERENT TYPES OF PLASTIC FROM  
BIOCORROSION IN SEAWATER USING AN ENERGY-BASED  
METHOD BASED ON TEST DATA FROM 2017 TO 2024**

**Vasil`ev N.V.<sup>1</sup>, Sapozhnikov P.V.<sup>2</sup>, Toropov M.N.<sup>1</sup>, Ivanovskaya A.V.<sup>3</sup>,  
Yenivatov V.V.<sup>3</sup>, Sharatov A.S.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Russian University of Transport (MIIT), Moscow, GSP-4, Moscow, st. Obraztsova, 9, building 9, 127994, Russia, nikwas55@mail.ru*

<sup>2</sup>*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia. fil\_aral'sky@mail.ru*

<sup>3</sup>*Kerch State Maritime Technological University, 82 Ordzhonikidze str., Kerch, 298309, Russia, seykgmtu@mail.ru*

Статья посвящена результатам применения энергента (состава из активированных алюмосиликатов) в морской воде для снижения скорости коррозии (электрохимической и бактериальной) конструкционных сталей и биообрастания образцов широко распространённого бытового пластика.

The article is devoted to the results of using energent (a composition of activated aluminosilicates) in seawater to reduce the rate of corrosion (electrochemical and bacterial) of structural steels and biofouling of samples of widely used household plastic.

**Ключевые слова:** алюмосиликаты, энергетический метод, биокоррозия, скорость коррозии

**Key words:** aluminosilicates, energy method, biocorrosion, corrosion rate

Время экспозиции образцов во всех экспериментах с 2017 по 2024 год лежит в диапазоне 6500-7152 часов, поэтому состояния образцов, полученные при концентрации энергента в морской воде из расчета 0, 500, 1000 и 1500 мг/л, и при указанных ниже диапазонах солености, изучали при одинаковых периодах экспозиции.

Научные эксперименты проводили как в лабораторных, так и в натуральных динамических и статических условиях [1,2,3]. В качестве материала образцов использовались стали Ст3 и Ст20, а также пластины из прозрачного бытового пластика ПП, ПЭТ, ПС и ПЭВД. При лабораторных исследованиях в качестве жидкой фазы использовали чистый дистиллят, дистиллят с энергентом в концентрации 500мг/л, искусственную (разведённую на дистилляте из сухого соляного состава) морскую воду соленостью 35‰ - без энергента и с энергентом 500 мг/л. В натуральных экспериментах использовали местную морскую воду и два стенда (СЭО 1 и СЭО 2) из 4-х микрокосмов каждый, обеспечивающих выравнивание условий размещения образцов. Содержание энергента составляло 0, 500, 1000, 1500 мг/л для микрокосмов 1-4 в СЭО 1 и 5-8 в СЭО 2 соответственно. Соленость воды Карского моря для СЭО1 (из района к Северу от

архипелага Северная Земля) составляла 35,28%, и в СЭО2 (из залива Благополучия, Северный остров архипелага Новая Земля) - 25,11%. В ходе эксперимента в Керченском проливе (45°17'05" с.ш. 36°25'09" в.д.), начатого 17.11.2023 в 15мск и продолжающегося по сей день, соленость колеблется от 8 до 11‰. При оценке результатов учитывали особенности окружающей среды, такие как глубина вывешивания полиэтиленовых флагов с рамками, на которых были размещены образцы, а также сезонность и воздействие штормов в прибрежной мелководной зоне Керченского пролива.

Результаты анализа данных, полученных в экспериментах, позволяют предположить, что за критерий универсальности можно принять начальную концентрацию энергента, равную 500 мг/л, обеспечивающую приемлемую скорость проникновения коррозии в поверхность образцов выбранных марок сталей, в мм/год и диапазон времени (4000-5000 часов), до проведения следующей обработки конструкций, работающих в гетерофазной водной среде. При этих параметрах обработки обеспечиваются следующие скорости (таб. 1) проникновения коррозии для полностью погруженных образцов и полупогруженных образцов, экспонированных тот же период времени, но в условиях с переменной ватерлинией.

Таблица 1

Скорость проникновения коррозии в образец из Ст3 в мм/год

Соленость и среда	8-11‰ морская вода	35,28‰ морская вода	25,11‰ морская вода	35‰, искусственная морская вода	Дистиллят
Тип образцов					
Погруженные контрольные	0,0401	0,072	0,068	0,08	0,065
Полупогруженные с энергентом	0,0404				
Погруженные с энергентом	0,0254	0,032	0,031	0,04	0,04

Эксперименты с разнотипным пластиком в относительно стабильных (при размещении на борту судна в Карском море) и, в дальнейшем, абсолютно стабильных (в помещении ИОРАН) гидродинамических условиях показали, что при концентрациях 500, 1000 и 1500 мг/л микрокристаллы энергента формируют на поверхности образцов устойчивый монокристаллический слой. В пределах этого слоя, непосредственно на пластике, при этом не происходит формирования плёнки железобактерий. При отсутствии энергента в контрольной среде с морской водой, на всех образцах

развивалась бурая плёнка из матриксообразующих колоний бактерий *Thiobacillus* sp. Спустя 6 месяцев эксперимента на всех образцах с энергентом наблюдали устойчивое кущение (формирование дендритов) части кристаллов энергента при сопутствующем растворении других кристаллов, не перешедших к этой метаморфозе. Развитие бактериальных колоний происходило по вершинам кустиющихся кристаллов, где эти колонии росли в сильно замедленном темпе. Развития бактерий на пластике отмечено не было. Колонии бактерий были здесь во множестве локализованы в розоватом осадке на дне ёмкостей, в которых экспанировались рамки с образцами. Колонии гетеротрофных бактерий, не отлагающих железо в матриксе и оболочках клеток, а также колонии *Thiobacillus* sp. развивались в осадке в присутствии рассеянных по нему многочисленных микрокристаллов энергента очень медленно. После 6 месяцев экспозиции в осадке также отмечалось кущение кристаллов энергента. При отсутствии стабильного субстрата для адгезии, они кустились многополярно, формируя розетки из радиально расходящихся толстых волокнистых лучей, заканчивавшихся множеством тонких игольчатых разветвлений. В присутствии кустиющихся микрокристаллов микроколонии гетеротрофных бактерий имели толстые многослойные оболочки и малые размеры. Колонии *Thiobacillus* sp. вовсе прекратили рост и клетки в их матриксах либо деградировали в размерах, либо перешли к формированию обильно ветвящихся структур из спор. В микрокосмах без энергента к этому времени происходил обильный рост колоний *Thiobacillus* sp., покрывавших стенки, рамки, образцы и дно ёмкостей рыхлым хлопьевидным оранжевым слоем.

В ходе натуральных экспериментов в прибрежной зоне Керченского пролива микрокосмы с проницаемыми крышками ёмкостей располагались на глубине 2 м в морской воде при солёности 8-11‰. Здесь, в условиях вибрации микрокосмов за счёт воздействия течений и штормовых волн, энергент сохранялся наиболее продолжительное время – 6 месяцев от начала экспозиции - только на пластинках из наиболее тонкого упаковочного прозрачного ПЭВД. При этом было отмечено кущение микрокристаллов, с многополярным ростом волокнистых ветвей. На остальных образцах микрокристаллы энергента к этому времени были смыты. Здесь разностепенно обильно развивались три слоя колоний ржавчинных бактерий – из физиологических групп, использующих для гетеротрофного питания органические соли железа, и выделяют его окислы в форме побочного продукта жизнедеятельности. При этом окислы накапливаются в их оболочках или же в матриксах.

Нижний слой ржавчины на всех образцах формировали распостёртые жёлто-зеленоватые колонии актинобактерий *Nocardoides* cf. *simplex*, обладающие монослойным периферическим ростом. На поверхности пятен, образуемых этими колониями, устойчиво развивались уже трёхмерные, бугорчато-грибовидные колонии малиново-красного цвета, формируемые актинобактериями *Rhodococcus* cf. *ruber*. Среди описанных колоний, распространяясь то по пластику, то по поверхностям пятен *N.* cf. *simplex*, распространялись разностепенно ветвящиеся трубчатые структуры, образованные из оксидов кремния и железа бактериями *Leptothrix* cf. *cholidonii* и *Leptothrix discophora*, а также *Grenothrix* spp.

Наименьшего разнообразия по числу видов такая биогенная ржавчина достигала на образцах ПЭВД, здесь развивались только первые два вида, образуя первичную корку. На образцах ПП появлялись редкие стелющиеся трубчатые колонии *Leptothrix* spp. На прозрачном ПЭТ при той же продолжительности экспозиции трубчатых колоний было больше, а расположение корковых видов носило уже более мозаичный характер. Наибольшим разнообразием видов и формируемых ими структур, при развитии подобия относительно регулярной текстуры, отличалось микрообрастание (ржавчина) на образцах ПС. Важной чертой всех описанных бактериальных колоний является их упругость и механическая прочность за счёт минерализации трубок и матриксов. На фоне действия морской воды в микрокосмах и растягивающего воздействия разрастающихся колоний органо-железобактерий на поверхности поастиковых образцов, на них начинали образовываться тонкие трещины. В динамических условиях микрокосмов, размещённых в морской среде, разнотипный пластик не только обрастал, но и корродировал. Источником ионов железа для роста ржавчины могли служить расположенные неподалёку сооружения судостроительного завода, где железо в различных формах регулярно поступает в воду. Полученные результаты свидетельствуют в пользу корродирующего ржавления предложенных типов пластика в морской среде Керченского пролива, а также защитного действия энергента, с необходимостью перенапыления на образцы не реже 1 раза в 3-4 месяца.

#### 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.
3. Васильев Н.В., Сапожников Ф.В., Торопов М.Н., Зубов П.А., Чикина М.В., Калинина О.Ю. Кондарь Д.В. , Удалов А.А., Липухин Э.В. Проверка влияния энергетического метода воздействия на скорость биокоррозии на стальных и пластиковых образцах, размещенных в морской воде Карского моря/ XVIII Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ 2023) том 1 с. 291.

УДК 574.587

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УЛАВЛИВАЮЩЕЙ  
СПОСОБНОСТИ ДНОЧЕРПАТЕЛЯ ВАН ВИНА И ХАПС-  
КОРЕРА В КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ  
МЕЙОБЕНТОСНЫХ ОРГАНИЗМОВ**

**Росинская А.Е.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, 8(988)33-432-33, [rosinskyanna@gmail.com](mailto:rosinskyanna@gmail.com)*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CATCHING CAPACITY OF VAN  
VEEN GRAB AND HAPS CORER IN QUANTITATIVE STUDIES OF  
MEIOBENTHIC ORGANISMS

Rosinskaia A.E.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36,  
Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia, 8(988)33-432-33,  
[rosinskyanna@gmail.com](mailto:rosinskyanna@gmail.com)*

В вопросе изучения мейобентосных организмов остро стоит

вопрос сравнимости данных, полученных при использовании разных орудий лова. В данной работе проверена гипотеза, согласно которой численность организмов занижена в дночерпательных пробах по сравнению с пробами из хапс-корера.

In studying meiobenthic organisms comparability of different samplers has always been acute. This study tests the hypothesis that using a grab sampler gives underestimated data about total organisms abundance compared to the HAPS bottom corer.

**Ключевые слова:** мейобентос, сообщества мейобентоса, Harpacticoida, Nematoda, дночерпатель, хапс-корер.

**Key words:** meiobenthos, meiobenthos assemblages, Harpacticoida, Nematoda, grab, haps-corer.

В области изучения количественного распределения мейобентосных организмов (многоклеточные животные размером от 32 мкм до 2 мм, обитающие в ассоциации с дном: на поверхности осадков, в просветах между частицами грунта) всегда остро стоял вопрос достоверности данных, основанных на пробах известного объема.

Такое орудие лова, как дночерпатель, в силу особенностей строения, при опускании на дно неизбежно создает перед собой волну, которая нарушает поверхностный слой донных отложений, тем самым потенциально «вымывая» из проб часть мейобентосных организмов. Тем временем, орудие лова с принципиально иной конструкцией, хапс-корер, обладает значительно меньшим лобовым сопротивлением, в результате чего при опускании на дно не нарушает слой наилка, который обычно наиболее богат мейобентосными организмами. [1] В рамках данного исследования проверена гипотеза, что в пробах, отобранных при помощи дночерпателя, общая численность мейобентосных организмов занижена по сравнению с пробами, отобранными корером. Ранее при работах в данном районе использовался мультикорер. [2,3]

Отбор проб производился в Кандалакшском заливе и центральной части Бассейна Белого моря, в районе Соловецких островов. На 10 станциях были отобраны 40 количественных проб. В качестве орудий лова был использован дночерпатель Ван Вина (площадь раскрытия = 0,1 м<sup>2</sup>), а также хапс-корер (диаметр трубки = 15 см). Для количественных проб из каждого орудия лова извлекался

фиксированный объем грунта. В дальнейшем, к пробам, предварительно окрашенным красителем «Бенгальский розовый», был применен метод центрифугирования в градиенте плотности, после чего организмы были подсчитаны тотально в каждой пробе по крупным таксонам (Nematoda, Harpacticoida, Kinorhyncha, Ostracoda и т.д.) с использованием камеры Богорова и стереомикроскопа.

Для статистической обработки данных был использован непараметрический ковариационный анализ на основе различия/сходства (PERMANCOVA). Таким образом был оценен вклад глубины (количественный фактор), содержания алевропелита в осадке (количественный фактор) и орудия лова (качественный фактор) в общую вариабельность различных показателей мейобентоса. Достоверность различий в численности отдельных таксонов при использовании разных орудий лова оценивали парным критерием Вилкоксона.

Таксономическая структура мейофауны достоверно зависит от глубины и содержания алевропелита (PERMANCOVA,  $p = 0,016$  и  $0,018$  соответственно). Сравнение численности таксонов в пробах, взятых дночерпателем и корером подтверждает, что копеподы отряда Harpacticoida (Crustacea: Copepoda) — единственная группа, для которой обнаружены статистически достоверные различия в численности (paired Wilcoxon test,  $p = 0,043$ ). В пробах из хапс-корера их численность на 20-150% выше, чем в дночерпательных повторностях. (Рис.1)

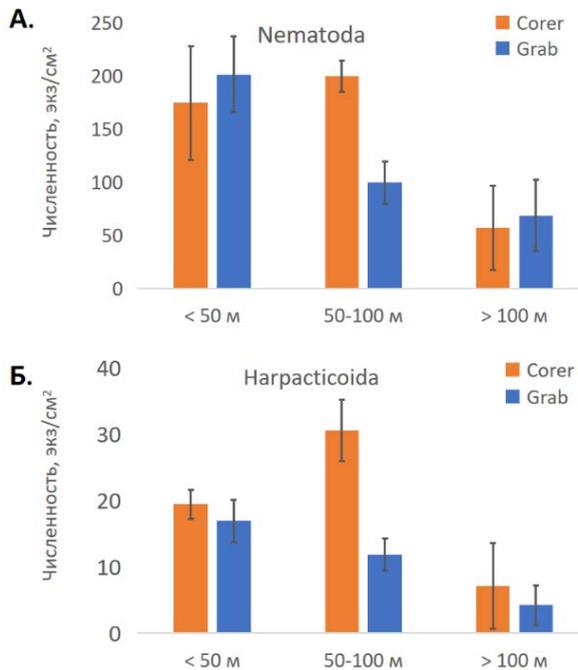


Рис.1. Средние численности **А.** Нематод и **Б.** Гарпактикоид в пробах из HAPS-корера и дночерпателя (по диапазонам глубин, данные съемки 2024 г.).

Общая численность мейофауны и обилие основных групп снижается в основном за счет увеличения глубины (PERMANCOVA,  $p = 0,001$ ), что особенно заметно на глубинах, превышающих 150 м. (Рис.2) При этом плотность гарпактикоид падает быстрее, чем плотность нематод.

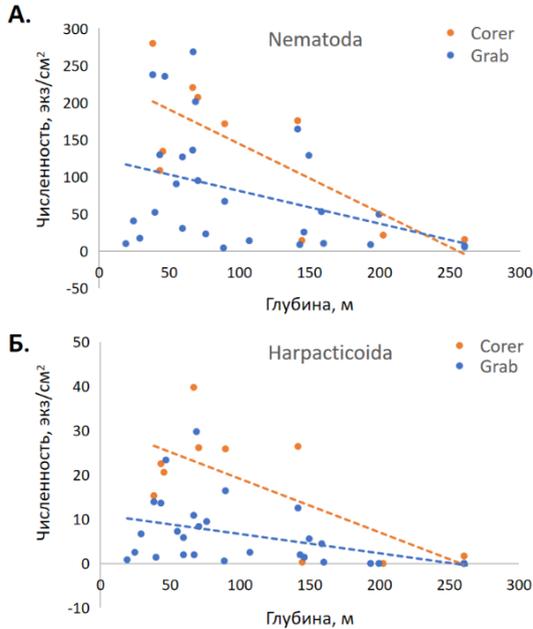


Рис.2. Численность **А.** Нематод и **Б.** Гарпактикоид на разных глубинах (по данным съемок 2023-24 гг.).

Работа выполнена в рамках проекта "Комплексные исследования по оценке влияния глобальных климатических и локальных антропогенных факторов на состояние экосистем арктических морей" ПАО "РОСНЕФТЬ".

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Мокиевский В.О.** Экология морского мейобентоса. / Мокиевский В.О. - Москва: Товарищество научных изданий КМК. 2009. 286 с.
2. **Miljutin D. M.** Benthic meiofaunal density and community composition in the deep White Sea and their temporal variations / Miljutin D. M., Miljutina M.A., Mokievsky V.O., Tchesunov A.V. - Polar biology. – 2012. – Т. 35. – С. 1837-1850.
3. **Miljutin D. M.** Nematode assemblages from the Kandalaksha Depression (White Sea, 251–288 m water depth) / Miljutin D. M., Miljutina M.A., Tchesunov A.V., Mokievsky V.O. - Helgoland Marine Research. – 2014. – Т. 68. – С. 99-111.

**СОСТОЯНИЕ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ  
НОВОРОССИЙСКОГО ПОРТА И ВОДОРΟΣЛЕЙ-  
ОБРАСТАТЕЛЕЙ ПРИЧАЛОВ**

**Селифонова Ж.П.<sup>1</sup>, Часовников В.К.<sup>2</sup>, Березенко Н.С.<sup>1</sup>,  
Боран-Кешишьян А.Л.<sup>1</sup>, Заиченко Т.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова,  
353924, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93, 8 (8617) 71-75-25,  
Selifa@mail.ru

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

**THE STATE OF THE MARINE ECOSYSTEM OF THE  
NOVOROSSIYSK PORT AND ALGAE-FOULING OF PIERS**

**Selifonova Zh.P.<sup>1</sup>, Chasovnikov V.K.<sup>2</sup>, Berezenko N.S.<sup>1</sup>,  
Boran-Keshishayn A.L.<sup>1</sup>, Zaichenko T.I.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Admiral Ushakov Maritime State University, 93, Lenina ave.,  
Novorossiysk, 353924, Russia

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

Выявлены изменения, происшедшие в экосистеме Новороссийского порта. Показано, что основным источником загрязнения вод и донных осадков порта является береговой канализационный сток.

The changes that have occurred in the ecosystem of the Novorossiysk port have been revealed. It is shown that the main source of pollution of the waters of port is coastal sewage runoff.

**Ключевые слова:** планктон, бентос, обрастатели, гидрохимия  
**Key words:** plankton, benthos fouling, hydrochemistry

Новороссийский морской торговый порт по грузообороту крупнейший в России и третий в Европе. За январь-сентябрь 2024 г. через

транспортный узел пропущено 125,8 млн т грузов. В акваторию порта впадают 40 береговых канализационных стоков и р. Цемесс.

Цель – изучение морской экосистемы Новороссийского порта и волорослей макрофитов в обрастаниях причалов.

Гидрохимические исследования проводили с помощью стандартных аналитических методов. Фитопланктон собирали батометром, зоопланктон – средней сетью Джели, зообентос рыхлых грунтов – ручным дночерпателем Петерсена по стандартным методикам [1]. Исследование выполнили в августе 2018 г. при температуре воды 26,9 °С на шести станциях в порту и фоновой – за воротами порта. Водоросли-обрастатели соскабливали скребком на расстоянии 0,01–0,25 м от уреза воды в районе западного мола, катерной станции, стока крейсера «Михаил Кутузов», устья р. Цемесс и центрального района порта [2].

Гидрохимия. Среднее содержание в воде загрязняющих веществ – нефтепродуктов, тяжелых металлов (медь, марганец, железо), АПАВ, фенола не превышало норм ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Концентрации, превышающие значение ПДК, отмечены для свинца (1,4 ПДК), марганца (1,3 ПДК) и фенола (3 ПДК). Средние концентрации биогенных элементов (фосфор, формы азота, кремния) в 1,5–2 раза превышали фоновые. Максимальное содержание минерального азота в воде порта достигало 0,24 мг/л, фосфатов – 0,008 мг/л, кремнекислоты – 0,28 мг/л. По критериям Neue Niederlandische Liste (ДК для нефтепродуктов 50 мкг/г) среднее содержание нефтепродуктов в донных отложениях порта было в 19 раз выше допустимой нормы. В донных отложениях отмечено высокое содержание тяжелых металлов – меди (3,7 ДК), цинка (3,4 ПДК), кадмия (1,3 ДК) и свинца (3,1 ДК).

Фитопланктон. В порту численность фитопланктона в среднем составляла 87,5 тыс. кл./л, биомасса – 180,23 мг/м<sup>3</sup>, что в 1,2 и 2,5 раза ниже в сравнении с фоновой станцией. Повсеместно доминировали диатомовые водоросли (84 и 91 % от общей численности и 75–83 % от общей биомассы фитопланктона). Среди в массе были диатомовые водоросли *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*, *P. seriata* (64–72 % численности отдела). Биомассу формировали *Proboscia alata* и *Pseudosolenia calcar-avis* (82 и 90 % биомассы отдела). Динофитовые водоросли в порту составляли 9–15 % численности и 17–24 % биомассы фитопланктона. Среди них массовые виды – *Prorocentrum cordatum*, *Scrippsiella trochoidea*, виды рода *Gymnodinium* (86 % от общей численности отдела). Виды родов *Ceratium*, *Protoperidinium* и *Prorocentrum micans*, *Oblea rotunda*,

*Scrippsiella trochoidea* в сумме составляли 85 % от общей биомассы отдела. В порту отмечены мезосапробные виды *Leptocylindrus minimus* и др. и синезеленые водоросли *Planktolyngbya limnetica* (12,6 тыс. кл./л), характерные для опресненных и высокоэвтрофных акваторий моря.

Инфузории. Идентифицировано 44 таксона планктонных инфузорий, среди них 15 раковинных (тинтиннид). 60 % тинтиннид были инвазивными, как полагают, занесенными с балластными водами судов. Аморфные формы, главным образом *Mesodinium rubrum*, *M. pulex*, *Strombidium conicum* и др., в среднем достигали 75–95 % обилия цилиатоценоза. Общая численность инфузорий в порту в среднем составляла 64 млн экз./м<sup>3</sup>, биомасса 0,36 г/м<sup>3</sup>. Суммарная численность чужеродных тинтиннид достигала 30–40 % общей численности тинтиннид.

Голопланктон. Идентифицировано 9 таксонов: 3 Copepoda, 4 Cladocera, 1 Chaetognatha, 1 Appendicularia. Средняя численность колебалась от 10,1 тыс. экз./м<sup>3</sup> в порту до 11,7 тыс. экз./м<sup>3</sup> за воротами порта, биомасса от 233 мг/м<sup>3</sup> до 264 мг/м<sup>3</sup> соответственно. В порту численность крупных кладоцер была ниже, чем за воротами порта – *Penilia avirostris* в 1,5 раза, *Pleopis tergestina* и *Evadne spinifera* – в 5 раз. В порту преобладали, в основном, циклопоидные копеподы *O. davisae* и каляноидные *Acartia tonsa*, за воротами порта – калянидные копеподы *Paracalanus parvus*, *Centropages ponticus*

Меропланктон (личинки донных животных). Идентифицировано 13 таксонов, среди которых 4 Polychaeta, 1 Cirripedia, 3 Decapoda, 2 Bivalvia, 1 Gastropoda, 1 Hydrozoa, 1 Phoronida. Доля меропланктона в зоопланктоне колебалась от 37,3 % (порт) до 34,9 % (фон). Средняя численность меропланктона в порту и за воротами порта отличались незначительно 6,0–5,3 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 33 мг/м<sup>3</sup> и 43,3 мг/м<sup>3</sup> соответственно. За воротами порта доминировали личинки двустворчатых моллюсков *Mitilaster lineatus* и брюхоногих моллюсков *Bittium reticulatum*. В порту были заметны личинки усоногих раков *Bittium reticulatum*, *Amphibalanus improvisus*.

Ихтиопланктон. Идентифицирован 21 таксон икринок и личинок летнерестующих видов рыб. Преобладала икра и личинки мигрирующих видов рыб – султанки, ставриды, морского карася с явным доминированием хамсы (60 % от общего числа). Средняя численность ихтиопланктона в вертикальных ловах составляла 9,6 экз./м<sup>2</sup>, в горизонтальных – 98 экз./100 м<sup>3</sup>. Таксономический состав ихтиопланктона был сопоставим с уровнем 2002–2003 гг., а его обилие в среднем повсеместно возросло на порядок.

Зообентос. В донных осадках порта идентифицировано 36 таксонов зообентоса. Зообентос черных жидких илов с сильным запахом сероводорода на 75–95 % состоял из нематод, олигохет, многощетинковых червей *Capitella capitata capitata* и *Streblospio gynobranchiata*, устойчивых к дефициту кислорода и показательных для органического обогащения донных осадков. Плотность донных поселений в среднем составляла 10 тыс. экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 0,1–40 г/м<sup>2</sup>. Низкая биомасса отмечена в районе выпусков городской канализации, где обитали нематоды, устойчивые к загрязнению канализацией. Многолетний анализ выявил заметную деградацию структуры донной фауны – замещение сообщества моллюсков сообществом наиболее устойчивого инвазивного вида полихет *S. gynobranchiata*. Многощетинковый червь *S. gynobranchiata* (вредный вселенец и индикатор загрязнения) впервые появился в Новороссийском порту в 2001 г. в устье р. Цемес. Его популяция за 17 лет распространилась по всей площади дна Новороссийского порта, составляя 27 % от общей плотности и 40 % от общей биомассы сообщества полихет.

Макрофиты обрастания. В сообществе перифитона причалов порта идентифицировано 22 таксонов, из них Chlorophyta составляла до 62,5 % от общего числа. В обрастании корня западного мола порта, который наименее подвержен воздействию стоков, идентифицировано 16 таксонов макрофитов, в районе катерной станции – 10, устья р. Цемес – 5 таксонов, выпуска городского канализационного стока у крейсера «Михаил Кутузов» – 3. Здесь перифитон находился на последней стадии антропогенной деградации (т.н. «зеленого прилива»), обусловленной развитием водорослей родов Chlorophyta. В центральном районе порта на бетонно-каменистых грунтах отмечены водоросли рода *Cystocleira*. На всех участках порта 90–100 % встречаемость выявлена у зеленых водорослей *U. intestinalis*, *Cladocora laetevirens*, *Callithamnion corumbosum* и *Ceramium virgatum*. По признаку сапробности в порту доминировали мезосапробные виды (81,3 % от общего числа видов), олисапробы ≤ 6,2 %.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН № FMWE-2024-0027 Комплексные исследования морских природных систем Черного и Азовского морей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Современные методы количественной оценки распределения морского планктона / под. ред. М.Е. Виноградова. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
2. Зинова А.Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. – Л.: Наука, 1967. – 400 с.  
УДК 581.1

**ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ АССИМИЛЯЦИИ УГЛЕРОДА  
ПРИРОДНОЙ ПОПУЛЯЦИЕЙ ФИТОПЛАНКТОНА ПОД  
ВЛИЯНИЕМ МАЛЫХ ДОЗ**

**$\gamma$  - ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Доманов М.М.<sup>1</sup>, Демидов А.Б.<sup>1</sup>, Суханова И.Н.<sup>1</sup>, Белевич Т.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
117997, Москва, Нахимовский проспект 36, 8(499)124-59-74,  
domanov@ocean.ru*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
биологический факультет, 119991, Москва, Ленинские горы, д.1,  
8 (905) 564-63-53*

**CHANGES IN THE RATE OF CARBON ASSIMILATION BY  
NATURAL PHYTOPLANKTON POPULATION UNDER THE  
INFLUENCE OF LOW DOSES OF**

**$\gamma$  – RADIATION**

**Domanov M.M.<sup>1</sup>, Demidov A.B.<sup>1</sup>, Sukhanova I.N.<sup>1</sup>, Belevich T.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences  
117997, Moscow, Nakhimovsky Prospekt 36, 8(499)124-59-74,  
domanov@ocean.ru*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, 119991,  
Moscow,  
Leninskie Gory, 1. 8 (905) 564-63-53*

Исследовано влияние малых доз  $\gamma$ -излучения на скорость ассимиляции углерода естественной популяцией микропланктона. При увеличении активности внешнего источника  $\gamma$ -облучения с 229 Бк до 376 Бк светозависимая скорость ассимиляции углерода возрастает с 19 до 37%, а

скорость темновой ассимиляции снижается на 46%. Эффект воздействия гамма-облучения коррелирует с относительной биомассой видов состава микропланктона.

The effect of low doses of  $\gamma$ -radiation on the rate of carbon assimilation by a natural population of microplankton was studied. With an increase of internal source activity from 229 Bk to 376 Bk, the light-dependent rate of carbon assimilation increases from 19 to 37%, and the rate of dark assimilation decreases by 46%. The effect of gamma irradiation correlates with the relative biomass of species of microplankton composition.

**Ключевые слова:** радиоэкология, низкие мощности доз, ассимиляция углерода, Карское море.

**Key words:** radioecology, low dose rates, carbon assimilation, Kara Sea.

Пробы фитопланктона для эксперимента были отобраны из поверхностного горизонта на станциях, выполненных с 12 по 17 октября 2023 г. в Обской губе и заливе Благополучия (восточный берег архипелага Новая Земля) Карского моря во-время 92 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». В работе использованы 2 источника  $\gamma$  излучения с навеской соли KCl 150 и 210г. Гамма- активность источников составляла 269 и 376 Бк, соответственно. Экспозиция проб воды содержащих фитопланктон проводилась в полиэтиленовых флаконах, оболочка которых поглощает испускаемые источником электроны, поэтому влияние электронного излучения на пробы не учитывалось. Источники в герметичном пакете помещали в инкубатор непосредственно под экспонируемыми пробами. Измерение скорости ассимиляции углерода выполняли радиоуглеродным методом в светлых и темных склянках [50]. Точность определения 15%. Интенсивность ассимиляция углерода фитопланктоном увеличивается с ростом содержания хлорофилла. При активности 269 Бк ассимиляция углерода возрастает в среднем в 1.2 раза по сравнению с контрольными фоновыми значениями. (рис. 1).

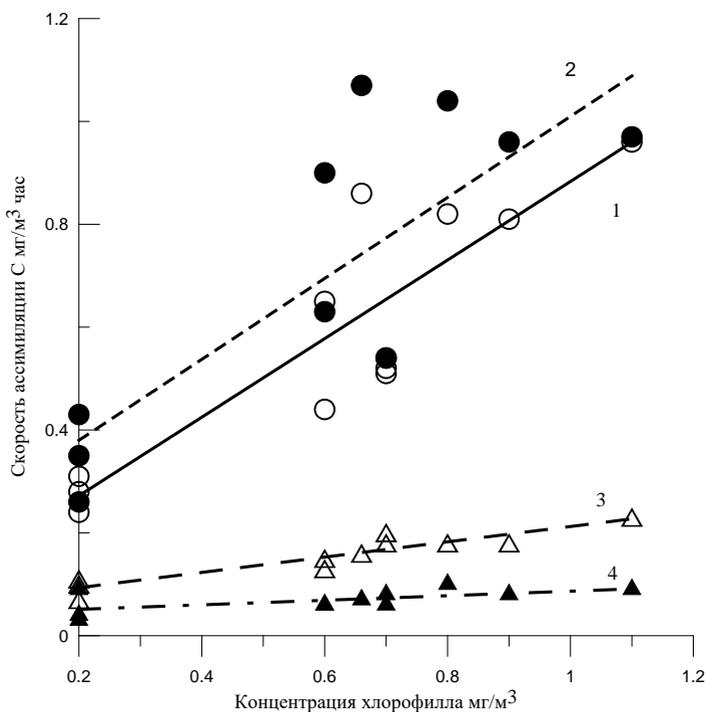


Рис.1. Зависимость интенсивности ассимиляции углерода фитопланктоном от концентрации хлорофилла при воздействии активности внешнего источника  $\gamma$ -облучения 229 Бк. Светлые пробы - 2(●), без облучения - 1(○) и в темноте при облучении - 4(◐) и без облучения - 3(◑).

В темных пробах ассимиляция углерода фитопланктоном также увеличивается с ростом содержания хлорофилла, но при активности источника  $\gamma$ -облучения 229 Бк. интенсивность ассимиляция снижается в 2 раза по сравнению с контрольными фоновыми значениями. Результаты определения скорости ассимиляция углерода на станциях, где проводились параллельные измерения при активности источников 269 Бк и 376 Бк показывают, что при увеличении активности источника  $\gamma$ -излучения с 269 Бк до 376 Бк величина средней скорости ассимиляции углерода на свету возросла в 1.2 раза, а скорость темновой ассимиляции не изменилась. Для

выявления доминирующих видов оказывающих наибольшее влияние на скорость ассимиляции углерода сообществом фитопланктона при воздействии гамма-излучения был выполнен корреляционный анализ связи величины эффектов увеличения скорости ассимиляции с биомассой видов фитопланктона (Таблица 6).

Таблица 6.

Коэффициенты корреляции эффектов увеличения скорости ассимиляции с биомассой видов фитопланктона в светлых и темных пробах при экспозиции с активностью 269 Бк и 376 Бк.

Тип ассимиляции	Активность	Диатомеи	Динофлагелляты	Криптофиты	прочии	Пикопланктон
светлая	269 Бк	0,78	-0,12	0,77	-0,01	-0,25
темная	269 Бк	-0,49	-0,78	-0,14	0,77	-0,84
светлая	376 Бк	0,36	0,72	0,00	-0,66	0,81
темная	376 Бк	-0,28	-0,90	0,06	0,87	-0,95

Выполненные исследования влияния малых доз от внешнего источника  $\gamma$ -излучения на скорость ассимиляции углерода при фотосинтезе популяцией фитопланктона в естественных условиях показали, что при активности источника 269 Бк скорость ассимиляции углерода в светозависимой фазе фотосинтеза (светлые пробы) увеличивается в среднем на 19%. В темновой фазе ассимиляция снижается в среднем на 56 %.

При активности источника 376 Бк скорость ассимиляция углерода в светлых пробах увеличилась в среднем на 37%. В темновой фазе скорость ассимиляции снижается в среднем на 46 %.

На идентичных станциях при увеличении активности гамма-облучения с 269 Бк до 376 Бк светозависимая скорость ассимиляции углерода возрастает до 37%, а скорость темновой ассимиляции уменьшается до 46%

При изменении мощности доз воздействия гамма-излучения на фитопланктонное сообщество изменяется состав доминирующих видов, определяющих интенсивность ассимиляции углерода. В результате происходит изменение видового состава и перестройка структуры фитоценоза.

УДК 574.587

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИЧИН СЕЗОННОЙ  
ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИДОННЫХ ЗОН  
ГИПОКСИИ ВБЛИЗИ МЕСТ ВЫСАЧИВАНИЯ  
УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ ИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ  
ПРЕСНОВОДНЫХ И МОРСКИХ ВОДОЁМОВ**

**Гулин М. Б., Иванова Е. А.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр "Институт биологии южных  
морей имени А. О. Ковалевского РАН" г. Севастополь, проспект  
Нахимова, 2, тел. +7 (8692) 54-41-10, факс: +7 (8692) 55-78-13, e-mail:  
ibss@ibss-ras.ru*

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CAUSES OF SEASONAL  
VARIABILITY IN THE FORMATION OF SEAFLOOR HYPOXIA  
ZONES NEAR THE SITES OF HYDROCARBON GAS SEEPAGE  
FROM SEABED SEDIMENTS OF FRESHWATER AND MARINE  
BASINS**

**Gulin M. B., Ivanova E. A.**

*Federal State Budgetary Institution of Science, Federal Research Center  
"A. O. Kovalevsky RAS Institute of Biology of the Southern Seas",  
Sevastopol, Nakhimov Avenue, 2*

Целью проведенных исследований являлось сравнительное изучение механизмов сезонной variability формирования заморных зон бентали вблизи мест высачивания углеводородных газов (сипов) из донных отложений пресноводных и морских водоёмов.

The purpose of the research was a comparative study of the mechanisms of seasonal variability in the formation of benthic offshore zones near the sites of seepage of hydrocarbon gases from bottom sediments of freshwater and marine reservoirs.

Проведен поиск и изучение метановых сипов в различных

районах Средней Волги, а также в прибрежных районах Крыма, прежде всего в южном секторе полуострова Тарханкут. В работе использовано водолазное снаряжение, подводная фото-видеоаппаратура, прозрачные акриловые трубки внутренним диаметром 54 мм и высотой 30 см; измерительная аппаратура – оксиметр HQ40d (Hach, США), снабжённый погружным блоком сенсоров на кабель-тросе – оптодом оксиметра и термистором, а также потенциометрическая аппаратура: универсальный иономер PH150M и ЭВ-74 (ГЗИП, Беларусь) в комплекте с платиновым измерительным электродом (Corning Glass Works, Корнинг – Нью-Йорк, США).

Впервые газовые сипы у побережья южного сектора полуострова Тарханкут (северо-западная оконечность Крыма) были обнаружены в 1980 г. и с тех пор регулярно посещаются исследователями. Установлено, что местоположение поля наиболее интенсивных газовыделений вблизи Тарханкута остаётся неизменным в течение всего указанного периода наблюдений (более 40 лет) и приурочено к одной из складчатых геоморфологических структур на участке между с. Окунёвка и с. Марьино: 45.355641°N – 32.730592°E. [1]. Вместе с тем, активные газовыделения в данном районе регистрируются преимущественно лишь в позднелетний период (в конце августа – первой половине сентября). Измерения потока газов в данном месте дали среднюю величину 2 л/м<sup>2</sup>/сут. при н.у. [2, 3]. Более того, нами обнаружена и межгодовая изменчивость интенсивности выбросов метана из донных отложений исследуемого района. Например, в 2017 г., характеризовавшимся в Крыму холодной зимой, но жарким летом, было произведено обследование дна и подводная видеосъёмка на глубинах 1.5-6.3 м в пределах поля газовых сипов акватории Окунёвка/Марьино (11 августа-2019). Визуально активность газовыделений на исследуемом скоплении сипов в сезон максимального прогрева вод и верхних слоёв донных отложений в 2017 г. оценена нами как высокая, существенно превышающая таковую во все предыдущие периоды наблюдений. Столь большая интенсивность выбросов метана обусловила и чрезвычайное развитие сульфуретт в местах высачивания газов – микробные маты сипов отмечены нами уже в непосредственной близости от уреза воды, с наибольшим их развитием на глубине 3.5-4.0 м [4].

В регионе Средней Волги, у села Ёлнать Ивановской области, в 2021 г. обнаружено обширное поле газовыделений. Газопроявления в большинстве были эпизодическими, с периодом извержений до 90 сек. При резких сменах температуры придонной речной воды, наблюдали заметное снижение интенсивности сипов. Однако, в ряде

мест зафиксированы непрерывные газовыделения. Вблизи городов Углич, Рыбинск и Тутаев, имеющих русло, ненарушенное гидротехническими преобразованиями, выбросов метана не наблюдалось. Вместе с тем, ниже по течению, в верховьях Горьковского водохранилища, у сёл Волчиха и Ёлнать, указанные газопроявления обнаружены во многих местах, причём, как в летний, так и в зимний и весенний периоды. В придонном слое, непосредственно на участках активных газовыделений, зарегистрирована гипоксия и аноксия (0,00 - 1,34 мг O<sub>2</sub>/л). В колонках грунта, взятых в местах выхода газов, верхний слой донных осадков отличался окислительными свойствами среды, величины окислительно-восстановительного потенциала (Eh) достигали значений +170 мВ. В противоположность этому, глубинные слои грунта характеризовались значительными уровнями сероводородного заражения (значения Eh до -230 мВ) и газонасыщенностью.

Оба исследованных водоёма – Тарханкут в Чёрном море и северная излучина Средней Волги слабо защищены от ветро-волновых воздействий. Поэтому представляется, что столь существенные отличия – выраженная сезонная вариабельность газовыделений у Тарханкута и, напротив, практически не меняющаяся во времени активность сипов у Ёлнати, могут быть объяснены принципиально разными механизмами газообразования в каждом из указанных районов.

На основании проведенных исследований можно предположить круглогодичный характер функционирования метановых сипов и возникновения локальных заморных зон в затопленных частях пойменной террасы Волги, что в целом принципиально отличает водохранилища средней полосы России по внутригодовому циклу и общему потоку метана и сероводорода от мелководных акваторий Чёрного моря, где активные газовые сипы наблюдаются преимущественно лишь в позднелетний - раннеосенний периоды. Необходимо установление причин подобных различий и, прежде всего, в природе сезонной вариабельности водообмена между придонным слоем водной толщи и поровым пространством донных отложений.

#### Благодарность

Авторы глубоко признательны В. П. Чекалову, А. С. Гулину и В. А. Тимофееву (ИнБЮМ, Севастополь) за помощь при проведении экспедиционных работ.

Исследование проведено по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Функциональные, метаболические и молекулярно-

генетические механизмы адаптации морских организмов к условиям экстремальных экотопов Черного и Азовского морей и других акваторий Мирового океан» (2024-2026 гг.). Регистрационный номер: 124030100137-6.

#### ЛИТЕРАТУРА

4. Гулин, М. Б. Зообентос в микробиотопах метановых сипов шельфовой зоны Чёрного моря / М. Б. Гулин, В. А. Тимофеев, Л. В. Бондаренко // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: “ЭКОСИгидрофизика”. – 2010. – С. 225-229.
5. Gulin, M. B. Dependence of location and intensity of the methane cold seeps on geophysical factors: the Black Sea near-shore shallow-water seeps, underwater video materials / M. B. Gulin // Geophysical Research Abstracts. – 2004. Vol. 6, 05394. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU04-A-05394.
2. Малахова, Т. В. Биогехимия мелководных сипов Крымского полуострова // Т. В. Малахова, Т. А. Канапачкий, И. Ю. Тарновецкий, А. Ю. Меркель, М. Б. Гулин, Н. В. Пименов // Понт Эвксинский – 2019: материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. молодых учёных по проблемам водных экосистем, посвящ. памяти д.б.н., проф. С. Б. Гулина, г. Севастополь, 23–27 сентября 2019 г. Севастополь, 2019. С. 45-46.
3. Tarnovetskii, I. Yu. Decoupling between sulfate reduction and the anaerobic oxidation of methane in the shallow methane seep of the Black Sea / I. Yu. Tarnovetskii, A. Yu. Merkel, T. A. Kanapatskiy, E. A. Ivanova, M. B. Gulin, S. Toshchakov, N. V. Pimenov // FEMS Microbiology Letters. – 2018. – Vol. 365, iss. 21. – Article no. fny235. DOI: 10.1093/femsle/fny235.

УДК 574.587

### **ДОННЫЕ ЛАНДШАФТЫ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА**

#### **«ГЕЛЕНДЖИК»**

**Колочкина Г.А., Симакова У.В., Щука А.С., Чикина М.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН (ИО РАН), Москва,  
Нахимовский пр-т, 36, +7(499)124-79-96, [kolyuchkina.ga@ocean.ru](mailto:kolyuchkina.ga@ocean.ru)*

### **BOTTOM LANDSCAPES OF THE CARBON POLYGON**

#### **«GELENDZHİK»**

*Kolyuchkina G.A., Simakova U.V., Shchuka A.S., Chikina M.V.  
Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36,*

*Nakhimovsky Prosp., Moscow, 117997, Russia.*

Выполнено обследование донных ландшафтов акватории карбонового полигона «Геленджик» с помощью ТНПА Ровбилдер РБ-600. Отмечено необычно высокое обилие на мергелевых скалах моллюсков-камнеточцев – *Rocellaria dubia*, а также красной водоросли-вселенца *Bonnemaisonia hamifera*.

A survey of the underwater landscapes of the «Gelendzhik» carbon polygon was carried out using the ROV Rivbilder RB-600. An exceptionally high density of a rare rock-boring bivalve mollusk, *Rocellaria dubia*, and the invasive red algae *Bonnemaisonia hamifera* was noted on marl cliffs.

**Ключевые слова:** подводные аппараты, методы исследования, Ровбилдер-600, грядовый бенч, устричные банки, Черное море, донные экосистемы

**Key words:** underwater vehicles, research methods, Rovbilder-600, bench, oysters banks, Black Sea, benthic ecosystems

Проведена оценка состояния донных ландшафтов карбонового полигона «Геленджик». Для этого 25 июня 2023 г. с борта МНИС Ашамба (ИО РАН) была выполнена видеосъемка дна телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом (ТНПА) Ровбилдер-600 (рис. 1) на глубинах 12-40 м. ТНПА был оборудован камерой Sony HDR-PJ260VE.

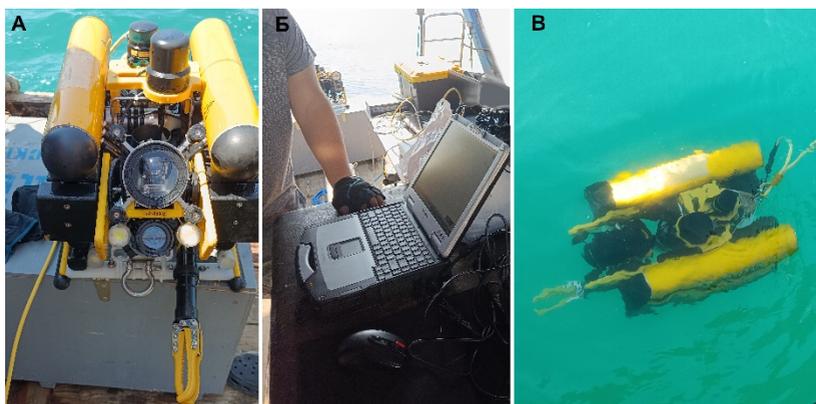


Рис. 1. Общий вид ТНПА Ровбилдер-600 (А), система телеуправления – ноутбук с выводом видео с камеры ТНПА (Б), ТНПА в работе (В).

Получено 11 видеофрагментов. Схема станций

видеонаблюдений представлена на рисунке 2.

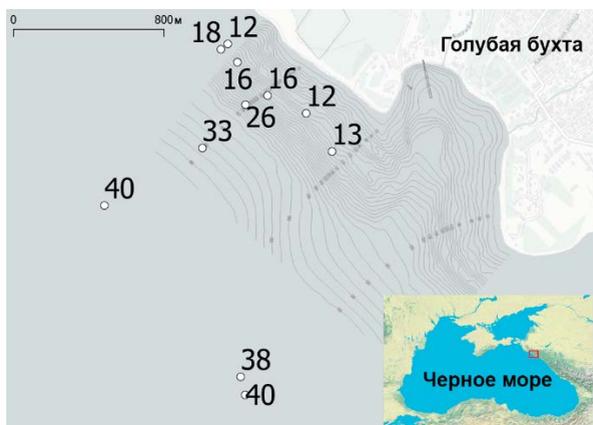


Рис. 2. Карта станций видеосъемок Ровбилдер-600 (цифрами обозначены глубины, м).

Проведенная видеосъемка дна показала, что в районе исследований на глубинах 12-26 м располагался грядовый бенч (рис. 3 А). Он состоял из регулярных гряд мергеля высотой до 3 м и лощин между ними. Гряды были покрыты макрофитами со 100% общим проективным покрытием (рис. 3 А, Б). А обратные стороны гребней – лишь частично. На глубинах 12-18 м основным доминантом на скалах была красная водоросль-вселенец *Bonnemaisonia hamifera*. Этот вид покрывал не только дно, но и другие местные макрофиты (*Phyllophora crispa*) пухообразным ковром, а оторвавшиеся части талломов заполняли лощины между гребнями. На глубинах 12-26 м на вершинах гребней были отмечены многочисленные сифоны моллюска-камнеточеца *Rocellaria dubia* (рис. 3 Б), ранее не отмеченного для северо-восточного побережья Черного моря вида *Bivalvia*. Его плотность достигала несколько сотен на 1 м<sup>2</sup>.

На 30-33 м проходила граница скального грунта (рис. 3 В). На 35-39 м грядовый бенч отсутствовал, мергелевые глыбы встречались единично. Грунт на этих глубинах был представлен заиленной ракушей (преимущественно створки мертвых крупных до 5-10 см устриц *Ostrea edulis*, мидий *Mytilus galloprovincialis*) (рис. 3 Г). Среди бентосных организмов были отмечены единичные друзы крупных мидий до 15 см в диаметре, крупные брюхоногие моллюски рапаны *Rapana venosa*, раки отшельники *Diogenus pugilator* и асцидии

*Ascidiella aspersa* (группы по 2-5 особей в длину около 5 см). С удалением от створа бухты в сторону Новороссийска увеличивался уровень заиления грунтов.

Отмечено, что грядовый бенч продолжается до глубин 30 м, а начиная с 35 м и глубже располагаются рыхлые осадки, на которых возможен отбор дночерпательных проб. Определены точки для отбора проб бентоса с помощью дночерпателя на рыхлых грунтах и водолазным методом на грядовом бенче. Таким образом, использование ТНПА как рекогносцировочного инструмента позволило определить набор методов и инструментов пробоотбора для дальнейшей гидробиологической съемки полигона с учетом рельефа и типа дна.

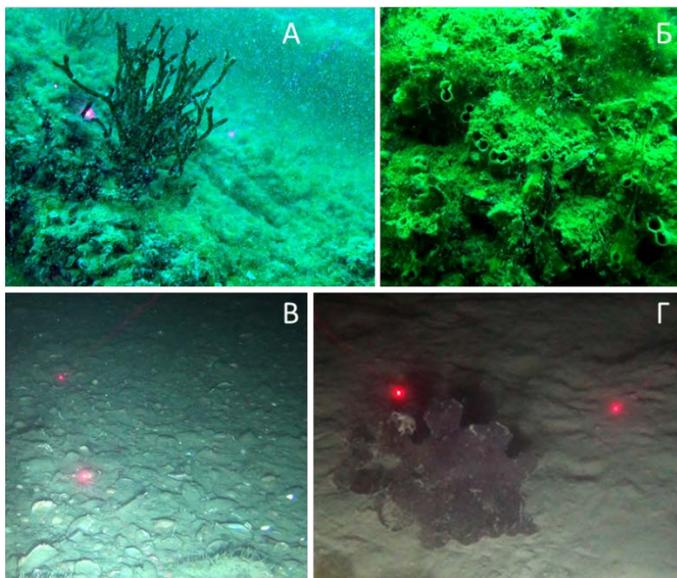


Рис. 3. Стоп-кадры видеотреков с глубины, 16 м (А) и 12 м (Б), 38,9-38,3 м (В), 33м (Г).

Авторы чрезвычайно признательны В.В. Кременецкому и С.А. Щуке за предоставленный ТНПА и возможность проведения съемки, а также А.А. Недоспасову, В.А. Тимофееву, М.С. Афанасьевой и И.В. Любимову за помощь в проведении полевых работ.

Работы выполнены в рамках государственного задания ИО РАН FMWE-2023-0001.

## ОСОБЕННОСТИ ЭВТРОФИРОВАНИЯ СИЛЬНОПРОТОЧНОГО ЭСТУАРИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Третьяков В.Ю.<sup>1</sup>, Клубов С.М.<sup>1,2</sup>, Дмитриев В.В.<sup>1</sup>, Никулина А.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9, 8(921)304-43-70, v\_yu\_tretyakov@mail.ru

<sup>2</sup> ГБУ ДО ДТ «У Вознесенского моста» Адмиралтейского района Санкт-Петербурга, 190031, ул. Гражданская, 26, 8(921)773-38-40, klubov\_stepan@mail.ru

## FEATURES OF A HIGHLY FLOWING ESTUARY EUTROPHICATION ACCORDING TO THE RESULTS OF SIMULATION

Tretyakov V. Yu.<sup>1</sup>, Klubov S.M.<sup>1,2</sup>, Dmitriev V.V.<sup>1</sup>,  
Nikulina A.R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, 7/9 Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia.

<sup>2</sup>Palace of Child Youth Art «At the Voznesensky Bridge» of the Admiralteyskiy district, Grazhdanskaya Str., 26, St. Petersburg, 190031, Russia

В статье представлены результаты исследований эвтрофирования экосистемы морского эстуария р. Невы – Невской губы методами компьютерного имитационного моделирования.

The paper presents some results of the Neva River estuary – the Neva Bay ecosystem eutrophication by means of computer simulation.

**Ключевые слова:** эвтрофирование, поступление азота и фосфора, имитационное моделирование функционирования морских экосистем.  
**Key words:** eutrophication, nitrogen and phosphorus income, simulation of marine ecosystems functioning.

Авторы доклада представляют результаты исследований степени влияния частного водосбора Невской губы – эстуария реки Невы на эвтрофирование её экосистемы. Морские эстуарии представляют собой продолжения устьев крупных рек, в пределах которых или несколько выше по течению обыкновенно расположены крупные города или городские агломерации, оказывающие существенное антропогенное воздействие на экосистемы эстуариев. Естественно, что крупные реки дренируют обширные водосборные бассейны, собирая антропогенные загрязняющие вещества и соединения азота и фосфора. Последние приводят к антропогенному эвтрофированию не только экосистем эстуариев, но и обширных морских акваторий. Поэтому в Мировом океане экосистемы эстуариев наиболее подвержены антропогенному воздействию. Это является причиной большого количества работ, посвящённых исследованиям эстуариев. В качестве примеров можно указать на публикации [1, 2]. Необходимо отметить, что Невская губа имеет особенности, отличающие её от большинства эстуариев. Так, в ней отсутствуют приливно-отливные течения и вертикальная плотностная стратификация.

Основной экологической проблемой Балтийского моря является его антропогенное эвтрофирование. Нева – самая полноводная из впадающих в него рек с самым обширным водосборным бассейном, а Санкт-Петербург – самый крупный мегаполис на его берегах. Это обуславливает необходимость контроля поступающих в Невскую губу с речным стоком соединений азота и фосфора. Мониторинг химического состава стока и расходов реки Невы и её рукавов перед их впадением в Невскую губу уже много десятков лет выполняет ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (СЗУГМС). Собраны данные о химическом составе и объёмах стоков, поступающих в Невскую губу с очистных сооружений Санкт-Петербурга. Также имеется информация о содержании соединений азота и фосфора в атмосферных осадках. Однако отсутствует информация о содержании соединений азота и фосфора в стоке впадающих в Невскую губу малых водотоков, объёмах этих стоков, и о поступлении этих биогенных элементов с прибрежных водосборов с рассредоточенным стоком.

Цель данного исследования заключалась в получении ответа на вопрос о степени влияния частных водосборов Невской губы на функционирование её экосистемы, её эвтрофировании и трофическом статусе. Если это влияние существенно, то необходима организация

постов мониторинга на впадающих в Невскую губу водотоках. Если оно несущественно, то необходимость этих мероприятий отпадает.

Для достижения этой цели был поставлен и решён ряд задач, объединяемых в две группы: 1) определение внутригодовой динамики поступления в Невскую губу соединений азота и фосфора с частных водосборов; 2) определение степени влияния этого поступления на функционирование экосистемы Невской губы и её трофический статус. Для решения первой группы задач были использованы данные мониторинга на створах водотоков с водосборов-аналогов. Для определения модулей стока субстанций и воды с водосборов-аналогов и для возможности выполнения расчётов по данным топографических карт была создана цифровая модель рельефа и в среде ArcGIS, выделены частные водосборы Невской губы и водосборы-аналоги. По данным ГИС-ассоциации России в среде QGIS были определены пространственные характеристики всех водосборов, включая лесистость, долю сельхозугодий, селитебных территорий, промышленных зон, густоту речной сети, средний уклон поверхности и т.д. По этим характеристикам все водосборы с помощью кластерного анализа были разделены по группам таким образом, чтобы в каждой группе был хотя бы один водосбор-аналог. Модули стока водосборов-аналогов «присваивались» частным водосборам Невской губы этих групп. Были определены обобщённые внутригодовые динамики концентраций соединений азота и фосфора в суммарном стоке с частных водосборов Невской губы и объёмы этого стока. Для определения степени влияния частных водосборов Невской губы на функционирование её экосистемы был выполнен ряд численных экспериментов с компьютерной моделью экосистемы Невской губы, реализованной с помощью модификации компьютерной программы «EVT0X» (автор – В.Ю. Третьяков, правообладатель – СПбГУ) [3]. С помощью модифицированного критерия Нэша-Сатклиффа определялась степень различия между внутригодовыми динамиками компонентов модели и интенсивностей моделируемых процессов в экспериментах с учётом и без учёта влияния частных водосборов Невской губы. Определён трофический статус экосистемы Невской губы по результатам этих экспериментов по ряду показателей.

Выполнено сравнение внутригодовых динамик следующих компонентов модели экосистемы Невской губы и интенсивностей процессов: концентраций соединений азота (аммонийного, нитритного, нитратного и органического), фосфора (минерального и органического); биомасс диатомовых, синезелёных водорослей,

остальных групп фитопланктона, суммарного фитопланктона, растительного и хищного зоопланктона; валовой и чистой первичной продукции всех трёх групп фитопланктона; суммарной валовой и чистой продукции. Трофический статус экосистемы определён по следующим показателям: валовой первичной продукции, максимальной валовой продукции фитопланктона, средней валовой продукции фитопланктона за май-сентябрь.

Выявлены незначительные различия внутригодовых динамик концентрации органического фосфора, валовой и чистой продукции диатомовых водорослей и остального фитопланктона за исключением синезелёных водорослей. Для всех остальных динамик, включая биомассу и продукцию синезелёных водорослей, различия практически отсутствуют. Учёт влияния частных водосборов привёл к увеличению валовой первичной продукции под квадратным метром поверхности воды за год с 31.5 до 38.8 г углерода. Однако при этом трофический статус экосистемы остаётся мезотрофным по шкале Г.Г. Винберга и олиготрофным по шкале В.И. Романенко. Максимальная валовая продукция фитопланктона за сутки под квадратным метром изменяется с 0.44 до 0.50 г углерода, что не приводит к изменению мезотрофного состояния экосистемы по Г.Г. Винбергу. Учёт влияния частных водосборов также приводит к незначительному изменению средней валовой продукции фитопланктона за вегетационный период (май – сентябрь): с 0.064 до 0.078 мгС/л сутки. Этот рост также не изменяет мезотрофный статус экосистемы по шкале Б.Л. Гутельмахера. Можно сделать вывод, что несмотря на более высокие по сравнению со стоком Невы концентрации соединений азота и фосфора в стоке с частных водосборов Невской губы, этот сток не оказывает существенного влияния на функционирование экосистемы Невской губы и её трофический статус.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Санкт-Петербургского научного фонда, грант № 23-27-10011.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Otego, G. A., Enin, U. I., Ndomo, C.B. Trophic modelling of the Cross River Estuary, Nigeria. *Journal of Marine Science Research and Oceanography, International*. vol. 6, issue 1, pp 01-18. 2023. DOI 10.33140/JMSRO
2. Lopes C. L. et al. Advances in monitoring and modelling spatial and temporal dynamics of estuarine ecosystems. *Frontiers in Marine Science, Australia*, vol. 11:1367378, pp. 01-03, 2024. DOI: 10.3389/fmars.2024.1367378

3. Третьяков В.Ю. «Программа для моделирования антропогенного эвтрофирования и отравления токсикантами водных экосистем» (EVTOX). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2018661228. 04.09.2018. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39301830>

УДК 551.465

## **ОПЫТ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ ОЗЁРНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ, ФИТО- И ЗООПЛАНКТОНА ПОГРУЖАЕМЫМ ЗОНДИРУЮЩИМ КОМПЛЕКСОМ**

**Оленин А.Л.**

*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, 8(910)4780594, [olenin.al@ocean.ru](mailto:olenin.al@ocean.ru)*

### **VIDEO RECORDING OF LAKE UNDERWATER LANDSCAPES, PHYTO- AND ZOOPLANKTON WITH A SUBMERBABLE PROBE**

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

Представлена текущая работа по видеорегистрации частиц в воде, выполняемая Группой методологии и средств океанологических исследований Лаборатории гидролокации дна ИО РАН. Приведены результаты фоторегистрации озерного планктона, выполненной в 2023-2024 годах с помощью разработанной автором аппаратуры.

The current work on video recording of particles in water, carried out by the Group of Methodology and Tools for Oceanological Research of the Laboratory of Bottom Sonar of the Shirshov Institute of Oceanology, is presented. The results of photographic recording of lake plankton, carried out in 2023-2024 using equipment developed by the author, are presented.

**Ключевые слова:** зоопланктон, фоторегистрация, зондирующий комплекс

**Key words:** zooplankton, photo recording, sounding complex

Ранее для регистрации зоопланктона автором создан оптический зондирующий регистратор частиц, результаты опубликованы в [1,2]. Регистратор адаптирован автором для ручной работы на кабеле с лодки и использован для съемок на нескольких озёрных акваториях. Зоопланктон часто находится среди бурной подводной растительности, поэтому в комплекс с регистратором была введена обзорная телевизионная камера для предварительной разведочной съемки подводных ландшафтов [3]. В июле 2023 г. проведена экспедиция по исследованию биологических систем высокогорных озер в Кыргызской республике. Выполнены съёмки на озёрах Иссык-Куль, Тузкёль (высота над уровнем моря от 1600 м до 3600 м). Съёмки выполнялись с резиновой лодки, глубины регистрации от 1,5 до 25 метров. Примеры ландшафтной разведки в прибрежной области северной части Иссык-Куля обзорной телевизионной камерой приведены на рис.1.



Рис. 1 Обзорные изображения донной прибрежной растительности Иссык-Куля

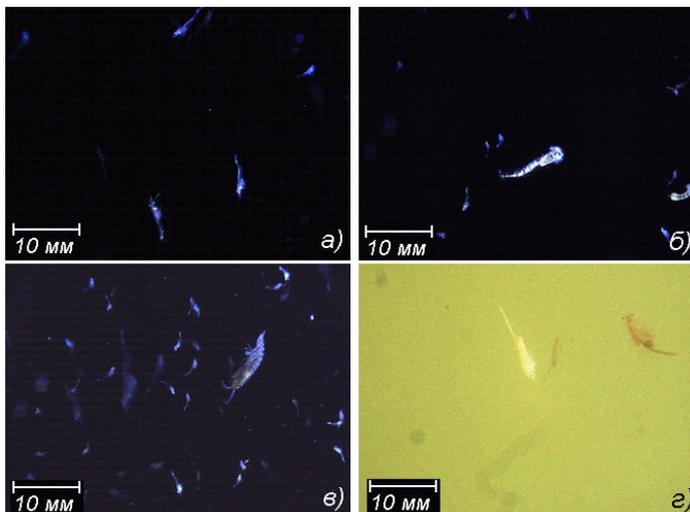


Рис. 2 Изображения зоопланктона озер Иссык-Куль и Тузкель, лето 2023 г.

В прибрежной области зарегистрированы скопления взрослых и личиночных стадий мизид (*Mysidae*) (рис. 2 а,б) и бокоплавов (*Amphipoda*) (рис.2, в) длиной до 10 мм. В соленом озере Тузкель на глубинах до 3 м зарегистрированы скопления артемий (*Artemia*) размером до 14 мм (рис.2, г). Особенность Тузкеля летом - очень высокая мутность воды (цветение фитопланктона и солевые агрегаты), что практически исключает успешную съемку традиционными подводными камерами, однако качество съёмки описанным выше регистратором хорошее.

В сентябре 2024 года выполнены съёмки в озёрном пикноклине озера Глубокое (Подмосковье). Регистратор обеспечил визуализацию резкой разницы в концентрации элементов фитопланктона (водорослей) в области пикноклина и выше её, а также качественное отличие в характере фитопланктона (водорослей) пикноклина и придонной области (рисунок 3).

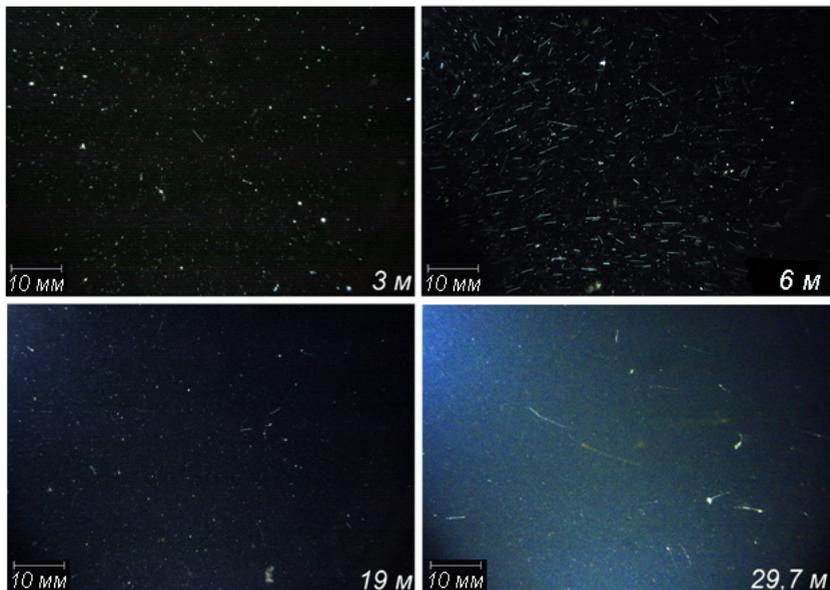


Рис. 3 Изображения фитопланктона (водорослей) на различных горизонтах оз. Глубокое, сентябрь 2024 г.

В 2024 году во-время 96-го рейса НИС Академик Мстислав Келдыш выполнены сетные отборы зоопланктона в Баренцевом море для лабораторной отработки его эффективной съемки регистратором, что необходимо для проведения будущих экспедиций.

В настоящее время регистратор используется в составе погружаемого зондирующего комплекса с измерением глубины погружения и СТД-параметров.

Комплекс дооборудуется системой пробоотбора и дополнительными датчиками, что обеспечит эффективное выявление слоев повышенной концентрации планктона.

Работа выполнена по теме Госзадания №FMWE-2024-0024 («Методы и средства океанологических наблюдений для исследования природных и техногенных подводных объектов и экологии в гидросфере: разработка технологий многопараметрического сканирования подводных сред и объектов автономными и привязными зондами и профилографами»).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оленин А.Л., Мишин А.В. Видеорегистрация вертикального распределения зоопланктона “in situ”// Океанология. 2023. Т. 63. № 5. С. 853–857. doi: 10.31857/S0030157423050106
2. Оленин А.Л., Бадюков И.Д., Коровчинский Н.М., Аистов Е.А. Видеосистема для мониторинга зоопланктона и частиц взвеси // Труды ВНИРО. 2021. Т.184. С.149-158.  
<https://doi.org/10.36038/2307-3497-2021-184-149-158> (дата обращения 29.12.2024)
3. Оленин А.Л. Обзорная телевизионная камера для исследований зоопланктона в водоемах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2024. – № 11. – С. 45-49; <https://doi.org/10.17513/mjpf.13671> (дата обращения 29.12.2024)

УДК 550.4.07

## **РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВКИ ОТБОРА ПРОБ ВОДЫ БОЛЬШОГО ОБЪЁМА В ПРИРОДНЫХ ВОДОЁМАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА**

**Домнин Д.А., Лобчук О.И.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, dmitriy.domnin@atlantic.ocean.ru*

## **DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A LARGE-VOLUME WATER SAMPLING INSTALLATION IN NATURAL WATER BODIES FOR ASSESS OF MICROPLASTIC CONTENT**

**Domnin D.A., Lobchuk O.I.**

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

Основываясь на уже существующих разработках, предложена концептуальная модель, подготовлена и протестирована в экспедиционных условиях установка, предназначенная для отбора проб воды больших объёмов из природных мелководных водоёмов, с целью оценки содержания частиц микропластика.

Based on existing developments, a conceptual model was proposed and an installation designed to sample large volumes of water from natural shallow water bodies was prepared and tested under expeditionary conditions to assess the levels of microplastic particles.

**Ключевые слова:** система отбора воды, микропластик  
**Key words:** water sampler, microplastic

Содержание твёрдых взвешенных веществ (взвесей, взвешенных наносов) определяет основные гидрофизические характеристики природных вод, а также гидрологический и гидрохимический режим водного объекта [1, 4]. Кроме взвешенных частиц природного происхождения, к взвеси добавляются и мелкие частицы пластика (микропластик, размером менее 5 мм). Их свойства отличаются от свойств естественных частиц и при этом заметно изменяются со временем пребывания в окружающей среде [3].

Особенностью определения количества и качественного состава взвешенных частиц является необходимость отбора достаточно большого количества воды, которая пропускается через систему фильтрации фактически на месте проведения отбора проб. Для отбора проб воды как на микропластик, так и на взвешенные частицы любого происхождения, целесообразно применение методов закачки воды с использованием специализированных погружных насосов, что позволяет отбирать пробы воды из различных горизонтов и обеспечивает отбор точного объёма воды [2, 5, 6, 7].

Основываясь на уже существующих разработках пробоотборников воды, предложена концептуальная модель и подготовлена тестовая установка для отбора проб воды относительно больших объёмов (от 1 до 500 литров). Установка, названная авторами «Слоник», предназначена для использования в экспедиционных условиях с целью забора и фильтрации воды через каскад фильтров для получения проб, содержащих взвешенные частицы различного происхождения: минеральных, биологических или антропогенных (в том числе микропластик).

Установка состоит из подводного и наземного модулей. Подводный модуль представляет собой фильтрационную колонку с обращённым вверх водозаборником. Первой ступенью колонки является сменный сетчатый фильтр (элемент 1 на рис. 1), что позволяет отсекаать крупные частицы и мусор. Далее следует обратный клапан (2) для удержания воды в системе. Ниже расположена

фильтрационная колонка (3), состоящая из резьбовых металлических латунно-никелевых элементов с внутренним диаметром 50 мм, зажимающих фильтры. Применяются фильтры с размером ячейки, уменьшающимся по ходу фильтрации воды. В самой нижней части фильтрационной колонки расположен клапан для сливания воды из системы перед извлечением фильтров (4). Фильтрационная колонка зафиксирована на жёстком каркасе (5) с грузом и соединена с наземным модулем силиконовым шлангом (6), диаметром 25 мм.

Надводный модуль служит для перекачки воды. Он включает насос (9), имеющий питание от внешней аккумуляторной батареи в 12 V (11), с промежуточным выключателем (15). Для заполнения системы заборной водой в установке использована воронка (8) и вентиль (7), отсекающий подачу воды после заполнения. После насоса расположен расходомер (12), отсчёты которого позволяют контролировать количество проходящей через установку воды с точностью 0.1 л. Замыкает систему запорный вентиль, который позволяет регулировать сброс и подачу воды (13), и выпускной шланг (14).

Тесты в экспедиционных условиях (река Преголя, Калининградская область) показали, что установка отбора воды «Слоник» может быть использована в природных мелководных водоёмах – реках, озёрах, лагунах или море – с поверхностного, подповерхностного, или из промежуточных горизонтов, как с берега, так и с маломерного плавательного средства. Скорость перекачки воды составляет 8–10 л/минуту. При загрязнении фильтрующего материала пропускная способность уменьшается. Максимальная протестированная глубина водозабора составляет 5 м.

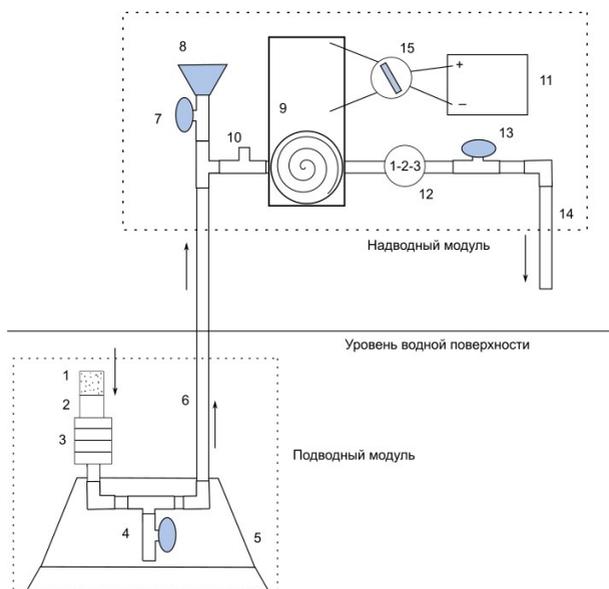


Рис. 1. Концептуальная схема установки «Слоник» для отбора проб воды в экспедиционных условиях для оценки содержания взвешенных частиц, в т.ч. микропластика, в природных водоёмах

На практике предлагается использовать сетчатый фильтр с размером ячейки 1 или 5 мм и последовательно расположенные в фильтрационной колонке фильтры с размером ячейки 333 мкм, 175 мкм и 100 мкм. Это позволит получить взвешенные частицы, в т.ч. микропластик, соответствующего размера. Особенностью использования установки в природных условиях в периоды цветения воды является то, что фильтр с наиболее мелкой ячейкой существенным образом забивается фитопланктоном, а также цианобактериями.

Основное отличие от уже реализованных ранее моделей, как, например, PLEX [7] или HydroPuMP [2], является то, что описанная выше установка «Слоник» имеет систему фильтров, расположенных в воде, в самом начале пропускного тракта, что позволяет снизить потерю частиц на соединениях, а также исключить влияние конструкционных элементов (шланг, насос, расходомер и многочисленные соединения) на результирующее накопление взвешенных частиц на фильтрах.

Работа выполнена за счёт гранта Российского научного фонда 24-44-20027.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев, В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. – М.: Наука. 1983. – 152 с.
2. Пахомова, С.В., Ершова, А.А., Жданов, И.А., Якушев, Е.В. Методы исследования загрязнения микропластиком природных вод: современное состояние и рекомендации // Океанологические исследования. – 2024. – Т. 52. – № 1. – С. 80–120.
3. Чубаренко, И.П., Есюкова, Е.Е., Хатмуллина, Л.И., Лобчук, О.И., Исаченко, И.А., Буканова, Т.В. Микропластик в морской среде. – М.: Научный мир. 2021. – 520 с., ISBN: 978-5-91522-513-7
4. Domnin, D., Kileso, A., Kulmanov, K. et al. Response of Hydrological Characteristics for Local Coastal Water Bodies of the South-Eastern Baltic to Extreme Weather Events in Autumn–Winter 2023/2024. // Pure and Applied Geophysics. – 2024. <https://doi.org/10.1007/s00024-024-03526-9>.
5. Karlsson, T.M., Kärman, A., Rotander, A. et al. Comparison between manta trawl and in situ pump filtration methods, and guidance for visual identification of microplastics in surface waters. // Environ. Sci.Pollut.Res., 2020.– 27, P. 5559–5571.
6. Setälä, O., Magnusson, K., Lehtiniemi, M., Norén, F. Distribution and abundance of surface water microlitter in the Baltic Sea: a comparison of two sampling methods. // Marine Pollution Bulletin, 2016. 110(1), P. 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.065>.
7. Zobkov, M.B., Esiukova, E.E., Zyubin, A.Y., Samusev, I.G. Microplastic content variation in water column: The observations employing a novel sampling tool in stratified Baltic Sea. // Marine Pollution Bulletin. – 2019. – V.138. – P.193–205

УДК 574.64, 504.064

### **ГЕНЫ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ В БАКТЕРИЯХ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ПРОМЫСЛОВЫМИ ВИДАМИ РЫБ АЗОВСКОГО МОРЯ**

**Лановая О.Д.<sup>1</sup>, Ажогина Т.Н.<sup>1</sup>, Сазыкина М.А.<sup>1</sup>, Барабашин Т.О.<sup>2</sup>,  
Сазыкин И.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Южный Федеральный Университет, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, 8(863)218-40-00, [info@sfedu.ru](mailto:info@sfedu.ru)

<sup>2</sup>ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, д. 21в, (863)2624850, [riasfp@aanet.ru](mailto:riasfp@aanet.ru)

## ANTIBIOTIC RESISTANCE GENES IN BACTERIA ASSOCIATED WITH COMMERCIAL FISH SPECIES OF THE SEA OF AZOV

Lanovaya O.D.<sup>1</sup>, Azhogina T.N., Sazykina M.A. Barabashin T.O.<sup>2</sup>,  
Sazykin I.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Bolshaya Sadovaya str., 105/42, 8(863)218-40-00, [info@sfedu.ru](mailto:info@sfedu.ru)*

<sup>2</sup>*FSBSI “VNIRO, Rostov-on-Don, Beregovaya str., 21b, (863)2624850, [riasfp@aanet.ru](mailto:riasfp@aanet.ru)*

В работе представлены результаты мониторинга генов антибиотикорезистентности в бактериях, ассоциированных с промысловыми видами рыб, вылавливаемых в Азовском море.

Paper presents the results of monitoring antibiotic resistance genes in bacteria associated with commercial fish species Sea of Azov.

**Ключевые слова:** гены антибиотикорезистентности, рыб, Азовское море, микробиота

**Key words:** antibiotic resistance genes, fish, Sea of Azov, microbiota

Использование антибиотиков в аквакультурах [1] может приводить к увеличению количества резистентных бактерий, обитающих в воде или входящих в состав микробиоты рыб. При недостаточно эффективной термической обработке рыбы или ее отсутствии (например, при посоле или вялении) возможно сохранение генетического материала бактерий, несущих гены антибиотикорезистентности (АРГ). При употреблении такой рыбы есть вероятность передачи АРГ бактериям микробиоты человека, а затем и патогенным бактериям, попавшим в организм.

Для оценки этих рисков целью данного исследования было определение наличия АРГ в бактериях, ассоциированных с рыбами. В ходе исследования из Азовского моря были выловлены 5 промысловых рыб: *Alosa immaculata* (Bennett, 1835) – Черноморско-азовская проходная сельдь, *Engraulis encrasicolus* (L., 1758) – Европейский анчоус, *Proterorhinus marmoratus* (Pallas, 1814) – Бычок-цуцик, *Belone belone* (L., 1761) – Обыкновенный сарган, *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) – Тюлька обыкновенная.

Были исследованы гены устойчивости к макролидам (*ErmB* и *MphA*), сульфониламидам (*SulII*), тетрациклину (*TetO*), карбапенемам (*VIM*), ванкомицину (*VanA*), аминогликозидам (*AadA2*), метициллину (*MecA*), цефалоспорином и монобактамам (*CTX-M*). Образцы также были исследованы на предмет содержания генов интеграз классов 1 (*Int1*), 2 (*Int2*) и 3 (*Int3*). Для определения содержания АРГ в бактериях из образцов была выделена и очищена тотальная ДНК, затем проведена ПЦР в реальном времени. Количество копий АРГ приведено в пересчете на копию 16S рРНК.

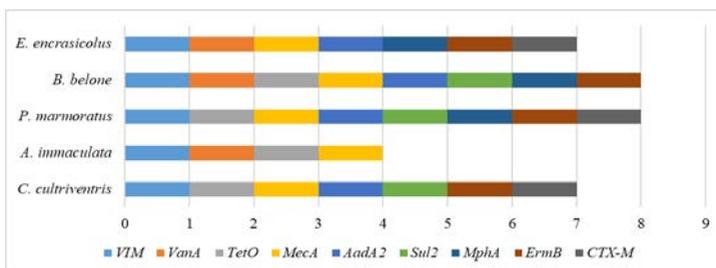


Рис. 1. Спектр содержания АРГ в микробиоте промысловых рыб Азовского моря

Рис. 1 иллюстрирует спектр генов, обнаруженных в образцах. Наиболее загрязненной АРГ оказалась микробиота саргана *B. belone* и бычка-цуцика *P. marmoratus*, в них были обнаружены 8 АРГ из 9 исследуемых. Наименее загрязненными оказались образцы сельди *A. immaculata*.

Из рисунка 2 видно, что гены устойчивости к карбапенемам *VIM* и метициллину *MecA* содержались более чем в половине проб. Около 30-40% образцов содержали гены устойчивости к тетрациклину *TetO* и сульфониламидам *SulII*. Возможно, причина в широком использовании данных антибиотиков при лечении человека [2] и аквакультур [3]. Ген устойчивости к макролидам *MphA* наименее распространен, скорее всего, из-за того, что макролиды практически не применяются [2].

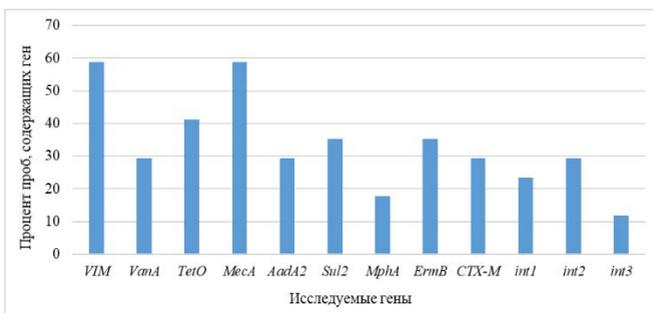


Рис. 2. Процентное содержание проб, содержащих исследуемые гены

Среди генов интеграз наибольшее распространение характерно для *int1* и *int2* – они встречаются примерно в четверти проб, что указывает на их роль в распространении АРГ, в то время как *int3* практически не встречается.

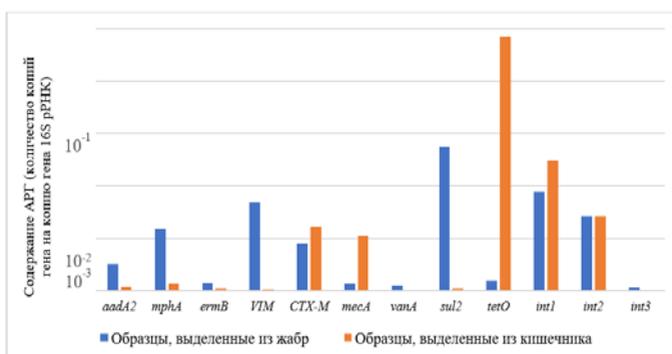


Рис. 3. Содержание АРГ в микробиоте жабр и кишечника промысловых рыб Азовского моря.

В ходе исследования было выявлено, что большее разнообразие и количество копий гена в пересчете на копию гена 16S рРНК характерно для проб, взятых из жабр (рис. 3). На поверхности тела рыб и в воде присутствует большое количество патогенных и условно-патогенных бактерий [3], которые со временем могут заменять бактерии микробиоты жабр и передавать АРГ. В это же время выживание несимбиотических и некомменсальных бактерий в кишечнике затруднено из-за неблагоприятной для них среды кишечного тракта. Разнообразие микробиоты рыбных жабр

варьируется у разных возрастных групп, однако с возрастом микробиота жабр обогащается, [4], а микробиота кишечника истощается [5].

Таким образом, установлено, что микробиота промысловых видов рыб Азовского моря загрязнена генами антибиотикорезистентности. Среди АРГ наиболее распространёнными оказались гены устойчивости к карбопененам *VIM* и метициллину *MecA*.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Мин. науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2024-0026.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Романова Н. Н., Мышкин А. В., Щелкунова Ю. П., Токарева С. Б., Сехина О. В., Кудинов П. В. Оценка эффективности применения комплекса антибактериальных препаратов для лечения бактериальной геморрагической септицемии у рыб // Труды ВНИРО. – 2023. Т. 194, С. 165-175.
2. Захаренков И.А., Рачина С.А., Козлов Р.С., Белькова Ю.А. Потребление системных антибиотиков в России в 2017-2021 гг.: основные тенденции // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2022. – Т. 24, №3. – С. 220-225.
3. Шульгина Л.В., Якуш Е.В., Шульгин Ю.П., Шендерюк В.В., Чукалова Н.Н., Бахолдина Л.П. Антибиотики в объектах аквакультуры и их экологическая значимость. Обзор // Известия ТИНРО. – 2015. – Т. 181. - с. 216-230
4. Rosado D., Pérez-Losada M., et al. Effects of aging on the skin and gill microbiota of farmed seabass and seabream // Animal Microbiome. – 2020. – V. 3, No. 1.
5. Butt R.L. and Volkoff H. Gut Microbiota and Energy Homeostasis in Fish // Front. Endocrinol. – 2019. – V. 10.

## ПЛАСТИКОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ НА ПОБЕРЕЖЬЯХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Лобчук О.И.<sup>1</sup>, Есюкова Е.Е.<sup>1</sup>, Килесо А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский пр., 36;*

<sup>2</sup> *ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени  
Иммануила Канта», 236041, Калининград, ул. Невского 14  
[lobchuk\\_olga@mail.ru](mailto:lobchuk_olga@mail.ru)*

## PLASTIC POLLUTION ON THE SHORES OF THE SOUTH-EASTERN PART OF THE BALTIC SEA

Lobchuk O.I.<sup>1</sup>, Esiukova E.E.<sup>1</sup>, Kilesa A.V.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> *Immanuel Kant Federal University, 14 A. Nevsky Str., Kaliningrad,  
Russia, 236041*

В работе выполнен анализ пространственной и временной изменчивости количества, массы, размеров и состава пластикового мусора на пляжах Калининградской области (юго-восточная часть Балтийского моря) по данным мониторинга OSPAR с 2019 по 2024 год. Установлено, что количество пластикового мусора сильно варьируется в пространстве, но относительный состав различных типов пластикового мусора довольно схож на пляжах по всей Калининградской области.

Spatial and temporal trends in the amount, mass, size and composition of plastic litter based on OSPAR monitoring data from 2019 to 2024 on the beaches in the Kaliningrad Region (south-eastern part of the Baltic Sea) were analyzed. It was found that the amount of plastic litter varies greatly in space, but the relative composition of different types of plastic litter on different beaches in the Kaliningrad Region is quite similar.

**Ключевые слова:** пластиковое загрязнение, антропогенный мусор, микропластик, Балтийское море

**Key words:** Plastic pollution, anthropogenic litter, microplastics, Baltic Sea

Хорошо известно, что морское побережье является зоной интенсивного накопления различного типа морского мусора [Fetisov et al., 2023]. Мониторинговые исследования на пляжах, на базе широко используемых методик, позволяют оценить степень такого рода загрязнения. Однако, например, в протоколах описания морского мусора (протокол OSPAR [European Commission, Joint Research Centre, 2023]) учитывается количество найденных частиц в штуках, но не указывается вес и размер каждой найденной частицы (можно лишь соотнести частицу с выбранной категорией). Отсутствие этих данных затрудняет дальнейший анализ пространственной и временной изменчивости массы и размерного ряда пластикового мусора. Данная информация важна для понимания особенностей процесса переноса и накопления морского пластика, а также для задач численного моделирования [Grundlehner, 2023].

В данной работе представлен результат мониторинга побережья (шесть пляжей) Калининградской области с 2019 по 2024 г (четыре раза в год) по методике OSPAR. Протокол OSPAR включает в себя 146 различных категорий мусора, которые сгруппированы по категориям материалов: бумага, пластик, металл, резина и дерево. Из 146 категорий, 58 категорий относятся к группе «пластик». Важно отметить, что сигаретные фильтры в нашей работе мы относим не к категории «бумага», как отмечено в протоколе OSPAR, а к категории «пластик», поскольку их сердцевина сделана из полимерного нетканого материала [Kataržytė, 2020]. Аналогично мы поступили и с категорией «резина».

Из шести исследуемых районов побережья, только на одном пляже было отмечено увеличение среднего количества пластикового мусора, а на четырех пляжах - увеличение среднего общего веса пластикового мусора. Анализ данных показал отсутствие выраженной временной изменчивости в количестве и по типам пластикового мусора для всех исследуемых пляжей. Также не отмечается и сезонной зависимости. Показано, что количество пластикового мусора сильно меняется в пространстве, однако относительный состав различных типов пластикового мусора остается общим для различных пляжей Калининградской области. Особенности пространственной изменчивости, по-видимому, связаны с изменчивостью общего количества мусора на пляжах и внешних гидрометеорологических условий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. European Commission, Joint Research Centre, 2023. Guidance on the Monitoring of Marine Litter in European Seas – An Update to Improve the Harmonised Monitoring of Marine Litter Under the Marine Strategy Framework Directive. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/59137>.
2. Fetisov S., Esiukova E., Lobchuk O., Chubarenko I. Abundance and mass of plastic litter on sandy shore: Contribution of stormy events. // Marine Pollution Bulletin. – 2024. – Vol. 207. – No. 116911. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116911>
3. Grundlehner A, Diepens NJ, Linders T, Peeters EТНМ, Koelmans AA. Towards continuous mass and size distributions for beach plastic litter: Spatiotemporal analyses of abundance and composition. // J Hazard Mater. – 2023. – Vol. 458. – No. 131984. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131984>.
4. Kataržytė M., Balčiūnas A., Haseler M., Sabaliauskaitė V., Lauciūtė L., Stepanova K, Nazzari C., Schernewski G. Cigarette butts on Baltic Sea beaches: monitoring, pollution and mitigation measures. // Marine Pollution Bulletin. – 2020. – Vol. 156. – No. 111248, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111248>.
5. UNEP. 2023. Marine litter. <https://www.unep.org/explore-topics/oceans-seas/what-wedo/working-regional-seas/marine-litter>.

УДК 504.054

### ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИК ОТБОРА ПРОБ И ЭКСТРАКЦИИ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА ДЛЯ ЭСТУАРИЕВ

**Лобчук О.И., Есюкова Е.Е.**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01,  
[lobchuk\\_olga@mail.ru](mailto:lobchuk_olga@mail.ru)*

### CHARACTERISTICS OF SAMPLING METHODS AND EXTRACTION OF MICROPLASTIC PARTICLES FOR ESTUARIES

Lobchuk O.I., Esiukova E.E.

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

Представлены результаты работы коллектива авторов, касающиеся одной из главных проблем изучения степени загрязнения пластиком морской среды - проблемы отсутствия стандартизованных методов исследований. Для морей и океанов выработаны и используются единые директивы, тогда как для эстуариев единого подхода в методах отбора, обработки и идентификации микропластика нет.

The paper presents the result of the work of a team of authors on one of the main problems in studying the extent of plastic contamination in the marine environment - the problem of the lack of standardised research methods. While uniform guidelines have been developed and used for seas and oceans, there is no uniform approach to methods of selecting, processing and identifying microplastics in estuaries.

**Ключевые слова:** эстуарии, микропластик, методика обработки.

**Key words:** estuaries, microplastics, treatment methods.

Одна из главных проблем исследования степени загрязнения морской среды частицами микропластика (0.3 – 5 мм) – это отсутствие стандартизованных, согласованных между различными группами исследователей методик отбора проб, обработки проб, экстракции частиц микропластика. Существует целый ряд предлагаемых методов и методик, директив с рекомендациями как, где и какие пробы отбирать на микропластик, как эти пробы перевозить и сохранять, как обрабатывать, какие технические средства использовать, как исследовать тип полимера найденных частиц и т.д. Но до сих пор нет четко установленных категорий МП (например, большой, малый) и диапазонов для размерного ряда частиц МП. Нет согласованности и по количеству категорий форм и типов частиц МП. Нет единого мнения об объемах отбираемых проб, о периодичности отбора проб, о минимальном количестве проб для репрезентативной выборки, а также о количественной оценке частиц МП в образцах и единицах измерения при представлении результатов.

Но если для морей и океанов применяются приборы и оборудование научно-исследовательских судов, и есть возможность применить наиболее распространенные рабочие методики отбора и обработки проб [Чубаренко и др., 2021], то для рек, озер и эстуариев с их разнообразными размерами и особенностями исследователи вынуждены использовать подчас совсем другие приборы и методики.

Огромное разнообразие применяемых приборов и методов исключает возможность сравнительного анализа результатов исследований различных научных групп. А если нельзя сравнить результаты, то нельзя получить четкую и ясную картину степени загрязнения частицами МП, как донных и пляжевых отложений, так и вод поверхностного слоя или водного столба.

Поэтому прежде чем планировать экспедиционные выходы различных научных групп в поле в различных эстуариях, необходима выработка согласованных методик отбора, оборудования, а также количества и объема планируемых проб, согласование по единицам измерения будущих результатов. Подчеркнем, что пробы должны отбираться в трех повторностях на каждой точке отбора проб с дополнительным отбором на внешнее загрязнение (наличие чашек Петри).

Также необходимо полное географическое описание района исследований с привязкой точек для отбора проб, с указанием мест и районов с повышенной антропогенной нагрузкой, т.е. необходимы подробные карты с указанием стоков, населенных пунктов, заводов, сельскохозяйственных предприятий и ферм и другой различной прибрежной инфраструктуры. Необходима привязка точек исследования также к районам с определенными гидрологическими условиями, и для этого должны быть проведены дополнительные экспедиции с промерами глубин, сбором гидрофизических параметров водоема, оценкой степени зарастания водоема растительностью.

Ниже приводится краткое описание основных предлагаемых подходов и методов отбора микропластика в эстуариях. Образцы микропластика можно собрать (1) из поверхностного слоя, (2) из водной толщи и (3) из донных отложений, (4) из зарослей или с поверхности макрофитов (или другой растительности), (5) из различных морских организмов (рыб, моллюсков и т.д.) или (6) из пляжевых отложений на берегу.

Пробы могут быть: (1) выборочными, (2) полнообъемными или (3) концентрированными [Зобков, Есюкова, 2017].

Выборочный отбор в полевых условиях состоит в сборе частиц, которые определяются как пластик невооруженным глазом, как правило, с поверхности песка. При отборе полнообъемных проб концентрирование пластика в них не проводится. Такая методика отбора наиболее популярна при исследовании донных отложений и редко используется при отборе воды [Ryan et al., 2020]. Концентрирование проб наиболее часто применяется при отборе проб воды и в ряде случаев донных отложений [Зобков, Есюкова, 2017].

При этом объём исходной пробы уменьшается, и для дальнейшего анализа сохраняется только небольшая её часть, содержащая МП.

Важно еще раз отметить, что отборы проб должны проводиться в трехкратной повторяемости. Также необходимым условием на каждом этапе работ по отбору и обработке проб является отбор проб на внешнее воздушное загрязнение (наличие чашек Петри в рабочей зоне).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 24-44-20027.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология. – 2018. - Т. 58. - № 1. С. 149–157. DOI: 10.7868/S0030157418010148.
2. Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е., Хатмуллина Л.И., Лобчук О.И., Исаченко И.А., Буканова Т.В. Микропластик в морской среде. М.: Научный Мир. 2021. 520 с. ISBN 978-5-91522-513-7.
3. Ryan P.G., Suaria G., Perold V., Pierucci A., Bornman T.G., Aliani S. Sampling microfibrils at the sea surface: The effects of mesh size, sample volume and water depth // Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987). – 2020. - Т. 258. – Vol. 113413. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113413.

УДК 551.46.06

### **ИССЛЕДОВАНИЯ АРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ В ПЕРИОД ТАЯНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БУКСИРУЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ**

**Лесин А.В., Анисимов И.М., Муравья В.О., Лахно О.В.,  
Удалов А.А., Баранов Б.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, 8-916-933-32-25, [lesin.av@ocean.ru](mailto:lesin.av@ocean.ru)*

## RESEARCH OF ARCTIC ECOSYSTEMS IN THE NORTHERN PART OF THE KARA AND BARENTS SEAS DURING THE SPRING PERIOD OF ICE COVER MELTING BY TOWED UNMANNED UNDERWATER VEHICLES

Lesin A.V., Anisimov I.M., Muravya V.O., Lakhno O.V., Udalov A.A.,  
Baranov B.V.

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

В статье представлена часть исследовательской деятельности направления Морская техника Института океанологии им. П.П. Ширшова по освоению Арктического региона.

The article presents part of the research activities of the Marine Engineering department of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology on the development of the Arctic region.

**Ключевые слова:** Арктические экосистемы, буксируемые необитаемые подводные аппараты, гидролокация дна, видеосъемка поверхности дна.

**Key words:** Arctic ecosystems, towed unmanned underwater vehicles, bottom sonar, bottom surface video filming.

На протяжении последних 16 лет Институт океанологии им. П.П. Ширшова интенсифицировал комплексные морские экспедиционные исследования региональных экосистем Российской Арктики [1-5]. Неотъемлемой частью комплексных работ в арктическом регионе является изучение донной макрофауны, ее структурных особенностей и временной динамики. Соотнести количественные и качественные биологические данные с физико-географическими особенностями изучаемого района в той или иной мере позволяет использование разнообразных подводных аппаратов, оснащенных системами фото- и видеонаблюдения, а также гидролокаторами. В мировой практике для исследований донных сообществ широко применяются телеуправляемые, буксируемые и автономные необитаемые подводные аппараты (ТНПА, БНПА и АНПА), а в ряде случаев и обитаемые подводные аппараты (ОПА). Наиболее удобными для определения, измерения и подсчета плотности большого количества мега- и макрофауны обитающей на поверхности дна, являются буксируемые аппараты, благодаря их

стабильному движению, а также возможности наблюдений и многопараметрической съемки поверхности дна на протяженных маршрутах с передачей данных в реальном времени. Гидролокационная видеосъемка позволяет оперативно получать информацию о мезомасштабной структуре рельефа дна и проводить локализацию особенностей грунта для определения потенциальных точек пробоотбора. С помощью фото- и видеосъемки обеспечивается получение более подробной информации о состоянии поверхности дна, микрорельефе и донных обитателях.

Авторы доклада представляют результаты исследований Арктических систем с применением исследовательского комплекса буксируемых необитаемых подводных аппаратов, в состав которого входит БНПА «Видеомодуль» и ГБО «Мезоскан-Т» (рис.1).

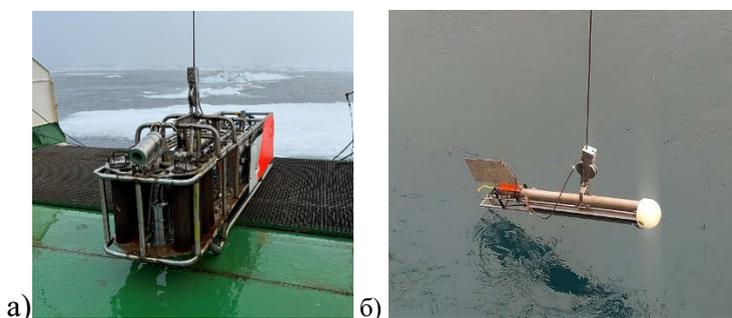


Рис. 1. а) Буксируемый необитаемый подводный аппарат «Видеомодуль». б) гидролокатор бокового обзора «Мезоскан-Т»

Неотъемлемой частью исследований является испытание и внедрение новых энергетических и сенсорных систем. В результате, был получен материал поверхности дна:

- Площадь покрытия поверхности дна по видео: более 23481 кв. м.
- Площадь покрытия поверхности дна по фото: более 5419 кв. м.
- Площадь покрытия поверхности дна по ГБО: 2,32 кв. км

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0024). Изготовление новейших источников электроэнергии БНПА «Видеомодуль» выполнено за счет гранта РФ (проект №23-17-00156).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Римский-Корсаков Н.А. [и др.]. Результаты исследования объектов, представляющих экологическую угрозу, в заливе Абросимова (Новая Земля, Карское море) // *Океанология*. 2020. № 5 (60). С. 720–728.
2. Римский-Корсаков Н.а. [и др.]. Радиационно опасные объекты в Российской Арктике (85-ый рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” в Карское море) // *Океанология*. 2022. № 3 (62). С. 495–498.
3. Флинт М. В., Поярков С. Г. Комплексные исследования экосистемы Карского моря (128-й рейс научно-исследовательского судна «Профессор Штокман») // *Океанология*. 2015. № 4 (55). С. 723–726.
4. Флинт М. В., Поярков С. Г., Римский-Корсаков Н.А. Экосистемы Российской Арктики-2015 (63-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // *Океанология*. 2016. № 3 (56). С. 499–501.
5. Flint M. V., Poyarkov S. G., Rimsky-Korsakov N. A., Knivel N. J., Miroshnikov A. Yu. / Ecosystems of the Siberian Arctic Seas–2023: (Cruise 92 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh in the Kara Sea) // *Oceanology*. 2024. Vol. 64. No 3. P. 485–488.

УДК 574.587

### **ИССЛЕДОВАНИЯ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ В РАЙОНЕ ЗАЛИВА ТЕЧЕНИЙ В 97 РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»**

**Удалов А.А., Анисимов И.М., Залота А.К., Лахно О.В., Лесин А.В.,  
Муравья В.О., Мишин А.В.**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, [aludal@mail.ru](mailto:aludal@mail.ru)*

Описаны донные ландшафты и мегафауна мягкого дна склона Новоземельской впадины напротив залива Течений (Карское

море) на глубинах 100 и 200 м по данным видеонаблюдений БНПА «Видеомодуль».

The landscapes and megafauna of the soft bottom of the slope of the Novaya Zemlya Trough opposite the Tcheniya Gulf (Kara Sea) at the depths of 100 and 200 m were described based on video observations by the TUV "Videomodule".

В ходе видеопоиска потенциально опасных объектов (ПОО) были проведены видеонаблюдения поверхности дна на склоне Новоземельской впадины на траверзе залива Течений (Новая Земля, Карское море) вдоль изобат 100 и 200 м (75°54' с.ш., 66°32' в.д.). Работы проходили 16-18 сентября 2024 г. в ходе 97 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Видеосъемка дна была проведена с помощью буксируемого необитаемого подводного аппарата (БНПА) «Видеомодуль», разработанного и изготовленного специалистами ИО РАН. Оборудование БНПА «Видеомодуль» включает систему управления и передачи данных, что позволяет получать навигационно-привязанные, пространственно-ориентированные и масштабированные изображения дна [1]. Скорость буксировки аппарата составляет порядка 0.5 узла, высота от дна 1-1.5 м. Обработано 39 мин видеозаписей, длина треков составила 722 м, общая площадь осмотренного дна - 1129 м<sup>2</sup>. Также получено 114 фотографий высокого разрешения.

На глубинах 101 – 103 м дно сложено преимущественно мягкими грунтами с вкраплениями небольших камней. Доминирующими формами являются офиуры *Ophiacantha bidentata* (38 экз/10 м<sup>2</sup>), мягкий коралл *Gersemia* spp. (3,1 экз/10 м<sup>2</sup>) и краб-стригун *Chionoecetes opilio* (1,2 экз/10 м<sup>2</sup>).

На глубинах 212 – 219 м наблюдался гораздо более бедный в фаунистическом отношении ландшафт. Дно слегка всхолмленное, мягкое, рыхлое, фрагменты твердых грунтов и камни отсутствуют, следы биотурбации присутствуют как в виде агрегаций нор, часто достаточно крупных, и холмиков; а также следов ползания. Преобладающей формой мегафауны является краб-стригун *Chionoecetes opilio*, средняя плотность которого составляет 0,23 экз/10 м<sup>2</sup>. Также были отмечены несколько форм креветок (0,21 экз/10 м<sup>2</sup>) и мелкие седентарные полихеты (1,6 экз/10 м<sup>2</sup>). Из крупных организмов единично были встречены морская звезда *Urasterias linki* и офиура *Gorgonocephalus* sp.

В целом можно заключить, что донные ландшафты и сообщества мегабентоса в данном районе типичны для склона

Новоземельской впадины.

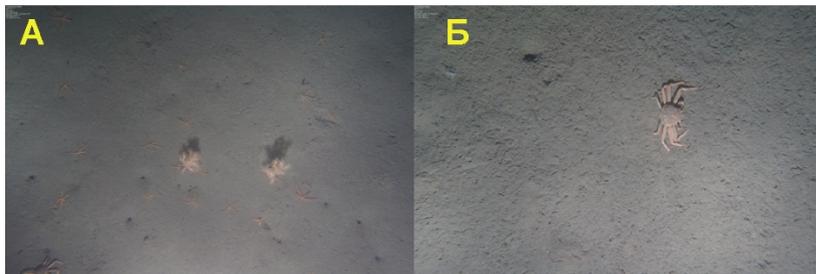


Рис. 1. Фотографии дна высокого разрешения с БНПА «Видеомодуль». (А) - глубина 101 м, (Б) – глубина 219 м.

Экспедиционные работы выполнены в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0021), анализ видеоданных выполнен при поддержке РНФ (проект № 23-17-00156).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов, И.М. Особенности исследования биологических и техногенных объектов с использованием глубоководных буксируемых аппаратов / И.М.Анисимов, А.К. Залота, А.В. Лесин, В.О.Муравья // Океанология. – 2023. Т. 63. - № 5. - С. 840–852.

УДК 574.587

#### **ДОННЫЕ ЛАНДШАФТЫ И МЕГАФАУНА ЗАЛИВА ЦИВОЛЬКИ (НОВАЯ ЗЕМЛЯ, КАРСКОЕ МОРЕ)**

**Удалов А.А., Анисимов И.М., Лесин А.В., Муравья В.О.,  
Пронин А.А.**

*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,  
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, [aludal@mail.ru](mailto:aludal@mail.ru)*

Для залива Цивольки проанализированы видеотреки, полученные с помощью БНПА «Видеомодуль». Проведено

описание ландшафтов и количественный учет организмов мегафауны.

The videotracks obtained by TUV "Videomodule" in different parts of Tsvolki Bay were analyzed. Principal landscapes were described and quantitative counts of megafaunal organisms were carried out.

Залив Цивольки (74°25' с.ш., 58°40' в.д.) имеет примерные размеры 30 x 9 км, простирается на юго-восток и воронкообразную форму, расширяющуюся к открытому морю [1]. В кут залива выходит ледник Серп и Молот, определяющий высокое осадконакопление. К леднику примыкает достаточно изолированная внутренняя котловина с глубинами до 150 м, отделенная порогом с глубинами порядка 60 м [2]. Далее дно залива занимает условно субгоризонтальная поверхность с глубинами 60 – 80 м, которая осложнена рядом протяженных впадин с глубинами более 100 м и поднятиями, большим количеством островов. Во множестве присутствуют положительные формы рельефа – выходы коренных пород в прибрежных склонах и вокруг ряда островов. Берега большей частью сразу переходят в прибрежный склон с уклонами до 10° [1]. Таким образом, залив отличается крайне разнообразными геоморфометрическими структурами и богатством донных ландшафтов.

В заливе Цивольки расположено одно из наиболее крупных захоронений радиоактивных отходов (РАО). Здесь затоплен понтон с экранной сборкой, содержащей часть отработанного ядерного топлива (ОЯТ) реактора атомного ледокола «Ленин», которая содержит приблизительно 40 % всей активности объектов с ОЯТ, затопленных в Арктическом регионе, а также ряд более мелких по активности объектов [1].

Видеонаблюдения с целью исследования донных ландшафтов и анализа организмов мегабентоса были проведены в ходе 66 и 81 рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2016 и 2020 гг с помощью БНПА «Видеомодуль» [3, 4] в трех районах залива (Рис. 1). Обработано 1 час 31 мин видеозаписей, длина треков составила 1916 м, общая площадь осмотренного дна составила 2813 м<sup>2</sup>.

Наиболее интересная ландшафтная мозаика наблюдалась на выходе из залива на прибрежном склоне (Рис. 1, район А). На глубинах 71 – 82 м дно ровное, плотное, сложено преимущественно мягкими грунтами с небольшими вкраплениями отдельных камней, достаточно сильно биотурбировано, присутствуют крупные норы

(Рис. 2А). Доминирующие организмы – мелкие офиуры *Ophiacantha bidentata* (7,5 – 65 экз/10 м<sup>2</sup>, среднее 26 экз/10 м<sup>2</sup>), мягкий коралл *Gersemia* spp. (2,3 экз/10 м<sup>2</sup>), морская лилия *Heliometra* spp. (1,8 экз/10 м<sup>2</sup>), краб-стригун (1,6 экз/10 м<sup>2</sup>), офиура *Ophiopleura borealis* (0,6 экз/10 м<sup>2</sup>). Также были встречены морские звезды *Crossaster papposus*, *Lophaster* sp., *Urasterias linki*, *Icasterias panopla*, офиура *Gorgonocephalus* sp., мшанка *Alcyonidium* sp., гастропода сем. *Buccinidae*, актинии.

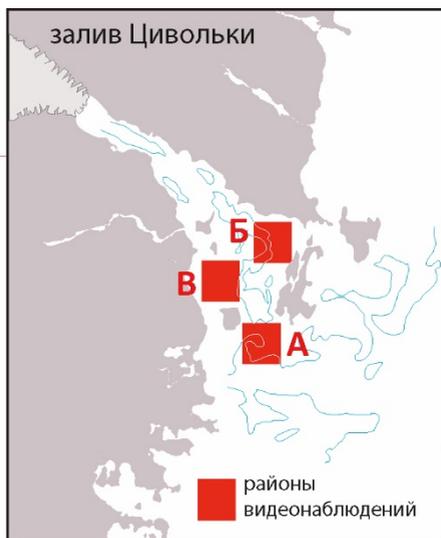


Рис. 1. Карта-схема з. Цивольки с районами видеонаблюдений.

На глубине 40 – 45 м располагаются склоновые ландшафты заиленных скальных и сланцевых выходов, а также ландшафты с россыпями крупных камней и валунов (Рис. 2Б,В). Здесь преобладают поселения морских лилий *Heliometra* spp., средняя плотность которых составляет 12,2 экз/10 м<sup>2</sup>). При этом на некоторых участках со сланцевыми выходами их плотность может достигать 7 - 10 экз/м<sup>2</sup>. Также обильны мелкие офиуры *Ophiacantha bidentata* (13,3 экз/10 м<sup>2</sup>). Из крупных организмов регулярно встречены морские ежи *Strongylocentrotus* sp. (0,5 экз/10 м<sup>2</sup>), звезды *Crossaster papposus* (0,6 экз/10 м<sup>2</sup>), *Lophaster* sp. (0,17 экз/10 м<sup>2</sup>), *Urasterias linki* (0,3 экз/10 м<sup>2</sup>), краб-стригун (0,3 экз/10 м<sup>2</sup>), мягкий коралл *Gersemia* spp. (0,3 экз/10 м<sup>2</sup>), актинии (0,17 экз/10 м<sup>2</sup>). На твердых субстратах присутствует

большое количество мшанок.

Во внутренней части залива Цивольки на глубине 115 – 122 м (Рис. 1, район Б) ландшафты существенно более однообразные. Дно всхолмленное, мягкое, рыхлое (животные часто погружены в грунт), камни отсутствуют. Наблюдается большое количество следов ползания (Рис. 2Г). По численности доминируют офиуры *Ophiocantha bidentata* со средней плотностью 10 экз/10 м<sup>2</sup>, мягкие кораллы *Gersemia* sp. (1,5 экз/10 м<sup>2</sup>), краб-стригун (0,5 экз/10 м<sup>2</sup>). Также встречены отдельные звезды *Urasterias linki*, *Lophaster* sp., актинии, офиуры *Ophiopleura borealis*, *Gorgonocephalus* sp. В районе захоронений ТРО (Рис. 1, район В) на глубине 57 – 61 м наблюдаются сходные ландшафты мягкого, рыхлого, всхолмленного дна. Плотность организмов низка, преобладает мягкий коралл *Gersemia* sp. (2,35 экз/10 м<sup>2</sup>) и краб-стригун (1,2 экз/10 м<sup>2</sup>). Также встречены звезды *Urasterias linki* (0,12 экз/10 м<sup>2</sup>) и актинии (0,07 экз/10 м<sup>2</sup>).

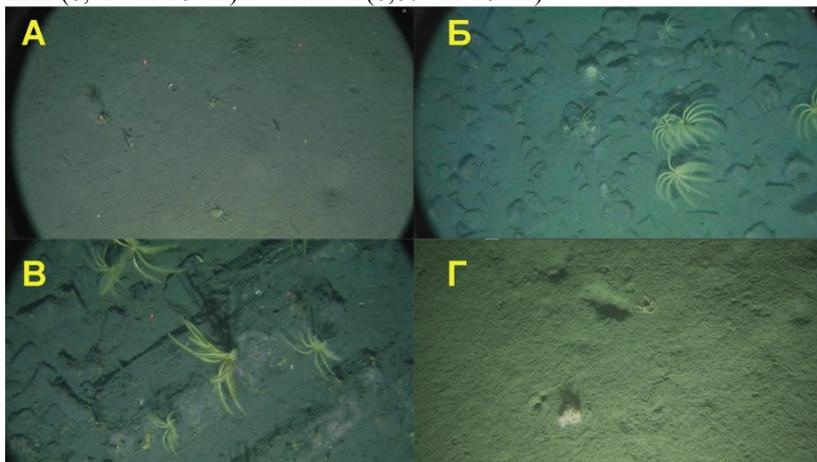


Рис. 2. Донные ландшафты залива Цивольки.

В целом можно отметить, что ландшафты внутренней части залива Цивольки сходны с ландшафтами внутренней части залива Благополучия [5], а мегафауна на момент исследования была представлена тем же набором видов со сходной плотностью.

Экспедиционные работы выполнены в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0021), анализ видеоданных выполнен при поддержке РФФ (проект № 23-17-00156).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров, М.В. Атлас подводных потенциально опасных объектов Карского моря / М.В. Владимиров, В.М. Анохин, О.В. Исаева, В.И. Слинченков, В.Н. Соболев, М.А. Холмянский, В.М. Константинов, А.Г. Григорьев, Г.И. Иванов, В.В. Лобынцев, Е. М. Снопова / Изд. МЧС РФ. СПб. 2012. 166 с.
2. Чава, А.И. Донная фауна залива Цивольки (архипелаг Новая Земля, Карское море) / А. А. Удалов, А. А. Веденин, С. А. Шука, В. О. Мокиевский // Океанология. - 2017. - Т. 57. - № 1. - С. 160-170.
3. Анисимов, И.М. Особенности исследования биологических и техногенных объектов с использованием глубоководных буксируемых аппаратов / И.М.Анисимов, А.К. Залота, А.В. Лесин, В.О.Муравья // Океанология. – 2023. Т. 63. - № 5. - С. 840–852.
4. Пронин, А.А. Методика сбора и представления материалов видеосъемки поверхности дна с помощью необитаемого подводного буксируемого аппарата «Видеомодуль» // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 12 (часть 1) – С. 142-147.
5. Удалов, А.А. Различия сообществ мегабентоса восточной и западной частей Карского моря по результатам видеонаблюдений / А.А. Удалов, И.М. Анисимов, В.О. Муравья, А.В. Лесин, В.Ю. Кузьмин, А.К. Залота, М.В. Чикина // Океанология. – 2024. Т. 64. - № 2. - С. 332–343.

УДК 579.68

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБНОГО РАЗНООБРАЗИЯ ВОД КАРСКОГО МОРЯ МЕТОДОМ 16S-МЕТАБАРКОДИРОВАНИЯ**

**Ерофеева Т.В.<sup>1</sup>, Недоспасов А.А.<sup>2</sup>, Басин А.Б.<sup>2</sup>, Карманов В.А.<sup>2</sup>,  
Носков С.А.<sup>1</sup>, Намсараев З.Б.<sup>1</sup>, Тошчаков С.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», 123182 Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1, 8(499) 196-95-39, [erofeeva\\_tv@rrcki.ru](mailto:erofeeva_tv@rrcki.ru)*

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

## **STUDY OF MICROBIAL DIVERSITY OF THE KARA SEA WATERS BY THE 16S-METABARCODING METHOD**

**Erofeeva T.V.<sup>1</sup>, Nedospasov A.A.<sup>2</sup>, Basin A.B.<sup>2</sup>, Karmanov V.A.<sup>2</sup>,  
Noskov S.A.<sup>1</sup>, Namsaraev Z.B.<sup>1</sup>, Toshchakov S.V.**

<sup>1</sup>*National Research Centre “Kurchatov Institute”, 1, Akademika Kurchatova pl., Moscow, 123182, Russia*

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

В работе представлено описание микробного разнообразия Карского моря с использованием неклассических методов микробиологии. Исследование связано с отбором морской воды Карского моря с разных глубин и определением состава микробного сообщества путем осаждения на бактериальных фильтрах с последующим высокопроизводительным секвенированием последовательностей гипервариабельного участка V4 гена 16S рНК.

This paper presents a description of the microbial diversity of the Kara Sea using non-classical microbiological methods. The study involves sampling seawater of the Kara Sea from different depths and determining the composition of the microbial community by sedimentation on bacterial filters followed by high-throughput sequencing of sequences of the hypervariable V4 region of the 16S rRNA gene.

**Ключевые слова:** микробные сообщества, Карское море, 16S рНК, ПЦР, NGS

**Key words:** microbial communities, the Kara Sea, 16S rRNA, PCR, NGS

Метагеномные исследования микробных сообществ арктических морей представляют собой важное направление в современной микробиологии и экологии. Они направлены на изучение генетического разнообразия микроорганизмов, их функциональных возможностей и роли в экосистемах арктических регионов. Арктические моря, такие как Баренцево море, Карское море, море Лаптевых и другие, являются уникальными экосистемами, где микроорганизмы играют ключевую роль в биогеохимических циклах и адаптации к экстремальным условиям [1].

Одним из активно используемых методов исследования микробного разнообразия является анализ последовательностей гипервариабельных участков гена 16S рНК [2, 3]. Сочетание с методами высокопроизводительного секвенирования нового поколения (NGS) позволяет проводить оценку состава микробиома и установление прокариотной таксономии до рода/вида. Кроме того,

метабаркодирование на основе NGS делает возможным получение информации о некультивируемых микроорганизмах, которые невозможно определить с помощью классических методов микробиологии [4].

В настоящей работе представлено исследование микробного разнообразия акватории Карского моря. Методика работы заключалась в заборе морской воды с разных глубин с использованием батометра Нискина. Всего было исследовано 6 станций в районе Карского моря (на входе в залив Степового, кутовая часть залива Степового, Новоземельская впадина, станция в Карском море к востоку от полигонов, залив Течений и залив Благополучия), 1 станция у Карских ворот и 1 станция в районе Баренцева моря (о. Колгуев). В общем числе – 8 станций. Отобранный объем морской воды (10 л с каждой глубины) осаждали на стерильном мембранном фильтре 47 мм с размером пор 0,22 мкм (Sterivex Millipore) для концентрирования микробной биомассы до момента завершения пропускной способности фильтра с последующей консервацией мембран фильтров стерильным консервирующим буферным раствором (150 mM NaCl, 100 mM EDTA, 100 mM Tris-HCl (pH=8.0)). Хранение проб проводили при температуре +4 °С до конца экспедиции и транспортировки в лабораторию. Дополнительно к забору воды, проводили зондирование океанографическим зондом SBE 19plus V2 для получения гидрофизических параметров воды.

В лабораторных условиях проводили экстракцию ДНК из фильтров, представляющую весь пул ДНК сообщества микроорганизмов в конкретной точке отбора, набором Qiagen DNeasy® PowerSoil® Pro Kit. Дальнейшая подготовка образцов включала 2 этапа ПЦР: 1 – со смысловыми праймерами на V4-регион гена 16S рРНК, 2 – с индексными праймерами, маркирующими каждый образец для последующего высокопроизводительного секвенирования на платформе MiSeq.

Биоинформатическая обработка полученных данных позволила провести анализ таких показателей, как изменение альфа-разнообразия в разных точках водоотбора, анализ бета-разнообразия в разных точках акватории Карского моря, а также анализ дифференциально представленных таксонов. Полученные результаты описывают структуру микробного разнообразия в водах Карского моря.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ступникова А.Н., Неретина Т.В., Цетлин А.Б. Метагеномный анализ как инструмент изучения и мониторинга биологического разнообразия в арктических морях // Экология гидросферы. 2023. №1 (9). С. 8–17. URL: <http://hydrosphere-ecology.ru/379>
2. Tringe SG, Hugenholtz P. A renaissance for the pioneering 16S rRNA gene. *Curr Opin Microbiol.* 2008 Oct;11(5):442-6. doi: 10.1016/j.mib.2008.09.011. Epub 2008 Oct 8. PMID: 18817891.
3. Yang B, Wang Y, Qian PY. Sensitivity and correlation of hypervariable regions in 16S rRNA genes in phylogenetic analysis. *BMC Bioinformatics.* 2016 Mar 22;17:135. doi: 10.1186/s12859-016-0992-y. PMID: 27000765; PMCID: PMC4802574.
4. Bukin YS, Galachyants YP, Morozov IV, Bukin SV, Zakharenko AS, Zemskaya TI. The effect of 16S rRNA region choice on bacterial community metabarcoding results. *Sci Data.* 2019 Feb 5;6:190007. doi: 10.1038/sdata.2019.7. Erratum in: *Sci Data.* 2022 Mar 17;9(1):94. doi: 10.1038/s41597-022-01246-0. PMID: 30720800; PMCID: PMC6362892.

## РОЛЬ ВЕТРОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛА В ОКЕАНЕ

**Шиповская Е.А.**

МБОУ СОШ №51, [shkola51.comch.ru](mailto:shkola51.comch.ru)  
89507654090, [Evangelineshipchixx@yandex.ru](mailto:Evangelineshipchixx@yandex.ru)

## THE ROLE OF WIND CIRCULATION IN HEAT DISTRIBUTION IN THE OCEAN

Shipovskaya E. A.  
MBEI SGE , [shkola51.comch.ru](mailto:shkola51.comch.ru)

В статье представлена тема роли ветровой циркуляции в распределении тепла в океане. В ходе ее прочтения вы узнаете, как ветры способствуют переносу тепла и влияют на температуру океанских вод.

The article presents the topic of the role of wind circulation in the distribution of heat in the ocean. During its reading, you will learn how winds contribute to the transfer of heat and affect the temperature of ocean waters.

**Ключевые слова:** циркуляция, океан, ветер.

**Key words:** circulation, ocean, wind.

Общая циркуляция океана — это систематическое движение водных масс в океанах и морях, которое обусловлено различными факторами, такими как ветры, температура, соленость, рельеф дна и вращение Земли. Это движение играет ключевую роль в климатических процессах, распределении тепла и питательных веществ, а также в экосистемах океанов.

Циркуляция океана включает в себя как поверхностные течения, так и глубинные потоки, также состоит из таких важных систем, как Гольфстрим, Куроисио и другие крупные океанические течения, которые влияют на климат различных регионов Земли. Эти течения помогают распределять тепло от экватора к полюсам и играют важную роль в глобальном климате.

Экваториальные круговороты проявляются главным образом противотечениями, направленными на Восток. Например, Индийский океан простирается только до 20 с.ш. и здесь ветровой режим резко меняется от лета к зиме.

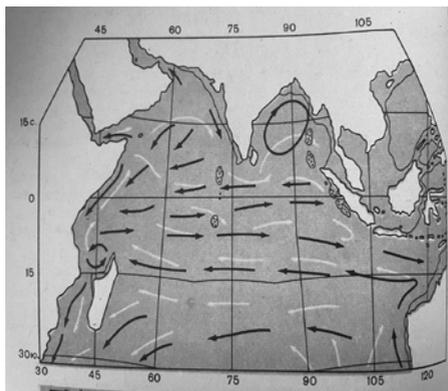


Рис.1

Летом ветры, дующие с западной части океана на Индию, приносят с собой муссонные дожди. Зимой ветры с Азиатского материка приносят в Индийский океан холодильный и сухой воздух.

В результате циркуляция вод также изменяется. Зимой в северной части океана преобладает поток с востока на запад, летом - в противоположном направлении. В южной части циркуляция напоминает картину движения вод в других океанах.

Циркуляция в ряде круговоротов замедляет перемешивание поверхностных вод и увеличивает различия в их температуре и солёности. Поскольку океаны связаны между собой только далеко на юге, перемешивание между северными частями Атлантики и Тихого океана затруднено. В результате здесь поддерживается значительная разница в солёности. В третичный период, когда существовал проход через Панамский перешеек и когда Атлантика соединялась с Индийским океаном более широким Средиземным морем, различия в солёности должны были быть меньшими.

Благодаря тому, что количество получаемой от Солнца энергии изменяется с широтой. Средняя температура увеличивается к экватору.

Океанические течения способствуют перераспределению тепла по планете и распределению осадков по поверхности суши. Есть некоторые закономерности: тёплые течения повышают температуру в холодный период и увеличивает количество осадков, холодные течения понижают температуру в тёплый период и сокращают количество осадков.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Питер Вейль. Популярная океанография / Питер Вейль, - Ленинград. Гидрометеиздат, 1977. с. 175- 185 (Ветровая циркуляция в океане)

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 551.326.02:004.8

### **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ РАЗРЫВОВ В МОРСКОМ ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ ПО СНИМКАМ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ**

**Дымент Л.Н., Ершова А.А., Кортикова К.Г., Бойкая Е.Г.**

*Арктический и антарктический НИИ, 199397, Санкт-Петербург, ул.  
Беринга, 38, +7(812)337-31-23, aaricoop@aari.ru*

### **AUTOMATIC IDENTIFICATION OF LEADS IN SEA ICE COVER FROM SATELLITE IMAGES**

**Dyment L.N., Ershova A.A., Kortikova K.G., Wojkaya E.G.**

*Arctic and Antarctic Research Institute, 38, Bering Str, Saint-Petersburg,  
199397, Russia.*

Представлены результаты верификации существующих зарубежных методов автоматического дешифрирования разрывов в ледяном покрове по спутниковым снимкам оптического диапазона. Представлен разрабатываемый в ААНИИ метод автоматической идентификации разрывов, использующий сверточную нейронную сеть.

The results of verification of existing foreign methods for automatically identified leads in the ice cover from satellite images of the optical range are presented. A method for automatic identification of leads using convolutional neural network, developed at AARI, is presented.

Разрывы в дрейфующем ледяном покрове арктических морей представляют собой узкие протяженные зоны, заполненные водой или молодым льдом. В холодный период года они образуются в сплоченном ледяном покрове под действием динамических факторов и могут простираются на сотни километров. Интерес к разрывам обусловлен как их научной, так и практической значимостью. Поскольку протяженность разрывов сопоставима с размерами

арктических морей, основным источником исходных данных о разрывах являются снимки искусственных спутников Земли (ИСЗ) среднего и низкого пространственного разрешения (ПР). На таких снимках в оптическом диапазоне разрывы отображаются в виде тонких темных линий на фоне светлого ледяного покрова. В настоящее время снимки поступают регулярно, однако экспертное дешифрирование на них разрывов и последующая их ручная оцифровка является крайне трудоемкой задачей. Это приводит к тому, что при верификации создаваемых алгоритмов автоматической идентификации разрывов на снимках ИСЗ разработчики обычно ограничиваются данными с нескольких снимков.

В ААНИИ был создан электронный архив разрывов в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском на основе ручной обработки снимков ИСЗ SuomiNPP за 2016–2024 гг. При создании архива были оцифрованы разрывы более чем с 600 снимков. ПР снимков 375 м. Данные архива позволили провести верификацию существующих алгоритмов автоматической идентификации разрывов на снимках оптического диапазона.

Алгоритмы [1] и [2] были разработаны для автоматической идентификации разрывов в арктическом ледяном покрове по данным снимков спектрорадиометра MODIS с ИСЗ Terra и Aqua на основе теплового контраста между открытой водой и льдом в Северном Ледовитом океане в период с января по апрель.

Для верификации результатов работы алгоритма [1] из архива было отобрано 50 снимков акватории морей Лаптевых и Восточно-Сибирского с минимальным количеством плотной облачности. В 68% случаев было выявлено сходство в расположении зон повышенной и пониженной плотности разрывов в пространстве. В подавляющем большинстве случаев (80%) алгоритм верно идентифицировал разрывы даже сквозь легкую облачность и демонстрировал хорошее распознавание разрывов и облаков. Целью разработчиков алгоритма являлось определение общей площади ледяного покрова, поэтому их не интересовала информация о разрывах как об отдельных объектах. По получаемым результатам обработки снимка по алгоритму [1] невозможно определить такие важные для навигации характеристики разрывов как ориентация в пространстве и протяженность.

Главное достоинство алгоритма [2] – формирование отдельных объектов, объединяющих пиксели, принадлежащие одному разрыву. Подобное представление данных позволяет вычислить не только плотность разрывов в пространстве, но и их ориентацию, длину, ширину и площадь. При верификации результатов дешифрирования

разрывов по алгоритму [2] на акватории морей Лаптевых и Восточно-Сибирском было выявлено, что алгоритм практически не идентифицирует разрывы при наличии даже легкой облачности. В связи с этим получаемые данные о разрывах часто носят фрагментарный характер, и общая структура систем разрывов в большинстве случаев не выделяется. Сопоставление с данными ручного дешифрирования расположения зон повышенной и пониженной плотности разрывов малоинформативно, т.к. экспертом определялось гораздо больше разрывов. Расчет модальной ориентации разрывов по данным [2] и по данным электронного архива ААНИИ выявил совпадение полученных значений (абсолютная разница не превышает  $10^\circ$ ) лишь в 40% случаев, различие до  $30^\circ$  наблюдалось в 83%.

Авторы [3] разработали алгоритм для автоматической идентификации разрывов в арктическом ледяном покрове по данным снимков ИК-диапазона спектрорадиометров MODIS и VIIRS, используя средства искусственного интеллекта (сверточной нейронной сети U-Net). Верификация результатов показала, что по сравнению с алгоритмом [2] алгоритм [3] идентифицирует больше разрывов в зоне легкой облачности. Однако, как и [1], алгоритм не позволяет определить характеристики каждого разрыва как отдельного объекта.

Авторы [4] разработали алгоритм автоматического обнаружения разрывов в море Лаптевых на основе спутниковых снимков Landsat-8 с использованием сверточной нейронной сети U-Net. В ходе работы определяются географические координаты разрывов. Алгоритм показал очень хорошие результаты, однако, использование снимков высокого разрешения (ПР 30 м) не позволяет охватить всю акваторию моря одним снимком, в результате чего наиболее протяженные разрывы фиксируются не полностью.

В настоящее время в ААНИИ ведется разработка алгоритма автоматической идентификации разрывов в арктическом ледяном покрове по снимкам ИСЗ оптического диапазона низкого ПР, который бы позволял фиксировать географические координаты относительно прямолинейных отрезков разрывов, позволяя тем самым определять в дальнейшем ориентацию и протяженность отдельных разрывов. Алгоритм использует принципы машинного обучения и компьютерного зрения, включая применение сверточных нейронных сетей и семантической сегментации для точного анализа и классификации областей разрывов на изображениях. Пример результатов идентификации разрывов по разрабатываемому алгоритму и визуализация данных ручной оцифровки из электронного архива

ААНИИ представлены на рис. 1.

Разработанный алгоритм позволит ускорить формирование архива данных о разрывах в ледяном покрове арктических морей, который востребован как при исследовании пространственно-временной изменчивости характеристик разрывов, так и при разработке методов прогноза их преобладающей ориентации, используемых в составе гидрометеорологического обеспечения рейсов по СМП в зимний период.

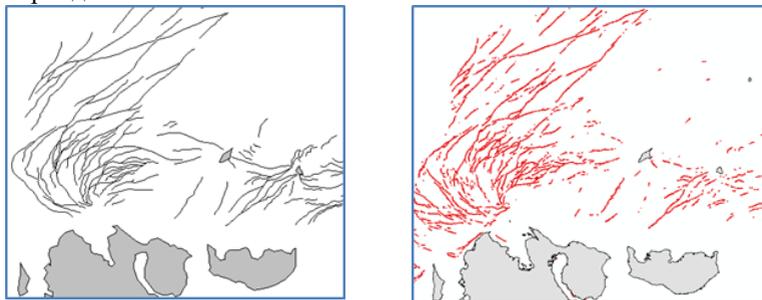


Рис. 1. Результаты ручного (а) и автоматического (б) дешифрирования разрывов по алгоритму ААНИИ снимка ИСЗ SuomiNPP (VIIRS) от 30.01.2022 г. (фрагмент)

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, грант №25-27-00008.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Reiser F., Willmes S., Heinemann G. A New Algorithm for Daily Sea Ice Lead Identification in the Arctic and Antarctic Winter from Thermal-Infrared Satellite Imagery // *Remote Sensing*. - 2020. - V. 12. - №12. - P. 1957.
2. Hoffman J.P., Ackerman S.A., Liu Y., Key J. R. The Detection and Characterization of Arctic Sea Ice Leads with Satellite Imagers // *Remote Sensing*. - 2019. - 11(5). – P. 521.
3. Hoffman J.P., Ackerman S.A., Liu Y., Key J.R., McConnell I.L. Application of a Convolutional Neural Network for the Detection of Sea Ice Leads // *Remote Sensing*. - 2021. - V. 13. - № 22. - P. 4571.
4. Кортикова К.Г., Бычкова И.А. Применение сверточной нейронной сети для обнаружения разводий в море Лаптевых по снимкам спутника LANDSAT-8 // *Метеорология и гидрология*. – 2024. - №4. – С. 47-54.

**ОТ ИНТЕГРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ И НЕОДНОРОДНЫХ  
ДАНЫХ О МОРСКОЙ СРЕДЕ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ К  
АРХИТЕКТУРЕ «СЕТКА ДАННЫХ»**

**Вязилов Е.Д., Мельников Д.А.**

*ВНИИГМИ-МЦД,  
249035, г. Обнинск, Королева, 6, 8(484)397-46-76. [viaz@meteo.ru](mailto:viaz@meteo.ru)*

**FROM INTEGRATION OF DISTRIBUTED AND  
HETEROGENEOUS MARINE DATA AND ACTIVITIES  
TO ARCHITECTURE “DATA MESH”**

Viazilov E.D.<sup>1</sup>, Melnikov D.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *RIHMI-WDC, Koroleva, 6, Obninsk, 249035, Russia*

Представлен обзор развития архитектур данных от централизованных систем обеспечения данными о морской среде до архитектуры “Сетка данных”. Показаны перспективы развития технология интеграции данных.

An overview of the development of the data architecture from centralized systems for providing data on the marine environment to the "Data mesh" architecture is presented. The prospect for the development of data integration technology,

**Ключевые слова:** архитектура данных, интеграция данных, цифровой двойник, сетка данных.

**Key words:** data architecture, data integration, digital twin, data mesh.

Архитектурные решения по хранению и доступу к данным развивались от отдельных самостоятельных приложений, работающих с файлами данных, через базы данных (БД) до облачных хранилищ. Каждый этап развития архитектур данных имел свои преимущества и недостатки. Поэтому прогноз развития архитектуры данных является насущной задачей в период модернизации Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО).

Целью статьи является рассмотрение развития архитектурных решений по хранению и использованию данных за 60 лет и разработка новых подходов по развитию интеграции данных на основе цифровых

двойников (ЦД), графов знаний и прикладных задач для морского гидрометеорологического обеспечения (МГМО).

**Обзор развития средств интеграции данных.** Сдвиг парадигмы МГМО пользователей от централизованного к персонализированному обслуживанию основан на изменении подходов в хранении и использовании данных. Можно выделить четыре этапа развития: централизованный вариант обслуживания продукцией из одной организации в 1964-1985 годах; распределенный вариант архитектуры хранения данных путем создания региональных центров (1986-2003); распределенно-централизованные веб-порталы, интегрирующие данные для самообслуживания (2004-2023); распределенно-централизованный на основе архитектуры «Сетка данных» для персонализированного обслуживания с помощью цифровых двойников (ЦД) (2024-2030).

Трудности эксплуатации централизованных архитектур данных заключались в том, что они монолитны по своей природе и требовали сложного неавтоматизированного управления данными. Затем появились хранилища данных (Warehouse), «Озера данных» (Data Lake) и «Хабы данных» (Data Hub). Но они тоже требуют сложной поддержки управления данными, так как количество централизованных БД при этом значительно увеличилось. Определенную роль в повышении эффективности централизованных систем сыграли «Озера данных» с облачным хранилищем данных (Lakehouse) [1] и «Data Fabric».

Эти архитектуры тоже имеют недостатки. Здесь фактически производилась консолидация данных. Одной из трудностей при реализации таких архитектур является отсутствие обмена данными. В основном идет доставка данных по подписке. Для данных о морской среде и морской деятельности, собираемых многими странами и агентствами внутри этих стран, требовалось создание множества универсальных конверторов для трансформации данных.

Распределенно-централизованная архитектура для интеграции данных позволила организовать самообслуживание пользователей через единую точку входа. Примером такой системы является веб-портал ЕСИМО, <http://esimo.ru>. В период разработки ЕСИМО (2000-2013) не были полностью решены вопросы развития МГМО. К моменту введения единой системы в постоянную эксплуатацию многие организации Росгидромета создали свои веб-сайты с информационной продукцией, которая частично представлена и в информационных ресурсах (ИР) системы. Каждый ИР имеет метаданные. Портал обеспечивает единое окно доступа для пользователей путем

самообслуживания и доставки данных в другие информационные системы.

ИР — это конкретный, идентифицируемый и дискретный продукт, который принадлежит и управляется одной организацией, создан для поддержки как аналитических функций, так и средств поддержки решений. Все ИР обнаруживаются за счет метаданных; имеют уникальные адреса хранения, URL адрес, идентификатор ресурса; удовлетворяют принципам FAIR (поисковость, доступность, интероперабельность данных); соответствуют требованиям TRUST к центру хранения (прозрачность архитектуры данных, ответственность узла, ориентация на пользователя, устойчивость инфраструктуры).

ЕСИМО интегрирует структурированные файлы, БД, объектные файлы - неструктурированные данные, картографические сервисы и другие приложения. Платформа интеграции упрощает процессы загрузки и приведения данных из различных источников к единой модели за счет маппинга локальных имен свойств объектов и локальных кодов в общесистемные. Такой подход позволяет интегрировать гидрометеорологические, социальные, финансовые, другие типы и виды данных, которые необходимы для персонализированного МГМО объектов морской деятельности. Поддержка эксплуатации системы обеспечивается соответствующими метриками и показателями (актуальность данных работоспособность аппаратно-программного комплекса, учет пользователей, посещаемость ИР).

**Архитектура «Сетка данных».** В настоящее время архитектура *«Сетка данных»* является наиболее перспективным методом распространения данных, в основе которого лежит персонализированное обслуживание данными и информационной продукцией. Эта архитектура представляет собой централизованно-распределенный подход к управлению данными и предназначена для их поиска и доступности [1]; использует методы и средства искусственного интеллекта для обработки данных - выявления аномальных событий в системе безопасности, идентификации превышения пороговых значений тех или иных показателей опасных природных явлений. Архитектура *«Сетка данных»* на основе ЕСИМО представлена на рис. 1.

Преимущества архитектуры *«Сетка данных»* связаны с развитием сквозной схемы обработки и МГМО *«от измерения до принятия решений»*. Для стандартизации структур данных и дальнейшего их применения в моделях и приложениях используются различные ЦД. Для организации эффективного поиска связанных ИР и

обогащения данных при выполнении запросов используются графы знаний [2], хранящиеся в векторной БД. Для доступа к данным используются

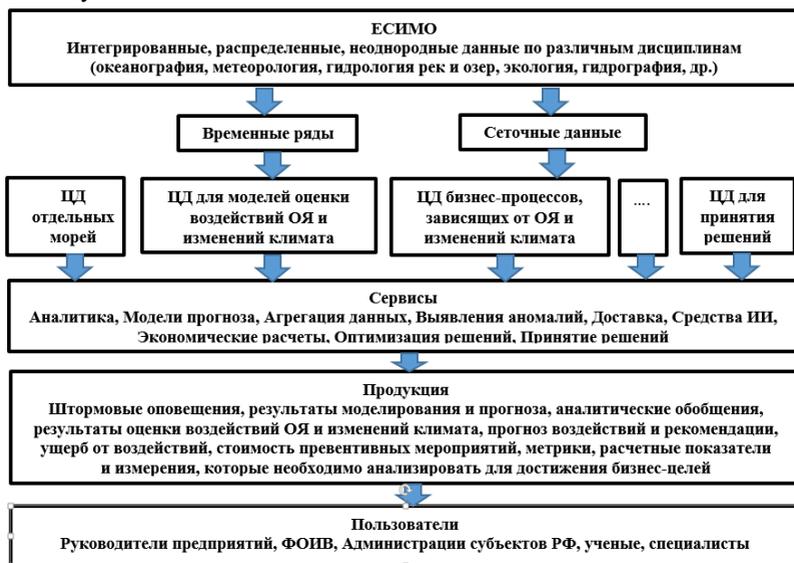


Рис. 1. Архитектуры “Сетка данных” на основе ЕСИМО

**Заключение.** Представлен обзор развития архитектур данных от централизованных систем обеспечения данными о морской среде до архитектуры “Сетка данных”. При этом ЕСИМО берет на себя предоставление услуг по подключению новых типов и видов данных, что значительно облегчает переход к архитектуре “Сетка данных”. Основным способом получения данных станут API, REST и web сервисы.

Более дальними перспективами является создание сети связанных распределенных данных с использованием ЦД и графов знаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zhamak Dehghani. How to Move Beyond a Monolithic Data Lake to a Distributed Data Mesh. 2019. <http://martinfowler.com/articles/data-monolith-to-mesh.html>. Date Access: 14,10,2024.
2. Viazilov E.D. Digital twins and models in fields earth scientists. ENVIROMIS’2024. International Conference on Environmental Observations, Modeling, and Information System. July 01-06, 2024. Russia. Selected papers. Tomsk, p.220-226, [https://enviromis.ru/inc/files/2024/env24abs\\_web.pdf](https://enviromis.ru/inc/files/2024/env24abs_web.pdf).

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В  
СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ  
YOLO11 С ОБУЧЕНИЕМ ПО МОДЕЛИ NEMO**

**Кубряков А.А., Добродий В.А., Мизюк А.И.**

*Морской гидрофизический институт РАН,  
Ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь,  
8(798)74-11-045, arskubr@ya.ru*

**IDENTIFICATION OF SUBMESOSCALES EDDY IN SATELLITE  
DATA BASED ON THE YOLO11 NEURAL NETWORK WITH  
TRAINING BY THE NEMO MODEL**

**Kubryakov A.A., Mizyuk A.I., Dobrodiy V.A.**

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

Представлены результаты подхода к тренировке нейросетей для идентификации субмезомасштабных вихрей, основанные на определении образов вихрей с помощью математических методов идентификации по данным численного моделирования NEMO. Метод позволяет идентифицировать вихри и получать статистику их наблюдений по спутниковым измерениям.

The results of the approach to training neural networks for identifying submesoscale eddies are presented. They are based on determining eddies images using mathematical identification methods based on NEMO numerical modeling data. The method allows identifying eddies and obtaining statistics of their observations based on satellite measurements.

**Ключевые слова:** подводные устройства, методы исследования

**Key words:** underwater devices, research methods

В настоящей работе предложен алгоритм выделения субмезомасштабных вихрей по данным оптических измерений Landsat и Sentinel на основе нейросети Yolo 5. Особенностью предлагаемого алгоритма является использование данных

численных моделей в качестве тренировочного массива. Создание тренировочного массива одна из наиболее трудоёмких частей работы при разработке нейросетевого алгоритма идентификации образов по данным изображений.

В нашей работе этот массив был создан на основе математических алгоритмов автоматической идентификации вихрей на основе метода Окубо-Вейса. Этот метод был применен к полям скорости, полученным по данным модели NEMO с разрешением 1 км для Черного моря за 2009-2011 гг [1]. Далее в местах выделенных вихрей брались их образы в поле температуры, солёности и дивергенции. С помощью такого метода было получено более 100 000 образов вихрей в полях разных параметров, которые использовались для тренировки нейросети Yolo5 (tiny). Результаты показали, что созданная конфигурация позволяет успешно и с большой скоростью идентифицировать субмезомасштабные вихри по данным численного моделирования в том числе по полям температуры и солёности.

Далее, разработанная конфигурация применялась к данным спутниковых измерений с высоким разрешением (Landsat, Sentinel-2). Поскольку на этих снимках также отображались образы вихрей в поле оптических или температурных параметрах, то эта конфигурация успешно работала и со спутниковыми снимками в различных регионах, в том числе Черном море и Арктике. В результате создан алгоритм, позволяющий быстро идентифицировать субмезомасштабные вихри по данным спутниковых измерений. Этот метод был использован для исследования особенностей пространственной и временной изменчивости субмезомасштабной динамики в Чукотском море на основе 111 снимков Landsat в 2015-2021 гг

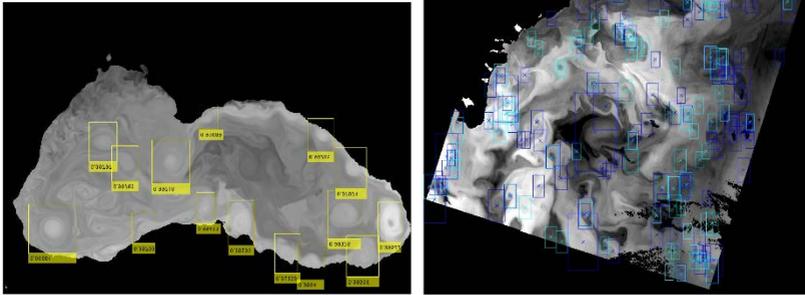


Рис. 1 Примеры идентификации вихрей а) в поле солёности по данным модели; б) по оптическим измерениям Landsat

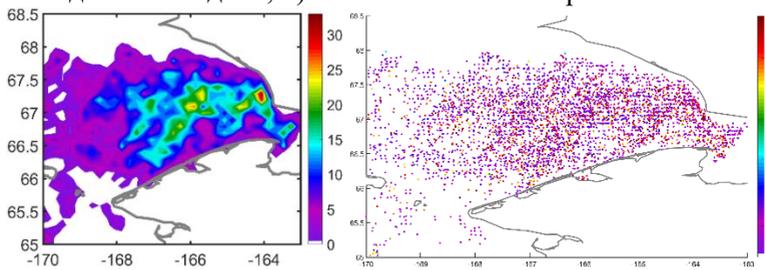


Рис.2 Частота наблюдения вихрей (слева) и места их идентификации (справа) в Чукотском море на основе 111 снимков Landsat в 2015-2021 гг

Работа подержана в рамках госзадания FNNN-2024-0012

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kubryakov A. A., Stationarity and separation of the Sevastopol eddies in the Black Sea: The role of eddy-topographic interaction and submesoscale dynamics // Mizyuk A. I., Stanichny S. V. Journal of Marine Systems. – 2024. – Т. 241. – С. 103911.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ О ВОЗДЕЙСТВИЯХ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Казаков Д.В.<sup>1</sup>, Вязилов Е.Д.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ОИАТЭ филиал НИЯУ МИФИ249034. Калужская область, г. Обнинск, Студенческий городок, 15/1, e-mail: kazakovdv@oiate.ru  
<sup>2</sup>ВНИИГМИ-МЦД, 249035, г. Обнинск, Королева, 6, 8(484)397-46-76. vjaz@meteo.ru

### USING LANGUAGE MODELS TO FORMALIZE DATA ON THE IMPACTS OF NATURAL PHENOMENA

Kazakov D.V.<sup>1</sup>, Viazilov E.D.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> OIATE - Branch of the National Research Nuclear University MEPHI  
15/1, Student Town, Obninsk, 249034, Russia  
<sup>2</sup> RINMI-WDC, 6, Koroleva, Obninsk, 249035, Russia

Представлен демонстрационный вариант использования языковой модели ruGPT-3 для сбора сведений о воздействиях опасных природных явлений. Проведены эксперименты по обучению и тестированию модели, представлены результаты оценки её точности и перспективы развития.

A demonstration version of the use of the ruGPT-3 language model for collection and formalization of information on impacts of natural hazards and recommendation is presented. Experiments on training and modeling tests are given Results of assessment their accuracy and development perspective are presented.

**Ключевые слова:** нейросеть, ruGPT-3, обработка текста, формализация данных, природные явления, дообучение.

**Key words:** neural network, ruGPT-3, text processing, data formalization, natural hazards, fine-tuning.

**Введение.** Современные природные явления, такие как наводнения, землетрясения и ураганы, требуют оперативной обработки больших

объёмов данных для идентификации уровней опасности, выдачи сведений о возможных воздействиях и рекомендаций для минимизации последствий в формализованном виде. Традиционные методы анализа данных не всегда эффективны для преобразования текстовой информации в структурированный формат. В исследовании предложено использовать модель `gpt-3` для автоматической формализации текстов, связанных с воздействиями природных явлений.

**Обзор решений.** Проведён анализ современных языковых моделей и методов формализации текстовых данных, включая модели `gpt-3`, BERT, DistilBERT, T5, Falcon и LLaMA. Было выявлено, что модели, построенные на архитектуре трансформеров, обладают высокой способностью к обработке текстов, однако их адаптация к специфическим задачам требует значительных вычислительных ресурсов [1].

Особое внимание уделено проблемам, связанным с обработкой русскоязычных текстов, включая недостаток предобученных моделей, сложность интеграции данных из различных источников и необходимость стандартизации форматов вывода. Кроме того, исследованы вызовы существующих методов, такие как контекстуальная сложность текстов и необходимость интеграции текстовых данных с другими форматами. Было предложено использовать `gpt-3` в качестве основного инструмента для данной задачи, а также проводить дообучение модели на специализированных данных, чтобы устранить существующие ограничения. На втором месте стоит модель LLaMA, которая лучше переносит квантование без значительного снижения точности и демонстрирует более высокую интеллектуальную производительность. Это делает её перспективным инструментом для более точного выполнения задач формализации данных после соответствующего дообучения. Анализ языковых моделей показал, что `gpt-3` предоставляет наиболее подходящую основу для автоматизации формализации данных о воздействиях природных явлений благодаря её высокой адаптации к русскоязычным текстам, поддержке дообучения в условиях ограниченных ресурсов и возможности генерации структурированных данных [2].

Исходные данные. Используемый для дообучения набор данных представляет собой `jsonl` файл, который показывает информацию про опасное погодное явление «Наводнение» и имеет следующую структуру:

- название;
- определение явления;

- причины явления;
- показатели явления и их значения по уровням опасности;
- воздействия на различные объекты - инфраструктура, население, предприятия, транспорт и т.п., виды деятельности - перевозки грузов, отдых, др.
- рекомендации для различных уровней управления;
- сопутствующие явления;
- типовые ситуации, которые можно использовать для различных явлений;
- список литературных источников, использованных для сбора сведений о воздействиях и рекомендаций.

Обучение модели. Проведён процесс подготовки данных и дообучения модели `gpt-3` на текстах, содержащих информацию о воздействиях природных явлений. В ходе обучения использовались токенизированные последовательности, сокращённые до 512 токенов, что позволило учесть ограничения на длину контекста. Применение методов квантования и градиентного аккумулятора обеспечило оптимизацию использования вычислительных ресурсов. Настройка гиперпараметров, включая выбор скорости обучения и числа эпох, позволила достичь баланса между качеством обучения и ограничениями вычислительных ресурсов.

Результаты обучения. Проведённые эксперименты показали перспективы использования нейросетей, таких как `gpt-3`, в области формализации данных о воздействиях природных явлений. В тестировании использовались реальные данные, что позволило выявить реальные возможности модели в генерации структурированных текстов. Однако также были отмечены ограничения, связанные с необходимостью дообучения и сложностью работы с контекстуально сложными текстами. В связи с этим рекомендуется рассмотреть возможность смены модели на `LLaMA`, которая лучше подходит для задач квантования и демонстрирует более высокую интеллектуальную производительность. Это делает её перспективным инструментом для более точного выполнения задач формализации данных после соответствующего дообучения. Результаты исследования подтверждают потенциал нейросетевых технологий в автоматизации анализа данных и предоставлении рекомендаций в структурированном виде. Тестирование на трех эпохах обучения выявило `train_loss` 2.947, а на шести эпохах этот показатель снизился до 2.864, подтверждая улучшение качества обучения при увеличении количества эпох.

Тестирование модели. Основной целью тестирования является проверка - насколько хорошо модель обобщает данные и насколько её результаты соответствуют запросу. Выявлено, что промпты, предоставляющие дополнительный контекст, значительно улучшали качество вывода, в то время, как простые запросы приводили к неожиданным результатам, которые полностью не соответствуют ожиданиям.

Заключение. Модель ruGPT-3 показывает перспективные результаты, но требует улучшений в области генерации текстов, либо смены модели на более продвинутую. Для улучшения результатов необходимо дообучить модель с более разнообразными и сложными данными, которые включают не только данные о наводнениях, но и о других опасных явлениях. Требуется пересмотреть оптимизацию модели, улучшить производительность обучающей системы, рассмотреть возможность работы с базами данных для автоматизации обучения. Это позволит ускорить анализ и повысить точность предоставляемой информации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Transformers [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://clck.ru/3FLCAp> (дата посещения – 13.11.2024).
2. A Family of Pretrained Transformer Language Models for Russian [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://clck.ru/3FLBy9> (дата посещения – 11.11.2024).

УДК 004.9

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЦИФРОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОГНОЗОВ В ТЕКСТ

Хритошин Н.В.<sup>1</sup>, Вязилов Е.Д.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Отделение интеллектуальных кибернетических систем Обнинского филиала НИЯУ МИФИ 249034, Калужская область, г. Обнинск, Студенческий городок, 15/1, e-mail: [khritoshinNV20@oiate.ru](mailto:khritoshinNV20@oiate.ru)

<sup>2</sup> ВНИИГМИ-МЦД, 249035, г. Обнинск, Королева, 6, 8(484)397-46-76.  
[vjaz@meteo.ru](mailto:vjaz@meteo.ru)

# USING A NEURAL NETWORK FOR AUTONOMOUS TRANSFORMATION OF DIGITAL VALUES OF FORECASTS INTO TEXT

Khritoshin N.V.<sup>1</sup>, Viazilov E.D.<sup>1,2</sup>,

<sup>1</sup> *Department of Intelligent Cybernetic Systems of the Obninsk Branch of the National Research Nuclear University MEPhI249034. Kaluga Region, Obninsk, Student Town, 15/1*

<sup>2</sup> *RIHMI-WDC, 6, Koroleva, Obninsk, 249035, Russia*

Представлен демонстрационный вариант нейронной сети, позволяющий преобразовывать числовые метеорологические данные в текстовые прогнозы. Проведено тестирование и рассчитаны метрики оценки полученных результатов

A demo version of a neural network is presented, allowing to transform numerical meteorological data into text forecasts. Testing is conducted and metrics for evaluating the obtained results are calculated.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, чат RuGPT, прогноз погоды, трансформация цифровых данных, текстовой прогноз.

**Key words:** neural network, RuGPT chat, weather forecast, digital data transformation to text.

**Введение.** В настоящее время прогнозы Росгидромета, подготовленные с помощью численных моделей представляются в виде цифровых значений параметров атмосферы и гидросферы в узлах регулярной сетки. Синоптик на этой основе составляет прогноз в виде текста для крупных поселений. Эта работа достаточно трудоемкая. Требуется автоматизация составления таких прогнозов. Для трансформации цифровой прогностической информации в текст, понятный любому человеку, можно использовать нейронную сеть.

**Методика.** Современные методы трансформации числовых данных в текст активно развиваются благодаря достижениям в области машинного обучения и обработки естественного языка. В США компания Tomogrow [1] уже разработала такую технологию. Платформа Tomogrow.io объединяет анализ числовых данных, карт и временных рядов с генерацией текстовых прогнозов. Эта платформа использует как классификационные модели для предварительного анализа данных, так и языковые модели для создания текстов [2].

Такая система способна обрабатывать метеорологические данные и генерировать текстовые прогнозы с высокой точностью.

Например, данные: температура = 18°C, ветер = 12 м/с, вероятность дождя = 50%. Система определяет погодные условия как “ветренные с возможностью дождя” и генерирует текст: *“Ожидается умеренный ветер до 12 м/с. Возможны кратковременные дожди. Температура составит 18°C.”*

Преимущества этой платформы включают высокую точность за счёт комбинации методов, возможность учитывать широкий спектр параметров, гибкость системы для разных целей (текст, графика, алерты). Ограничения включают сложность реализации и настройки, необходимость интеграции данных из разных источников.

Генеративные языковые модели, основанные на трансформерной архитектуре, способны создавать связные текстовые описания на основе предоставленных данных. Они обучены на больших текстовых корпусах и могут понимать контекст и структуру текста, что делает их универсальным инструментом для генерации осмысленного контента.

Генеративная модель GPT-3 и её русскоязычная версия RUGPT (<https://rugpt.io>) принимает числовые данные как входные параметры. Эти данные могут включать прогнозируемые параметры. Модель анализирует данные и создаёт текстовое описание, используя контекст, встроенный в её архитектуру. Если на вход модели подать данные: температура = 20°C, влажность = 80%, вероятность дождя = 70%, то модель сгенерировала текст: *“Сегодня в вашем регионе ожидается облачная погода с температурой около 20°C. Возможны дожди с вероятностью 70%. Влажность воздуха составит 80%, что создаст ощущение повышенной сырости.”*

Преимуществами модели являются генерация текстов любой сложности, поддержка нескольких языков, способность создания текстов, которые адаптируются под разные стили и форматы, интеграция с языком Python. Модель требует больших вычислительных мощностей. Генерируемый текст иногда избыточен - модель может добавлять неуместные подробности. Генеративные модели могут создавать детализированные текстовые описания на основе входных данных, а трансформеры MetNet и FourCastNet эффективно анализируют временные и пространственные зависимости.

**Исходные данные.** Набор данных взят с портала ЕСИМО (<http://esimo.ru>) представляет собой CSV файл, который содержит основные прогностические метеорологические параметры. Структура

данных включает временные и пространственные параметры - дата, время, широта, долгота, а также различные параметры погоды, табл. 1.

Таблица 1 - Структура данных исходного файла

Дата и время: начало	Дата и время	Широта	Долгота	Давление: на поверхности	Давление: на уровне моря	Темп-ра возд.	Темп-ра поверх.	Точка росы	Осадки: количество	Ветер: U	Ветер: v	Ветер: порывы
2024-12-19 12:00:00	2024-12-20 15:00:00	36.4085	54.8587	1023.0	828.00	0.20	-1.3	-7.9	1.3	-0.9	5.0	

**Обучение модели.** На этом этапе модель обучается на исторических данных. Процесс обучения включает подготовку данных, выбор архитектуры модели, настройку гиперпараметров и обучение модели. Для обучения модели исходный набор данных разделен на две выборки: обучающую (train) и тестовую (test). Среди основных гиперпараметров, которые были настроены в процессе обучения выделены количество слоев нейронной сети; размер скрытого слоя нейронной сети; скорость обучения; число полных циклов обучения; количество примеров, которые модель обрабатывает за один раз при каждом обновлении весов.

**Результаты.** Текстовый прогноз, сгенерированный при помощи RUGPT, представлен в табл. 2.

**Тестирование модели.** Основной целью тестирования является проверка - насколько хорошо модель обобщает данные и насколько её результаты соответствуют прогнозу. Метриками для оценки качества модели являются точность - оценивается, насколько предсказания модели совпадают с прогнозными значениями. Для оценки нейронной сети использовались также такие метрики как BLEU (Bilingual Evaluation Understudy), ROUGE (Recall-Oriented Understudy for Gisting Evaluation), Perplexity (перплексия).

Показатели BLEU и ROUGE показывают, что сгенерированные прогнозы не полностью соответствуют реальным прогнозам погоды. Низкая оценка BLEU и ROUGE-2, в сочетании с отсутствием биграмм, указывает на то, что модель не учитывает сложные зависимости и контексты, которые важны для генерации текстовых прогнозов погоды. Перплексия в пределах 12.65 демонстрирует, что модель уверенно генерирует прогнозы, но с некоторыми погрешностями.

Таблица 2 - Результат текстового прогноза

Дата	Сгенерированный прогноз
2024-12-19 12:00:00	Прогноз погоды на основе данных: Температура воздуха: -0.04°C, Атмосферное давление: 0.18 гПа, Зональная составляющая скорости ветра: -1.1 м/с, Осадки: 1.9 мм. Что можно ожидать в Калужская область в ближайшие часы? В ближайшее время погода будет благоприятной для проведения плановых работ по ремонту и реконструкции дорог города Калуги. На дорогах области будут проводиться работы по расчистке проезжей части от снега и наледи.

**Заключение.** Модель показывает хорошие результаты, но требует улучшений в области генерации текстов. Для улучшения результатов необходимо дообучить модель с более разнообразными и сложными данными, которые включают не только базовые предсказания, но и более детализированные описания погоды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Tommorrow.io “Tomorrow.io Platform Overview: Transforming Climate Data into Actionable Insights”. URL: <https://www.tomorrow.io/>. Дата доступа: 15.12.2024.
2. WeatherBench: Weather Forecasting using ML. URL: <https://sites.research.google/weatherbench/>. Дата доступа: 15.12.2024.

УДК 551.465

### **ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА ДЛЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА И ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРЯ**

**Клименко С.К., Иванов А.Ю.**

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

## FURTHER DEVELOPMENT OF THE GIS APPROACH FOR MONITORING AND DETECTING MARINE OIL POLLUTION

Klimenko S.K., Ivanov A.Yu.

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

Рассматривается необходимость усовершенствования геоинформационного подхода для изучения аспектов пространственно-временного распределения пленочных загрязнений морей и выявления их источников, обнаруженных на поверхности моря с помощью космической радиолокации. На конкретных примерах показана эффективность подобной доработки, когда источники загрязнений выделяются практически автоматически.

The paper examines the need to improve the geoinformation (GIS) approach to study different aspects of the spatiotemporal distribution of oil spills in the seas and identify their sources by detecting on the sea surface using synthetic aperture radar (SAR) imagery. Specific examples demonstrate the effectiveness of such improvements, when oil pollution sources are identified almost automatically.

**Ключевые слова:** ГИС-подход, космическая радиолокация, пленочные загрязнения, Черное море

**Key words:** GIS approach, SAR imagery, oil spills, Black Sea

Авторы доклада представляют основные результаты, основанные на модернизации геоинформационного (ГИС) подхода [1], целью которой является обнаружение и установление природы источников пленочных загрязнений, а также выделение их новых типов. Необходимость усовершенствования метода демонстрируется на примере обнаружения и идентификации источников пленочных загрязнений Черного моря, обнаруженных на поверхности моря с помощью космической радиолокации в 2020–2023 гг.

Геоинформационные системы (ГИС) и методы исследований на их основе представляют собой одно из эффективных средств для сбора, хранения, графической визуализации и анализа результатов измерений и данных о состоянии морей, процессах и явлениях в них. В настоящее время они активно используются в океанологии и океанографии [1, 2]. Суть ГИС-подхода для решения конкретных задач заключается в сборе и объединении разнообразной

геопространственной информации, в том числе полученной при дешифрировании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), и последующем интерактивном анализе, например, для исследования различных аспектов нефтяного загрязнения морей.

В задачах мониторинга нефтяного загрязнения необходимо знать распределение пятен пленочных загрязнений на той или иной акватории, иметь набор различных океанографических, гидрометеорологических, навигационных и промышленных данных о: батиметрии, полях ветра, нефтегазовом комплексе (НГК), судовой обстановке, а также любую другую доступную информацию о водном бассейне, характеризующей места обнаружения пятен. Данные аккумулируются в специализированных ГИС-порталах в виде отдельных тематических слоев, где на основе всех собранных данных в итоге создаются карты распределения пленочных загрязнений, которые помогают сделать выводы об интенсивности загрязнения изучаемой акватории. Подобные карты – полноценный информационный продукт, позволяющий получить не только информацию о пространственно-временном распределении загрязнений, но и выявлять их источники, выделять взаимосвязи между обнаруженными пятнами и их источниками, определять характеристики обнаруженных загрязнений и т.д.

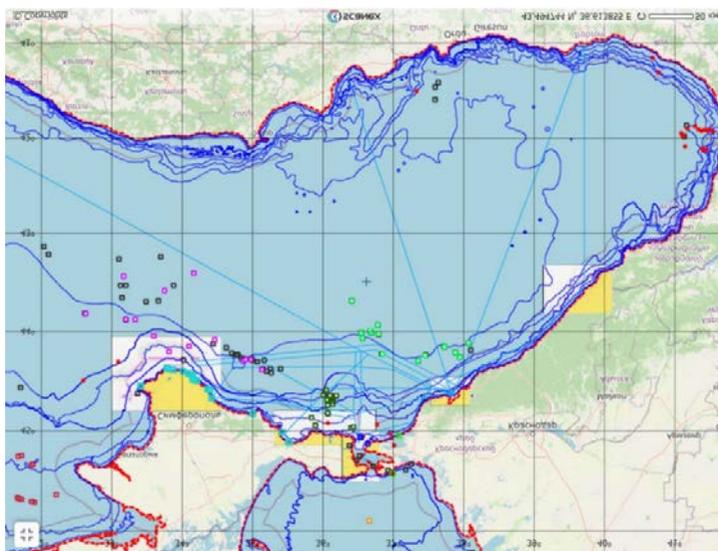


Рис. 1. Отображение информации об акватории Черного моря в веб-ГИС приложении «Геомиксер» (на карте показаны элементы батиметрии, судоходные трассы, объекты НГК, крупные подводные сипы и грязевые вулканы, фрагменты навигационных карт и др.).

Здесь ГИС-подход рассматривается на примере веб-ГИС картографического приложения «Геомиксер» российской компании «СКАНЭКС» (<http://geomixer.ru>), реализованного на основе соответствующих идей [3], где, в том числе, происходит визуализация РЛИ европейских спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B и их анализ.

Кроме доступных базовых карт (т.н. подложек) ГИС-портал позволяет добавлять любые цифровые данные с необходимой и дополнительной информацией о водном бассейне в виде отдельных слоев (в векторном и растровых форматах). На первом этапе этот набор данных обязательно должен включать данные батиметрии (карты или набор изобат), информацию о судоходных трассах, инфраструктуре морского НГК, ветре, а также данные автоматических систем идентификации судов (АИС), что позволяет провести предварительный анализ акватории (рис. 1).

В данной работе для поиска и идентификации пленочных загрязнений были использованы радиолокационные данные – радиолокационные изображения (РЛИ) европейских спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B, полученные в режиме Interferometric Wide полосой обзора 250 м и разрешением 10 м.

Анализ пленочных загрязнений, обнаруженных на РЛИ с учетом всей контекстной обстановки в рамках ГИС-подхода, можно назвать интерактивным. Метод включает в себя следующие последовательные действия:

- 1) визуальное обнаружение пятен пленочных загрязнений с учетом определенного набора характерных признаков (размеры, форма, контраст на фоне окружающего моря, характер края и т.п. характеристики),

- 2) экспертная оценка природы пятна и определение положения (координат) источника или геометрического центра пятна,

- 3) выделение и векторизация как отдельных разновременных снимков, так и их групп, с последующим созданием векторных слоев, пригодных для внесения и анализа в ГИС-проект,

- 4) пространственно-временной анализ всех доступных РЛИ,

- 5) сопоставление результатов обнаружения с доступными подспутниковыми данными и дополнительными материалами (снимки оптических спутников, сопутствующая информация об окружающей

среде (ветер, течения и т.п.), о характеристиках нефти/нефтепродукта (если известны) и т.п.).

В рамках работы по усовершенствованию методики ГИС-подхода в ГИС-проект было включено большое количество дополнительных актуальных цифровых данных, появившихся в последнее время. Например, для Черного моря для более надежной идентификации источников загрязнения в ГИС-проект были добавлены данные о: 1) обновленной структуре НГК, 2) рейдовых и якорных стоянках, 3) прибрежной промышленности (в частности, перегрузочных терминалах, НПЗ, рыбоперерабатывающих предприятиях и т.п.), 4) местах сброса очищенной и неочищенной канализации, 5) затонувших судах, 6) основных геолого-геоморфологических элементах и структурах морского дна (особенно в районах нефтегазовыделений), 6) местах разведения марикультуры; а также архивные данные о пленочных загрязнениях моря, начиная с 2009 г.

При необходимости к такому ГИС-проекту подключаются слои (в виде карт или иных цифровых данных) прогнозного ветра и течений, реальной ледовой обстановки (для замерзающих морей), а также оперативные данные АИС и цифровые навигационные карты, из российских и международных баз цифровых данных.

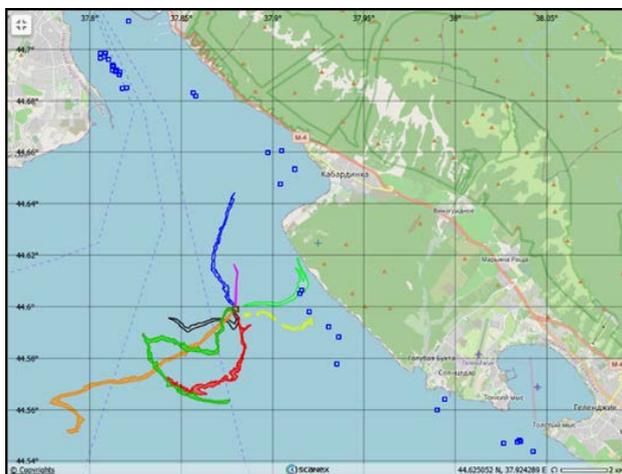


Рис. 2. Пространственно-временная группировка пятен над затонувшим пароходом «Адмирал Нахимов» в 2021 г. Синими квадратами показаны другие затонувшие суда в акватории моря между г. Новороссийск и г. Геленджик.

Так, на основе новой информации о положении затонувших судов около порта Новороссийск было установлено, что обнаруженные на РЛИ в 2021 г. при входе в Цемесскую бухту линейные пятна тяготели к затонувшему в 1986 г. пароходу «Адмирал Нахимов» – разливы находились непосредственно над судном и создавали пространственно-временную группировку пятен (рис. 2), характерную для подводного источника на дне [4].

Привлечение для верификации оптических снимков, а также всей доступной информации об особенностях акватории (данные о запрете прохода судов в районе катастрофы, о канализационных выпусках, а также о невозможности нахождения здесь природного источника), однозначно указало на происхождение найденных разливов. Позднее это подтвердили специалисты АМП Черного моря, работавшие на месте обнаружения пятен. Отметим, что разливы в районе затонувшего судна, наблюдались и в 2024г.

Вклад в общее пленочное загрязнение от разведения марикультуры, представляющее собой рыбий жир, составляет порядка 10%. Все установленные источники расположены в восточной части Черного моря, а подавляющее большинство подобных сликов (более 90%) обнаружено в территориальных водах Турции. Здесь у побережья, на участках шельфа между г. Синоп и г. Хопа, расположены рыболовные фермы, хорошо различимые как на РЛИ, так и на оптических снимках. С увеличением количества ферм, наблюдаемых в период с 2020 по 2022 гг. (с 27 до 58), соответственно увеличивалось количество пятен.

У Абхазского побережья Черного моря в зимне-весенний сезон в 2022–2023 гг. периодически наблюдались пятна большой площади (от 30–40 до 100 км<sup>2</sup>). В рамках развития ГИС-подхода после нанесения на карту объектов рыбной промышленности был однозначно установлен источник загрязнений – абхазские рыбоперерабатывающие заводы на побережье, которые сбрасывали отходы рыбопереработки в море без предварительной очистки.

В итоге, после наполнения ГИС дополнительной информацией были выделены новые источники антропогенного загрязнения моря – прибрежная марикультура, отходы рыбопереработки и затонувшие суда. Эти источники загрязнения после их верификации были также занесены в ГИС-проект, таким образом, непрерывно его обновляя.

Кроме техногенных источников загрязнений, с помощью усовершенствованного метода в рамках ГИС-подхода был выявлен ряд новых природных источников нефтепроявлений в Черном море: среди 28 установленных на акватории источников 8 были обнаружены впервые [5]. Источники естественных нефтепроявлений тяготеют к нефтегазоносным бассейнам, преимущественно располагаясь в областях грязевого вулканизма [6], поэтому для верификации обнаруженных в ходе мониторинга slickов требовалась актуальная информация о нефтегазовых бассейнах, распространении грязевого вулканизма и донных эруптивных структур на основе данных экспедиционных исследований и сейсморазведки, а также архивные РЛИ за более ранний период.

Новые естественные нефтепроявления были обнаружены в керченском предпроливье Черного моря [7], в Кизилташском лимане, в грузинском секторе (рис. 3) в пределах Гурийского прогиба мористее г. Потти (где вместе с ранее обнаруженными источниками [6] всего установлено 16 источников), в турецком секторе в акватории провинции Ризе, а также в северо-западной части в районе материкового склона в границах Одесско-Синопской разломной зоны [5].

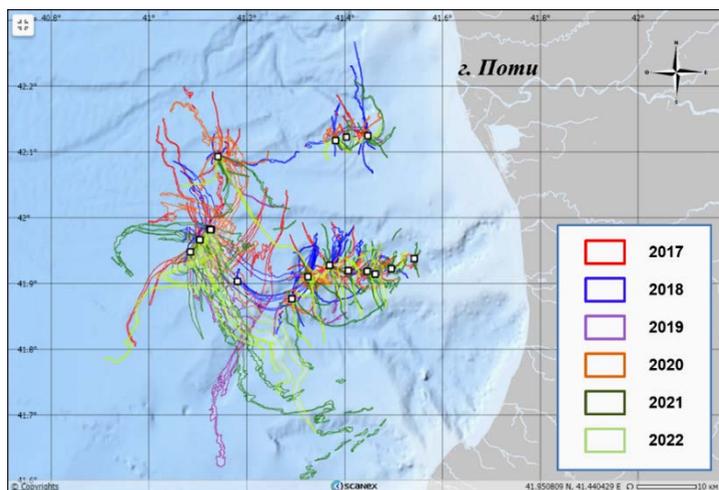


Рис. 3. Пространственно-временная группировка наиболее характерных пятен естественных нефтепроявлений в юго-восточной части Черного моря (акватория к юго-западу от г. Потти) в 2017–2022 гг.

Таким образом, показана эффективность методики геоинформационного подхода и необходимость постоянного ее совершенствования для обнаружения и идентификации пятен пленочных загрязнений и их источников путем постоянного добавления дополнительной новой цифровой информации об акватории того или иного моря. В его рамках при наличии полной физико-географической и индустриальной информации о морском бассейне источники загрязнения выделяются практически автоматически. Подобный подход можно использовать для мониторинга и исследования практически всех явлений и процессов в российских морях.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и образования России FMWE-2024-0015.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А.Ю., Затягалова В.В. Картографирование пленочных загрязнений моря с использованием космической радиолокации и географических информационных систем // Исслед. Земли из космоса. – 2007. – № 6. – С. 46–63.
2. Mehta S.P. GIS Application in Oceanography // International Journal of Scientific Research. – 2014. – V. 3. – № 1. – P. 145–147.
3. Иванов А.Ю., Потанин М.Ю., Филимонова Н.А., Евтушенко Н.В., Антонюк А.Ю. Оперативный мониторинг морских акваторий: новые геоинформационные решения и интернет технологии // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. – 2014. – Т. 2. – № 18. – С. 28–36.
4. Кучейко А.А., Иванов А.Ю., Клименко С.К., Чайка А.А., Козлова Д.С., Коваль Г.Я. Наблюдение и оперативное спутниковое сопровождение случаев аварийных нефтяных разливов и утечек в прибрежной зоне Черного моря // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26. – № 10. – С. 52–59.
5. Клименко С.К., Иванов А.Ю. Современное распределение и верификация источников естественных нефтепроявлений Азово-черноморского бассейна // Океанология. – 2025. (в печати).
6. Иванов А.Ю., Матросова Е.Р., Кучейко А.Ю. и др. Поиск и обнаружение естественных нефтепроявлений в морях России по данным космической радиолокации // Исслед. Земли из космоса. – 2020. – № 5. – С. 43–62.

7. Клименко С.К., Иванов А.Ю., Терлеева Н.В. Пленочные загрязнения Керченского пролива по данным пятилетнего радиолокационного мониторинга: современное состояние и основные источники // Исслед. Земли из космоса. – 2022. – № 3. – С. 37–54.

УДК 551.46.0, 551.461

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СБОРА И АНАЛИЗА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОГРАФИИ**

**Шмыков Н.В.<sup>1</sup>, Буланов А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток, 8(423)231-14-00 [pacdic@poi.dvo.ru](mailto:pacdic@poi.dvo.ru)*

## **AUTOMATED SYSTEM OF HYDROPHYSICAL DATA ACQUISITION AND ANALYSIS IN THE TASKS OF OPERATIONAL OCEANOGRAPHY**

**Shmykov N.V.<sup>1</sup>, Bulanov A.V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*V.I. Il'chev Pacific Oceanological Institute, 43, Baltiyskaya, Vladivostok, 690041, Russia.*

В статье рассматривается решение актуальной научно-технологической проблемы разработки и создания унифицированных отечественных средств удаленного мониторинга гидрофизических характеристик в режиме реального времени. Предполагается разработка и реализация методики для автоматической обработки и беспроводной передачи данных, получаемых с гидрофизических std-зондов, которая может быть в дальнейшем масштабирована на широкую распределенную сеть приборов.

The article deals with the solution of the urgent scientific and technological problem of development and creation of unified domestic means of remote monitoring of hydrophysical

characteristics in real time. It is supposed to develop and implement a methodology for automatic processing and wireless transmission of data obtained from hydrophysical ctd-probes, which can be further scaled to a wide distributed network of instruments.

**Ключевые слова:** ctd, SBE-37, Rinko, ESP32-C3, валидация данных.

**Key words:** ctd, SBE-37, Rinko, ESP32-C3, data validation.

При проведении натурных наблюдений в океане широко используются зондирующие CTD-комплексы, регистрирующие несколько гидрологических характеристик. В частности, электропроводность (Conductivity), температуру (Temperature) и давление (или глубину, Depth). Однако эксплуатация этих приборов с борта дрейфующего судна не обеспечивает заявленной точности измеряемых величин. На качество CTD-данных оказывают влияние методические погрешности измерения, определяемые сложными условиями проведения натурального эксперимента и инструментальные, обусловленные характеристиками зонда и стратификацией морской среды. В связи с этим, улучшение возможности оперативной океанографии возможно реализовать при решении следующих проблем:

1. Утилитарная прикладная проблема. Получение информации о гидродинамических полях и термохалинной стратификации как прибрежных акваторий, так и отдельных бассейнов Мирового океана в режиме реального времени является одной из национальных задач технологического суверенитета Российской Федерации. На данный момент существует ограниченное количество беспроводных средств обмена данными CTD-зондов. Проблема осложняется тем, что широко используемые приборы являются разработкой и производятся «недружественными» странами.
2. Научная проблема. Данные, получаемые в полевых условиях непосредственно с приборов («сырые» данные), нельзя использовать для анализа термохалинной стратификации вод. Обработка данных с необходимостью включает фильтрацию шума, учет качки судна и инерционности ctd-зонда, а также инерционность охлаждения корпуса прибора. Все современные ctd-зонды требуют профессиональную ручную постобработку в лабораторных условиях.

В данной работе, для решения проблем, указанных выше,

показана модернизация океанологического зонда Seabird SBE37. Для хранения и удаленного управления был интегрирован микроконтроллер ESP32-C3 со встроенным Wi-Fi модулем внутрь зонда. Преобразователь MAX232 позволил управлять измерением температуры и солености по последовательному порту RS-232. Часы реального времени DS3231 позволили исключительно точно измерять и, в дальнейшем, валидировать результаты зондирования.



Рис. 1. Фотография внутренней части зонда

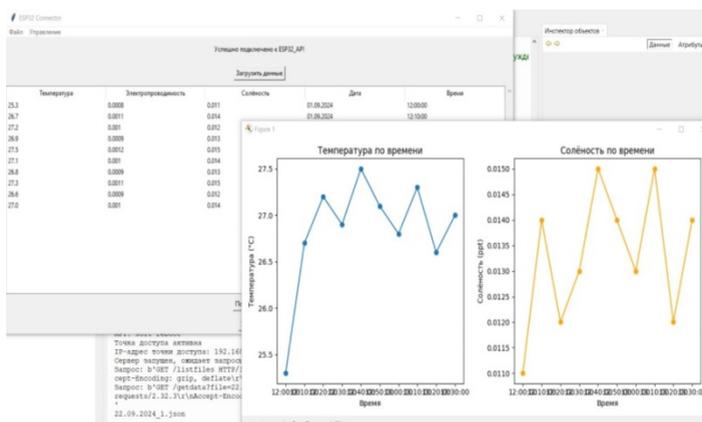


Рис. 2. GUI (Graphical user interface) для взаимодействия с зондом SBE-37

Разработанный программный комплекс позволяет удаленно управлять включением и остановкой записи данных, синхронизацией времени с локальным временем десктопа оператора, загрузкой данных в формате json и csv, построением графиков температуры и солености по «сырым данным» в режиме реального времени [1].

В рамках валидации данных был реализован эксперимент во время 90 рейса на НИС «Профессор Академик Гагаринский». Суть его состояла в следующем: при зондировании с помощью зонда Rinko JFE ADVANTECH термохалинной стратификации до максимальной глубины фотического слоя Японского моря (порядка 60 м), одновременно также использовался модернизированный зонд Seabird SBE-37.

Сравнительные графики термохалинной структуры с зондов представлены на Рис. 3 и Рис.4 соответственно

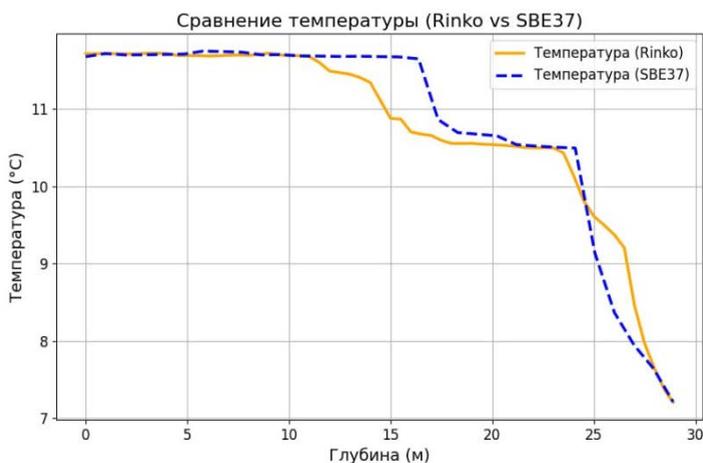


Рис. 3. График зависимости температуры от глубины для Rinko и SBE-37



Рис. 4. График зависимости солёности от глубины для Rinko и SBE-37

В ходе данного исследования был проведён сравнительный анализ данных о термохалинной структуре водной тощи, полученных с помощью двух зондов – SBE-37 и Rinko – при погружении до глубины 60 м. Несмотря на различия в методах и алгоритмах первичной обработки, результаты обоих приборов в целом согласуются и позволяют судить о существовании выраженной термохалинной стратификации.

Анализ выявил ряд участков по глубине, где наблюдаются наибольшие расхождения в измерениях. Данные несоответствия могут быть обусловлены калибровочными особенностями, наличием шумов или пропусками в наборе значений, что актуализирует задачу более точной фильтрации и коррекции данных в режиме реального времени. Показано, что для решения подобных задач целесообразно привлекать нейросетевые методы, позволяющие эффективно справляться с некорректными измерениями и восстанавливать пропущенные фрагменты данных. В частности, нейронные сети доказали свою эффективность в задачах моделирования физических характеристик (см. [2]).

Таким образом, итогом настоящей работы стало не только демонстрация согласованности измерений с помощью SBE-37 и Rinko

при изучении термohалинной структуры, но и обоснование перспективы применения в океанологических исследованиях методов машинного обучения. В дальнейшем планируется расширить зону исследований, включая более глубокие горизонты, а также протестировать различные архитектуры нейронных сетей для калибровки и фильтрации зондовых данных. Такой синергетический подход позволит более полно описывать термohалинную динамику в различных акваториях и реализовывать оперативные системы мониторинга на базе больших массивов океанографической информации.

Работа выполнена при поддержке Гос. темы «Организация комплексного океанографического мониторинга дальневосточных акваторий гидрофизическими, оптическими и акустическими методами», науч. рук. Буланов А.В. (2024-2026 гг.). Регистрационный номер: 124042300003-5.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. «MicroZond»: Свидетельство № 2024691397 / Буланов А.В., Шмыков Н.В. – з. № 2024690512, зарег. 05.12.2024 и опубл. 20.12.2024
2. Bhoopal, R. S. Modelling of effective thermal conductivity: A comparison of artificial neural networks and theoretical models [Электронный ресурс] / R. S. Bhoopal, M. Tripathi, P. K. Sharma, R. Singh. – 2015. – Режим доступ: [https://www.researchgate.net/publication/277477234\\_Modelling\\_of\\_effective\\_thermal\\_conductivity\\_A\\_comparison\\_of\\_artificial\\_neural\\_networks\\_and\\_theoretical\\_models](https://www.researchgate.net/publication/277477234_Modelling_of_effective_thermal_conductivity_A_comparison_of_artificial_neural_networks_and_theoretical_models) (дата обращения: 27.12.2024)

**ОСОБЕННОСТИ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И  
ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ  
СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ШЕЛЬФА  
КРЫМА В 2024 ГОДУ**

**Пронин А.А.<sup>1</sup>, Хортов А.В.<sup>1</sup>, Мутовкин А.Д.<sup>1</sup>, Дерюшкин Д.В.<sup>2</sup>,  
Щербаченко С.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширишова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, pronin@ocean.ru*

<sup>2</sup> *Морской гидрофизический институт Российской академии наук,  
Севастополь, ул. Капитанская, 2*

**FEATURES OF NAVIGATION SUPPORT AND PRIMARY  
PROCESSING OF DATA FROM SEISMOACOUSTIC RESEARCH OF  
THE CRIMEAN SHELF IN 2024**

**Pronin A.A.<sup>1</sup>, Khortov A.V.<sup>1</sup>, Mutovkin A.D.<sup>1</sup>, Deryushkin D.V.<sup>2</sup>,  
Shcherbachenko S.V.<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup> *Marine Hydrophysical Insnituteof Russian Academy of Sciences, 2,  
Kapitanskaya Str.299011, SevastopolRussian Federation*

В статье представлены особенности технологии экспедиционных работ по сейсмоакустическому профилированию толщи донных отложений выполненных в 131 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» с учетом не корректной работы приемников космических навигационных систем.

The article presents the features of the technology of expeditionary work on seismoacoustic profiling of the thickness of bottom sediments carried out during the 131st cruise of the research vessel Professor Vodyanitsky, taking into account the incorrect operation of the receivers of space navigation systems.

**Ключевые слова:** геофизическая съёмка дна, сейсмоакустическое профилирование, шельф, космические навигационные системы, координатная привязка профилей.

**Key words:** geophysical bottom survey, seismoacoustic profiling, shelf, space navigation systems, coordinate referencing of profiles

В 131 рейсе научно-исследовательского судна (НИС) «Профессор Водяницкий» в мае-июне 2024 г. были выполнена геофизическая съёмка донных отложений методом непрерывного сейсмического профилирования (НСП). Работы выполнялись на участке шельфа и материкового склона Крыма от мыса Сарыч до мыса Чауда [1]. Схема выполненных сейсмоакустических профилей представлена на рис. 1. Их общая протяженность составляет более 337 морских миль.

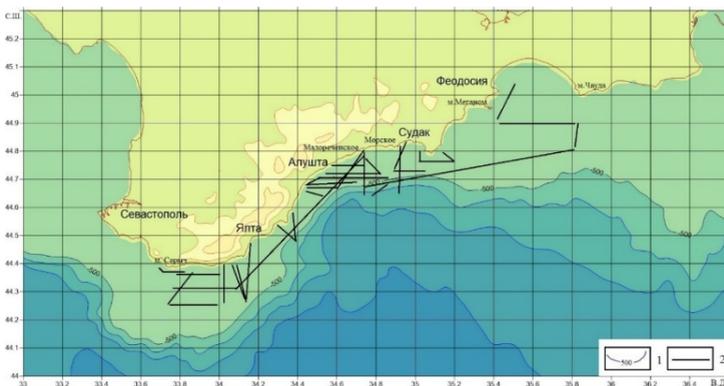


Рис. 1. Схема сейсмоакустических профилей 131 рейса НИС «Профессор Водяницкий». Условные обозначения: 1-изобаты; 2- линии сейсмоакустических профилей

Метод непрерывного сейсмического профилирования (НСП) с применением электроискрового источника хорошо известен и неоднократно описан в литературе [2, 3, 4], в том числе применительно к методике наших работ на НИС «Профессор Водяницкий», поэтому нет нужды описывать его еще раз. Следует отметить, что условия проведения морских экспедиционных работ летом 2024 в прибрежных водах Крыма, существенно отличались от условий работы, которые существовали ранее. Прежде всего, это относится к методике навигационного обеспечения исследований. Если раньше отсутствие корректного приема сигнала средствами космических навигационных систем (КНС) было редким исключением, то 131 рейсе, отсутствие навигационных данных от КНС, стало скорее правилом. Это обстоятельство потребовало коренного изменения организации процесса фиксации навигационных

данных.

Большой вклад в решении возникшей проблемы внесли сотрудники отряда Морского гидрофизического института, имеющие большой опыт морских экспедиционных работ на НИС «Профессор Водяницкий». Был организован сбор навигационных данных от мобильных (носимых) приемников КНС, которые располагались в различных частях судна. Периодически (через 15 минут) производился обход судна для контроля функционирования приемников КНС с фотофиксацией показаний приемников, имеющих дисплеи с индикацией текущих данных. Данные с приемников КНС, не имеющих индикации текущих координат получали по завершения работ в виде текстового файла с привязкой координат по времени. Так же сохранялся сбор данных судовой навигационной системы в гидрофизической и геофизических лабораториях.

В случаях, когда не один из приемников КНС не давал достоверных координат, использовалась привязка пути судна методом обратных засечек, с помощью репитеров навигационного судового гирокомпаса, штатно установленных на крыльях мостика НИС «Профессор Водяницкий» (в случае хорошей видимости береговых ориентиров) или с помощью штатной навигационной радиолокационной станции (РЛС) MDC 7012P (при удалении от береговой линии). РЛС MDC 7012P работает на частоте 9410 Мгц и снабжена антенной RW 701A-06 с горизонтальной поляризацией и углом охвата  $1.2^\circ \times 22^\circ$ , соответственно в вертикальной и горизонтальных плоскостях.

В этих условиях, необходимым элементом навигационного обеспечения съёмочных работ является ведение прокладки пути судна на рабочем планшете (навигационной карте). В наших работах в 131 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» для ведения прокладки пути судна и его архивирования использовалась доступная программа Open CPN 5.2.4 с открытым доступом. Вид рабочего окна программы с примером прокладки выполненных галсов представлен на рисунке 2.

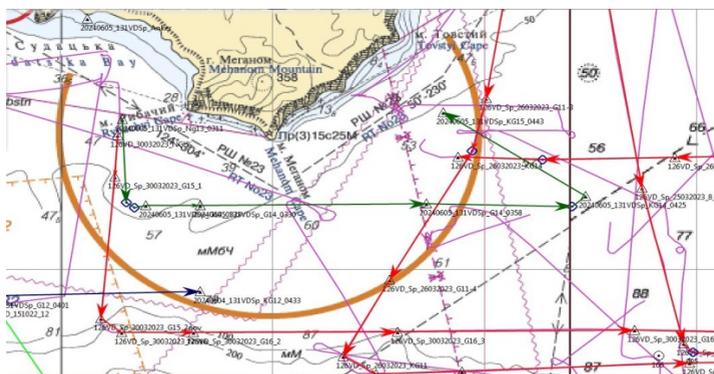


Рис. 2. Пример рабочей навигационной карты с построенной схемой расположения галсов 13, 14 и 15, выполненных 05.06.2024 (темно-зеленый цвет) в районе м. Меганом. Красным цветом показаны профили выполненные в предыдущих рейсах, фиолетовым – переходы судна с другими работами.

Так же потребовал коррекции вид представляемых данных результатов сейсмоакустического профилирования. В обычных условиях программа сбора и отображения данных выводит геофизический профиль вдоль верхней рамки которого указано время GMT и соответствующие ему координаты, полученные от приемника КНС. В случае не корректных данных КНС на профиле отсутствуют координаты, а в худшем случае представлены координаты не соответствующие действительности.

Для исправления этого недостатка был использован прием известный в практике гидрографических работ прежних лет как «разноска координат». С помощью этого приема по эхограммам на бумаге определялись координаты характерных точек рельефа. Суть его заключается в интерполировании значений между известными точками определений. В нашем случае, для каждого конкретного профиля, вычислялись широта и долгота через определенные, равные промежутки времени. Результаты этих вычислений наносились в виде соответствующих шкал на сейсмоакустические профили при постобработке данных в программе «Surfer» по методике являющейся развитием методики, описанной в [4].

На рисунке 3 представлен один из полученных профилей с добавленными навигационными данными.

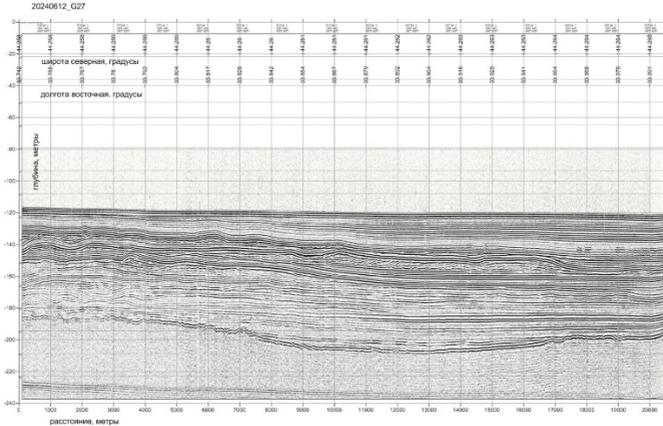


Рис. 3. Пример представления данных сейсмоакустического профилирования после технической постобработки.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0024).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Завершился 131 рейс НИС «Профессор Водяницкий». [Электронный ресурс]. URL: [https://mhi-ras.ru/news/news\\_202406211715.html](https://mhi-ras.ru/news/news_202406211715.html)
2. Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю. «Сейсмоакустические исследования при инженерных изысканиях на акваториях» // Геофизика. № 3. 2018. С.10-16.
3. Мутовкин А.Д., Пронин А.А., Хортов А.В. Сейсмоакустические исследования плейстоцен-голоценовых отложений Крымско-Керченского шельфа // В сборнике: Геология морей и океанов. Материалы XXIV международной научной конференции (школы) по морской геологии. 2022. С. 295-298. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2022.50(1).13
4. Пронин А.А. Технические аспекты постобработки материалов акустического профилирования толщи донных отложений. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 12 (часть 1). С. 44-49. DOI: 10.17513/mjpf.12951.
5. Римский-Корсаков Н.А., Бурдиян Н.В., Пронин А.А., Мутовкин А.Д., Лесин А.В., Тихонова Н.Ф. Технология и результаты геолого-геофизических исследований в 116 рейсе НИС «Профессор Водяницкий» // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. –2021. № 11. С.81-86. DOI: [10.17513/mjpf.13317](https://doi.org/10.17513/mjpf.13317)

6. Пасынков А.А., Вахрушев Б.А. Факторы и критерии морфоструктурного районирования и основные типы морфоструктур северо-запада Черного моря // Геоморфология. 2019. №3. С.68-82. DOI:10.31857/S0435-42812019368-82
7. Пасынкова Л.А. Каньоны континентального склона Черного моря. Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского Серия «География». 2013. Том 26 (65). № 3. С. 260-266.
8. Хортов А.В., Римский-Корсаков Н.А., Пронин А.А., Мутовкин А.Д. Сейсмостратиграфические исследования крымского шельфа методом непрерывного сейсмоакустического профилирования // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 512. № 2. С. 295-301. DOI: 10.31857/S2686739723601023
9. Шельтинг С.К., Шейков А.А., Прокопцева С.В. О механизмах формирования складчатости и грязевого вулканизма в прогибе Сорокина. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2023. Т. 8. №3. С.62-72. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2023-8-3-62-72>.
10. Малахова Т. В., Малахова Л. В., Мурашова А. И. и др. Мониторинг мелководных сипов у мыса Фиолент (Черное море) // Океанология, 2023. т. 63, № 1. С. 135-148. DOI: [10.31857/S0030157423010082](https://doi.org/10.31857/S0030157423010082)

УДК 551.46.071: 519.683.2

## **РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО АРХИВА МОРСКИХ ГЕОМАГНИТНЫХ ДАННЫХ**

**Запотько В.С., Пальшин Н.А., Иваненко А.Н., Свиридов С.А.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, 8(495)380-41-50, [zapotytko.vs@ocean.ru](mailto:zapotytko.vs@ocean.ru)*

### DEVELOPMENT OF A DIGITAL ARCHIVE OF MARINE GEOMAGNETIC DATA

Zapotytko V.S., Palshin N.A., Ivanenko A.N., Sviridov S.A.

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

В докладе представлен цифровой архив морских геомагнитных данных, обеспечивающей каталогизацию, хранение и поиск данных геомагнитных исследований, выполненных в

экспедициях. Рассматривается разработанная структура цифрового архива и описание метаданных, представлена схема организации архива.

The report presents a digital archive of marine geomagnetic data, providing cataloging, storage and search of geomagnetic research data carried out during expeditions. The developed structure of the digital archive and description of metadata are considered, and a diagram of the archive organization is presented.

**Ключевые слова:** цифровой архив морских геомагнитных данных, программный комплекс MATROS-IV, база данных

**Key words:** digital archive of marine geomagnetic data, MATROS-IV software package, database

Институт океанологии им. П. П. Ширшова в 70–90-х годах выполнил большой объем морских геомагнитных измерений в различных регионах Мирового океана и внес существенный вклад в изучение магнитных аномалий в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах, а также в Средиземном море [1, 2]. После длительного перерыва в 2020 г. были возобновлены регулярные геомагнитные исследования в Атлантическом океане и был получен большой объем новых геомагнитных данных [2], в результате чего возникла задача создания цифрового архива геомагнитных данных, полученных в рейсах Института океанологии, обеспечивающего оперативный поиск и выборку данных с визуализацией геомагнитных профилей на экране компьютера.

Лаборатория геофизических полей совместно с Отделом информационных и вычислительных ресурсов ИО РАН приступила к решению поставленной задачи на основе имеющихся наработок, достигнутых в прошлые годы [3–6] и в последнее время [7].

Учитывая принципы описания метаданных, сформированные в ИС ODBASE [3–5, 7] на основе стандарта ГОСТ, для геомагнитных данных были разработаны описания метаданных, заложенных в ПО МАТРОС-IV. Для формирования имен папок и файлов была принята следующая номенклатура: Vnn, где V – код судна, nn – номер рейса. Используются следующие коды судов: нис Академик Николай Страхов – S, НИС «Академик Сергей Вавилов» – V, НИС «Академик Йоффе» – I, НИС «Академик М.А. Лаврентьев» – L, НИС «Академик Борис Петров» – P. Полигоны кодируются латинскими буквами: A, B, C. Например, данные, полученные в 53 рейсе НИС «Академик

Николай Страхов», хранятся в папке S53, которая в свою очередь содержит папки S53A и S53B, а которых находятся данные, относящиеся соответственно к первому и ко второму районам исследования. При описании имен файлов, содержащих обработанные магнитные данные, полученные на отдельных галсах, имя файла дополняется двухзначным номером галса, например, S53A05. Нумерация галсов ведется отдельно для каждого района исследования. Если фрагмент съемки состоит из нескольких галсов, это отражается в названии папки, например, S53B01-04.

На рис. 1 приведена обобщенная схема организации архива геомагнитных данных ИОРАН. Количество полигонов может отличаться от рейса к рейсу, в зависимости от научной программы рейса.



Рис. 1. Схема организации архива геомагнитных данных ИОРАН

После предварительной обработки, как и первичные данные, результаты также хранятся в хронологическом порядке. Для непосредственного использования этих данных необходимо знать

специализированное ПО «МАТРОС-IV», что в целом затруднительно для выполнения оперативной работы, поэтому для удобства использования архива был разработан простой способ хранения данных и соответствующие программы конвертирования данных. Основной принцип состоит в том, что при конвертации данные измерений профилей раскладываются в отдельные файлы в ASCII формате, которые содержат: универсальные дата и время измерения; курс судна; скорость судна; долгота (датчика); широта (датчика); глубина буксировки датчика; расстояние от начала профиля; полное значение измеренного магнитного поля; вычисленное аномальное магнитное поле. Кроме того, добавляются метаданные о профиле и дополнительные файлы, содержащие всю необходимую информацию о профиле: название судна; название объекта или полигона; длина буксировочного кабеля; модель нормального поля; тип магнитометра; время и координаты начала профиля; время и координаты конца профиля; длина профиля. Разработанная схема организации архива морских магнитных данных позволили интегрировать обработанные данные в табличном формате в интерактивную Информационную систему ODBASE, разработанную в Отделе информационных и вычислительных ресурсов ИОРАН (Запотьылко и др., 2024). Однако ИС ODBASE для хранения геомагнитных данных не подходила, поскольку измерения выполнялись не в точке, а на ходу судна. Поэтому для учета движения судна–носителя прибора, непрерывно измеряющего параметры среды, была создана новая таблица профилей геомагнитных данных в которой хранятся данные, получаемые в процессе съемки профиля. Причем в поле временного штампа хранится не одно значение как в таблице станций в системе [7], а массив значений, каждое из которых является меткой на выполненном профиле данных с интервалом в одну минуту. Кроме того, введен новый тип данных WKB – LINESTRIN, представляющий собой ломанную кривую построенную на пространственных координатах точек профиля. Каждому профилю добавлялся файл с описанием в формате JSON.

На рис. 2 представлен пример отображения геомагнитных профилей, выданных по запросу системой ODBASE.

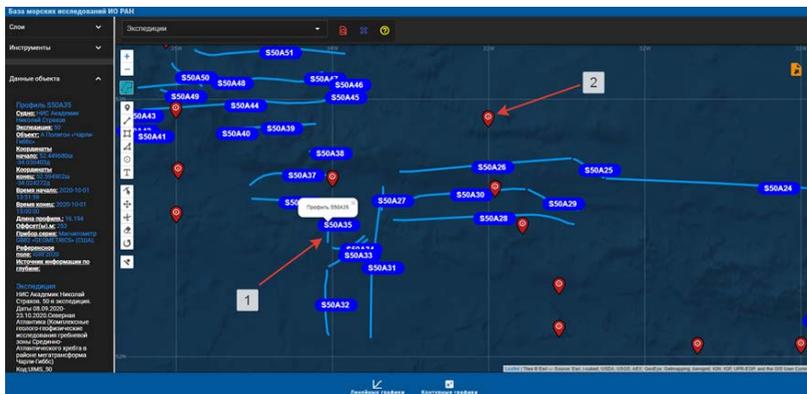


Рис. 2. Пример отображения геомагнитных профилей (галсов)

### Выводы

В результате создания цифрового архива геомагнитных данных и его интеграции в информационную систему ODBASE получен новый инструмент для хранения и отображения данных морских геомагнитных измерений, открывший новое качество представления данных в цифровом виде.

В систему ODBASE внедрен новый тип данных, позволяющих описывать и хранить натурные измерения, выполненные по ходу движения судна (пространственные данные типа LINestring), что позволило интегрировать данные геомагнитных измерений в базу данных информационной системы ODBASE с последующим их поиском и отображением и открыло возможность добавления и других аналогичных результатов измерений, таких, например, как данные термосолинографа, судового измерителя течений и метеостанции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев И. И., Валяшко Г. М., Иваненко А. Н. и др. Магнитное поле океана. М. Изд-во Наука, 1993. 304 с.
2. Пальшин Н.А., Иваненко А.Н., Городницкий А.М., Брусиловский Ю.В., Веклич И.А., Шишкина Н.А. Геомагнитные исследования в Северной Атлантике // Океанология. 2023. Т. 63. № 5. С. 796–812. DOI: 10.31857/S0030157423050131, EDN: PWDMT0).
3. Осипенко М. В., Свиридов С. А., Соловьев В. А., Утяков Л. Л., Филипчук Ю. Б. Об использовании технологий хранилищ данных для обработки океанологической информации // Современные методы и средства океанологических исследований: Сб. трудов VII Международной. науч.-техн. конференции МСОИ-2001. М.: ИО РАН, 2001. С. 87–88. EDN: YZGUOL.

4. Метальников А.А., Осипенко М.В., Свиридов С.А., Соловьев В.А., Утяков Л.Л., Филипчук Ю.Б. Структура хранилища и формат исследовательских данных по океанологии // Сб. трудов VIII Международной конференции МСОИ. М.: ИО РАН, 2003. С. 273–293. EDN: EJIZIK.
5. Метальников А.А., Осипенко М.В., Свиридов С.А., Соловьев В.А., Утяков Л.Л., Филипчук Ю.Б. Структура хранилища и формат исследовательских данных по океанологии // Сб. трудов VIII Международной конференции МСОИ. М.: ИО РАН, 2003. С. 273–293. EDN: EJIZIK
6. Свиридов С. А., Пальшин Н. А., Соловьев В. А., Зарецкий А. В., Метальников А. А. Стационарный комплекс для долговременных измерений океанологических параметров в реальном масштабе времени // Океанология. 2010. Т. 50. №. 1. С. 151–160. DOI: 10.1134/s0001437010010169.
7. Запотьылко В. С., Попов А. П., Свиридов С. А., Римский-Корсаков Н. А. ODBASE – система хранения и отображения данных морских исследований Института океанологии РАН // Океанологические исследования. 2024. No 52 (2). С. 206–233. [https://doi.org/10.29006/1564–2291.JOR-2024.52\(2\).11](https://doi.org/10.29006/1564–2291.JOR-2024.52(2).11)

УДК 004.65

**СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО АТЛАСА ЯДЕРНО- И  
РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ (ЯРОО),  
ЗАТОПЛЕННЫХ/ЗАТОНУВШИХ В МОРЯХ АРКТИЧЕСКОЙ  
ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Кикнадзе О.Е., Королев С.А., Скотаренко Д.А.**

*НИЦ „Курчатовский институт“, 123182, Москва, пл. Академика  
Курчатова, д. 1, +7 (499) 196–95–39, nrcki@nrcki.ru*

CREATION OF A DIGITAL ATLAS OF NUCLEAR AND RADIATION  
HAZARDOUS OBJECTS (NRHO) DROWNED/SUNKEN IN THE SEAS  
OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Kiknadze O.E., Korolev S.A., Skotarenko D.A.

*National Research Centre "Kurchatov Institute", 123182, Russia, Moscow,  
Kurchatov Square, 1*

В статье приводятся результаты создания цифрового Атласа

ядерно- и радиационно опасных объектов (ЯРОО), затопленных/затонувших в морях Арктической зоны Российской Федерации, предназначенного для просмотра, систематизации, хранения и обработки информации о текущей и архивной радиационной обстановке в Арктике.

The article presents the results of the creation of a digital Atlas of nuclear and radiation hazardous objects (NRHO) drowned/sunken in the seas of the Arctic zone of the Russian Federation, designed for viewing, systematizing, storing and processing information on the current and archival radiation situation in the Arctic.

**Ключевые слова:** ЯРОО, Арктика, систематизация данных, хранение данных, радиационная обстановка, программа для ЭВМ

**Key words:** NRHO, Arctic, data systematization, data storage, radiation situation, computer program

Авторы доклада представляют результаты создания программы для ЭВМ «Цифровой Атлас ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО), затопленных/затонувших в морях Арктической зоны Российской Федерации», а также планы по ее дальнейшему развитию.

Работы по созданию цифрового Атласа выполнялись в 2024 году, в рамках выполнения контрольных точек Паспорта комплекса процессных мероприятий 47 4 02 «Проведение прикладных научных исследований по широкому спектру направлений» государственной программы «Научно технологическое развитие Российской Федерации», утвержденных Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Цифровой Атлас представляет собой информационную систему, обеспечивающую хранение, обработку и анализ данных по затоплению радиоактивных отходов (РАО), а также обобщенных результатов всех экспедиционных работ, проводившихся по обследованию ядерно- и радиационно опасных объектов (ЯРОО).

Создание системы было направлено на решение следующих задач:

- объединение информации по РАО, затопленным в Арктике, полученной различными организациями в разные годы;
- повышение надежности хранения информации;
- повышение удобства использования информации по РАО, затопленным в Арктике;
- возможность организации запросов к информации для ее обработки и анализа;
- предоставление сведений об инструментах,

применявшихся в измерениях.

Цифровой Атлас состоит из нескольких программных модулей и компонентов. На рис. 1 приведена принципиальная схема компонентов цифрового Атласа ЯРОО и их взаимодействия.



Рисунок 1 – Компоненты цифрового Атласа ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО), затопленных/затонувших в морях Арктической зоны Российской Федерации

В настоящий момент система размещена на серверном кластере НИЦ «Курчатовский институт» и запущена в опытную эксплуатацию.

Возможные сферы использования цифрового Атласа:

- как единую систему информационного сопровождения работ по проведению радиоэкологического мониторинга акваторий Арктики и затопленных/затонувших объектов с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами;

- как научно-информационное обеспечение для подготовки Программ-методик обследования конкретных затопленных/затонувших ЯРОО;

- для планирования экспедиционных работ по обследованию акваторий и мест затопления подводных потенциально опасных объектов (ПШОО) с учетом результатов проведенных ранее исследований, включая выбор оптимальных технических средств обследования;

- как межведомственный инструмент хранения и обработки информации по РАО, затопленным в Арктике, позволяющий объединить архивные данные, накопленные в различных организациях и ведомствах.

Работа выполнена в рамках выполнения приказа №5483 от 27.12.2024 г. Обобщение результатов экспедиционных работ, проводившихся по обследованию радиационно опасных объектов (ЯРОО) частично выполнялось при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-17-00156).

# ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТЫ, ПРИБОРНАЯ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

УДК 608.2

## РАЗРАБОТКА, СОЗДАНИЕ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦА ПРИБОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ БАЛАНСА БЕЛОГО ПРИ ПОДВОДНОЙ СЪЕМКЕ В ВИДИМОМ ДИАПАЗОНЕ

**Мясникова А.И.**

*Московский физико-технический институт, Институтский пер., 9,  
Долгопрудный, Московская обл., 141701,  
8(495)408-45-54, info@mipt.ru*

## DEVELOPMENT, DESIGN AND THE TECHNICAL CHARACTERISTICS CONFIRMATION OF A PROBE FOR WHITE BALANCE CONTROL DURING UNDERWATER VIDEO SHOOTING IN THE VISIBLE RANGE

Miasnikova A.I.

*Moscow Institute of Physics and Technology, 9 Institutskiy per.,  
Dolgoprudny, Moscow Region, 141701*

В докладе рассматривается прибор для контроля баланса белого во время подводной съёмки. Полученные прибором данные позволят корректировать цвет изображений на основе оптических свойств воды в акватории во время съёмки.

The report examines a device for white balance controlling during underwater photography. The data obtained by the device will allow to adjust the images color of based on the state of the water area during shooting.

**Ключевые слова:** подводные устройства, видеосъёмка, фотосъёмка, обработка фото и видео, коррекция цвета

**Key words:** underwater devices, video shooting, photography, photo and video processing, color correction

В настоящее время для исследования морских экосистем применяются технологии съёмки высокого разрешения в видимом диапазоне с использованием фото и видео камер общего назначения. В подобных камерах не предусмотрен контроль состояния среды, сквозь которую проходит фиксируемый КМОП-матрицей свет. Наличие взвешенных в толще воды частиц и микроорганизмов приводит к неизбежному искажению истинного цвета объектов съёмки на изображениях. Контроль баланса белого во время фото- и видео- съёмки позволит получить параметры для выполнения цветовой корректировки исходных изображений. При проведении съёмки контроль баланса белого затруднен ввиду отсутствия в естественной подводной среде объектов нейтральных цветов (оттенков серого). В связи с этим была поставлена задача разработки устройства, функционирующего параллельно с основной камерой, для определения параметров баланс белого при данных условиях съёмки.

На рис. 1 приведен макет прибора, реализующий прямой контроль баланса белого. Компоненты макета: источник света (1), камера raspberry pi camera v2 (2) [5], белая пластина (3), модуль обработки данных и записи во внутренний накопитель, а именно Raspberry Pi 4 (4) [4]. Используемая среда – подкрашенная вода (5).



Рис. 1. Макет прибора

Метод корректировки баланса белого, применимый в макете состоит из следующих этапов: калибровка, обработка изображения. Ниже описаны каждый из этапов.

Калибровка макета:

- Получены компоненты RGB истинного черного (ИЧ), чтобы уменьшить шум КМОП-матрицы. На камеру надевалась светонепроницаемая крышка и производилась съемка. Полученные компоненты RGB сохранились на устройстве для использования в дальнейших расчетах.
- Получены компоненты RGB эталонного белого (ЭБ). Съемка была произведена через дистиллированную воду. На фиксированном расстоянии от камеры устанавливалась белая калибровочная пластина, затем производилась съемка. На изображении вырезалась маска, захватывающая центральный участок пластины. Из маски извлекались калибровочные компоненты RGB и сохраняются на устройстве для использования в дальнейших расчетах.

Обработка изображения:

- Получено скорректированное изображение. Съемка была произведена через подкрашенную воду. На том же расстоянии от прибора, при котором выполнялась калибровка, устанавливалась белая пластина. Производилась съемка целевого изображения и извлекались коэффициенты RGB из него (ЦИ). Вырезалась маска центрального участка пластины. RGB компоненты маски (К) нормировались с учетом истинного черного и эталонного белого цветов и применялась ко всему изображению по формуле:

$$(ЦИ - ИЧ) * ((ЭБ - ИЧ) / (К - ИЧ))$$

В макете метод реализован на языке программирования Python [2] с использованием OpenCV [1] и NumPy [3].



Рис. 2. Сравнительные фото до (фото слева) и после (фото справа) корректировки баланса белого

На рис. 2 приведен пример фото до и после корректировки

баланса белого. Коэффициенты RGB изменились с (138.53, 159.86, 127.58) на (234.21, 225.69, 218.02). В данном случае применялись коэффициенты истинного черного – (0.00, 0.02, 0.00), эталонного белого – (234.75, 226.21, 218.44).

По результатам конструкторско-доводочных испытаний макета прибора, были подтверждены технические характеристики, дающие основание продолжить работу над созданием экспериментального образца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. OpenCV: OpenCV modules [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.opencv.org/4.5.5/> (дата обращения: 27.11.2024).
2. Welcome to Python.org // Python.org [Электронный ресурс]. URL: <https://www.python.org/> (дата обращения: 27.11.2024).
3. NumPy [Электронный ресурс]. URL: <https://numpy.org/> (дата обращения: 27.11.2024).
4. Raspberry Pi: Raspberry Pi 4 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/> (дата обращения: 29.11.2024).
5. Raspberry Pi: Raspberry Pi Camera Model 2 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.raspberrypi.com/products/camera-module-v2/> (дата обращения: 29.11.2024).

УДК 004.85

### МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОИСКА ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ГИДРОАКУСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

**Смирнов И.А., Судаков Н.В.**

*ФГУП «ЦНИИХМ», 115487, Москва, ул. Нагатинская 16а,  
8(499)611-51-29, mail@cniihm.ru*

METHODOLOGY FOR SOLVING THE PROBLEM OF AUTOMATED  
SEARCH FOR UNDERWATER OBJECTS BASED ON  
HYDROACOUSTIC DATA

*Smirnov I.A., Ph.D. in Technical Science Sudakov N.V.*

*Federal State Unitary Enterprise « The Central Research Institute of Chemistry*

*and Mechanics», 115487, Moscow, Nagatinskaya st. 16a,  
8(499)611-51-29, mail@cniihm.ru*

Работа посвящена автоматизации процессов поиска и классификации подводных целевых объектов с использованием малого набора исходных данных. Методика построена с применением математического аппарата искусственной нейронной сети (обучение с учителем) и гидролокатора бокового обзора.

The work is devoted to the automation of the processes of searching and classifying underwater target objects using a small set of initial data. The method is built using the mathematical apparatus of an artificial neural network (Supervised learning) and a side-scan sonar.

Поиск и классификация подводных объектов на сегодняшний день чаще всего проводится с применением гидроакустических систем, а обработка полученных данных осуществляется человеком. Сложность и трудоемкость выполнения перечисленных задач традиционными методами крайне высока, а существующего объема гидроакустических данных недостаточно для полноценного машинного обучения [1].

Целью работы является автоматизация процессов поиска и классификации подводных целевых объектов с использованием малого набора исходных данных.

Методика построена с применением математического аппарата искусственной нейронной сети (обучение с учителем) и гидролокатора бокового обзора. Обучение и верификация проведены на протяженных и локальных подводных объектах.

Методика реализует выполнение цикла машинного обучения и состоит из следующих этапов:

- анализ обстановки;
- моделирование цифрового полигона миссии;
- обучение модели нейронной сети;
- проверка результатов обучения.

**Анализ обстановки.** Качество и точность работы искусственной нейронной сети (ИНС) напрямую зависит от степени соответствия обучающего набора данных реальной обстановке в ходе выполнения миссии.

При работе в одной и той же акватории с заданной цикличностью (патрулирование и осмотр одной акватории), обучение ИНС можно проводить по реальным данным, полученных по

результатам первых погружений. При отсутствии достаточного объема реальных данных, точно отражающих подводную обстановку, можно их синтезировать путем моделирования цифрового полигона, добываясь высокой степени схожести.

Важными факторами, влияющими на точность обнаружения, являются характер рельефа донной поверхности и целевые объекты (Рис. 1). Существенной особенностью является то, что целевые объекты (ЦО) могут быть заилены, произвольно ориентированы и частично быть в «мертвой» зоне гидролокатора или зоне гидроакустической тени.

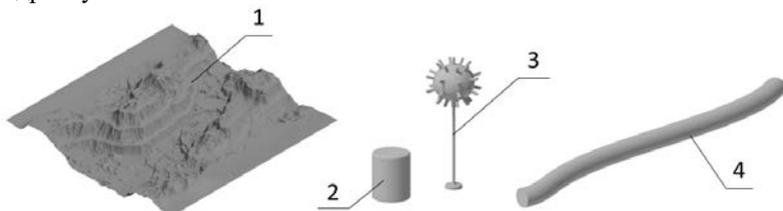


Рис. 1. Ключевые факторы подводной обстановки:  
1 – рельеф донной поверхности, 2 и 3 – локальные ЦО, 4 –  
протяженный ЦО.

Результатом анализа обстановки является формирование перечня факторов, используемых при построении цифрового полигона: рельеф донной поверхности, вид искомым целевых объектов, их количество, взаимное расположение и ориентация друг относительно друга и рельефа.

**Моделирование цифрового полигона миссии** осуществляется по следующей последовательности действий: создание трехмерной сцены окружения, имитация работы гидролокатора бокового обзора, формирование набора обучающих данных (датасета), обработка и аугментация датасета, разметка.

Моделирование сцены реализуется в пакете системы автоматизированного проектирования Blender (Рис. 2). Сцена задается протяженным участком поверхности с расположенными на ней целевыми объектами и средствами, имитирующими работу гидролокатора. Формирование датасета осуществляется путем пакетной визуализации сцены.

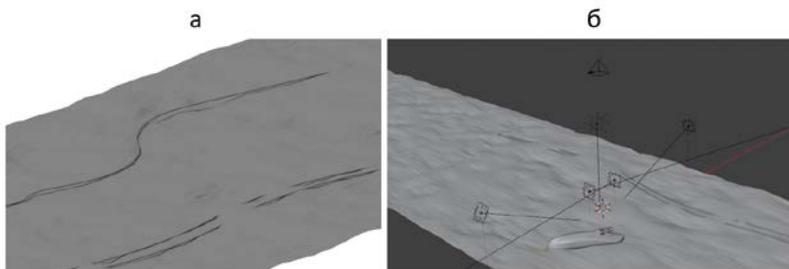


Рис. 2. Моделирование сцены

Стоит отметить, что имеющиеся средства имитации работы гидролокатора бокового обзора в программном обеспечении Blender обладают негативными эффектами (цветовой тон, яркость, насыщенность, уровень зашумленности), затрудняющими процесс распознавания. Полученные изображения подвергаются дополнительной программной пакетной обработке путем добавления различных типов шумов, регулированию баланса теней и цветов, насыщенности и контрастности. Также к изображениям применяются аффинные преобразования (масштабирование, перемещение, сдвиг и поворот) для расширения датасета (аугментации) [2].

Полученный датасет подвергается автоматизированной экспертной разметке, в ходе которой каждому изображению добавляется аннотация и метка.

Полученный датасет используется для **обучения модели нейронной сети YOLOv8** с применением метода трансферного обучения [3].

В результате работы были получены результаты для двух вышеописанных вариантов: обучение ИНС на наборе реальных данных и обучение на наборе синтетических данных, имитирующих реальную обстановку.

Исходными данными для первого варианта являлся набор реальных эхограмм гидролокатора бокового обзора с локальными и протяженными подводными объектами. Датасет был искусственно расширен аффинными преобразованиями. Обучение ИНС происходило в течение 300 эпох на наборе из 2 145 изображений. Точность выделения объектов составила 93%.

Для второго варианта обучения использовался набор данных, полностью состоящий из синтезированных изображений, полученных посредством моделирования цифрового полигона, обработки и аугментации. Количество изображений в датасете составило 890. Проверка точности обучения проводилась на реальных эхограммах с

наличием протяженных объектов. Точность выделения объектов составила 80%. Сравнительно меньшая точность обусловлена использованием нескольких различных устройств при выполнении гидроакустической съемки, а также малым объемом начальных данных.

Таким образом, в работе предложена методика решения задачи автоматизированного поиска подводных объектов с использованием малого набора исходных данных, алгоритм оценки обстановки и построения цифрового полигона, алгоритм создания искусственного набора обучающих данных. Проведено тестирование работы ИНС на реальном и синтезированном наборах данных с оценкой полученной точности.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Артюхин В.В., Вяльшев А.И., Добров В.М., Любин Ю.Н. Метод автоматической классификации подводных потенциально опасных объектов // Технологии гражданской безопасности, 2019. Т.16 № 1.
2. Шустова К.П., Шустова Е.П. Анализ изображений и распознавание образов на Python // Казань: Казан. ун-т, 2023. – 97 с.
3. Николенко С., Кадуринов А., Архангельская Е. // Глубокое обучение. — СПб.: Питер, 2018. — 480 с.

УДК 629.127

### **О ПОВЫШЕНИИ СТАБИЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЯ БУКСИРУЕМОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА**

**Вельтищев В.В.**

*Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет), 105005 г. Москва, ул.  
2-я Бауманская д. 5 стр. 1, тел. :499 263 63 91, факс:  
499 267 48 44,  
E-mail: bauman@bmstu.ru*

## ON INCREASING THE STABILITY OF MOVEMENT OF A TOWED UNINHABITED UNDERWATER VEHICLE

Veltischev V.V.

*Bauman Moscow State Technical University, 105005,  
Moscow, 2nd Baumanskaya str. 5, p. 1*

В докладе обсуждается целесообразность оснащения буксируемого необитаемого подводного аппарата роторными средствами маневрирования. Приводятся ожидаемые технические характеристики и рекомендации по их размещению.

The report discusses the feasibility of equipping a towed uninhabited underwater vehicle with rotary maneuvering aids. Expected technical characteristics and recommendations for their placement are provided.

Буксируемые необитаемые подводные аппараты (БНПА) продолжают оставаться наиболее эффективными средствами проведения океанологических исследований. При выполнении визуальных придонных обследований БНПА должен сохранять стабильное положение в пространстве, прежде всего, по отстоянию от грунта и углу дифферента. Наибольшее влияние на такие параметры движения оказывает качка и переменная скорость судна-буксировщика. Для компенсации внешних возмущений БНПА часто оснащается активными средствами маневрирования, в качестве которых используется горизонтальные рули. На малых скоростях буксировки, характерных для проведения визуального осмотра донной поверхности, для создания требуемых сил рули должны иметь достаточно большие размеры. Очевидно, что в процессе выпуска и приема такого аппарата на борт судна существует угроза повреждения крылообразных элементов его конструкции.

Альтернативным вариантом является использование в качестве средств маневрирования роторов Магнуса (РМ). Известно, что коэффициент подъемной силы РМ почти в восемь раз больше, чем у классических крылообразных несущих поверхностей. Для повышения эффективности за счет снижения концевых потерь ротор дополнительно оснащается подвижными или неподвижными концевыми шайбами. Конструкция БНПА с такими средствами маневрирования потенциально должна быть компактной и не будет вносить эксплуатационных проблем.

Численные значения гидродинамических коэффициентов подъемной силы  $C_y$  и лобового сопротивления  $C_x$  ротора, вращающегося с частотой  $\omega$ , зависят от отношения его окружной скорости к скорости набегающего потока  $\bar{v}$ . На рис. 1 представлена экспериментальная зависимость  $c_y = f(\bar{v})$  для роторов с относительным удлинением, равным девяти, с концевыми шайбами и без них. Гидродинамическое качество РМ можно оценить по виду поляры  $c_y = f(c_x)$ , изображенной на рис. 2.

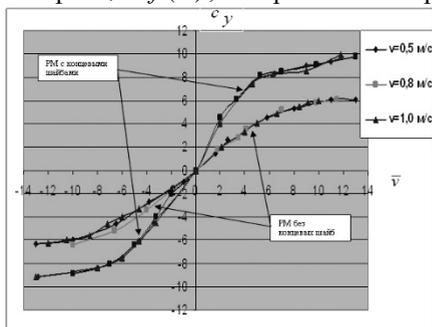


Рис. 1. Кривые  $c_y = f(\bar{v})$  для различных скоростей буксировки

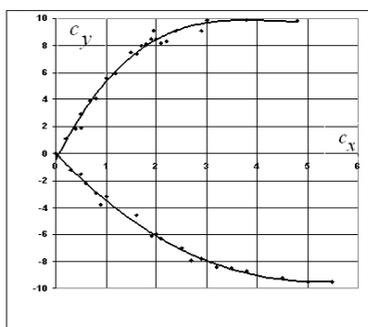


Рис. 2. Поляра  $c_y = f(c_x)$  ротора с концевыми шайбами

По виду графиков можно сделать ряд выводов:

- при увеличении частоты вращения от нуля до значения, соответствующего относительной скорости  $\bar{v} = 5$ , наблюдается практически линейное возрастание коэффициента подъемной силы;
- величина предела, к которому стремиться  $C_y$ , зависит от удлинения РМ, наличия концевых шайб и достигает значения  $C_{y \max} = 10$ ;
- гидродинамическое качество  $\varepsilon = C_y / C_x$  ротора лежит в пределах от 4 до 4,5, а при увеличении относительной скорости  $\bar{v} > 5$  снижается.

Главный недостаток РМ обусловлен энергозатратами на его вращение. Момент сопротивления вращению РМ можно определить по зависимости

$$M_n = \frac{1}{8} \pi k \rho \omega^2 l d^4 \left(1 - 0,2 \frac{d}{l}\right) + M_o \text{Sign}(\omega)$$

где  $d, l$  - диаметр и длина ротора,  $\rho$  - плотность воды, коэффициент  $k$ , равный 0,0045,  $M_o$  - момент трения в подшипниках.

Используя экспериментально подтвержденные гидродинамические характеристики, можно провести предварительный расчет двух роторных средств маневрирования для

оснащения ими БНПА "Видеомодуль", разработанного в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН [1]. Применение тандема роторов позволяет кроме изменения глубины буксировки БНПА создавать при необходимости и дифференцирующий момент. При расчетах использовались следующие исходные данные характеристики: скорость буксировки  $v = 0,25$  м/с; длина ротора  $l = 0,6$  м (определено из компоновочных ограничений); требуемая суммарная подъемная сила  $P_y = \pm 25$  Н.

В процессе расчетов определены следующие технические характеристики РМ: диаметр ротора  $d = 0,07$  м; максимальная частота вращения  $\omega = 71$  рад/с; подъемная (заглубляющая) сила  $P_y = 13$  Н; момент сопротивления вращения (без учета потерь в подшипниках)  $M_n = 0,125$  Н·м; механическая мощность  $N = 6,9$  Вт. Если оценить возможные механические потери в подшипниковых опорах величиной  $M_0 = 0,5$  Н·м, то мощность привода каждого ротора возрастает до значения  $N = 44,4$  Вт.

Важным вопросом является определение рациональных мест размещения РМ на аппарате. Введем связанную систему координат  $x_0$ , начало которой поместим в точку буксировки. Местоположение  $i$ -го горизонтального ротора определяется координатами  $x_i, y_i$ . Рассматривая малые приращения угла атаки  $\alpha$  от нулевого балансирующего значения, можно записать условие повышения исходной степени продольной статической устойчивости БНПА от воздействия двух роторов в форме неравенства

$$\frac{\partial M}{\partial \alpha} = 0,5 \rho d l v^2 (c_{y1} y_1 - c_{x1} x_1 + c_{y2} y_2 - c_{x2} x_2) \leq 0.$$

Необходимо учитывать, что при любом направлении вращения РМ выполняются условия  $c_{x1} \geq 0$  и  $c_{x2} \geq 0$ . Анализируя это неравенство, можно с учетом существующей компоновки БНПА "Видеомодуль" предложить разместить два ротора в его верхней части вдоль продольной оси симметрично относительно точки буксировки, т.е.  $x_2 = -x_1, y_1 = y_2 = y$  (рис. 3). В этом варианте при синхронной работе двух роторов на создание подъемной силы  $c_{y1} = c_{y2} < 0, c_{x1} = c_{x2}$ . Поэтому условие устойчивости выполняется  $(c_{y1} + c_{y2})y < 0$ . В процессе создания заглубляющей силы исходная статическая устойчивость аппарата будет снижаться, т.к.  $(c_{y1} + c_{y2})y > 0$ . Но, если роторы расположены по вертикальной координате достаточно близко к точке буксировки, то это снижение будет незначительным. При создании роторами дифференцирующего

момента  $C_{y1} = -C_{y2}$ , и гидродинамические силы не влияют на продольную устойчивость БНПА.

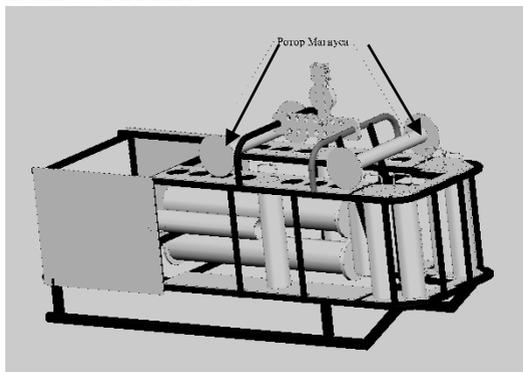


Рис. 3. Размещение двух роторов на БНПА "Видеомодуль"

Окончательную оценку эффективности оснащения БНПА "Видеомодуль" роторными средствами маневрирования можно дать только в процессе проведения реальных океанологических исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Анисимов И.М.** Повышение точности измерений объектов на поверхности дна по видеоизображениям с лазерной масштабной линейкой// Подводные исследования и робототехника. 2023. №4(46). С.16-28.

УДК: 551.46: 626.02

### ЛИМИТЫ ВОДОЛАЗНЫХ СПУСКОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДВОДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Яхонтов Б.О.**

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

### LIMITS OF DIVING DESCENTS FOR UNDERWATER SCIENTIFIC RESEARCH

Yakhontov B.O.

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

Рассматриваются лимиты спусков научных водолазов для проведения подводных исследований. Обосновывается ограничение рабочих глубин для бездекомпрессионных спусков

The limits of descents of scientific divers for underwater research are justified. The limitation of working depths for decompression-free descents is justified

**Ключевые слова:** лимиты водолазных спусков, научный водолаз, подводные исследования, дыхательный аппарат

**Keywords:** limits of diving descents, scientific diver, underwater research, breathing apparatus

Цель использования водолазных методов изучения океана - повышение эффективности подводных исследований за счет их частичного перевода в условия *in situ* с использованием на грунте водолазами-исследователями специальной научной аппаратуры, приборов и устройств.

Из многих способов проведения исследований под водой к настоящему времени выделились три: с участием водолаза (человек под воздействием повышенного давления водной среды), гидронавта (человек в подводном обитаемом аппарате при нормальном давлении) и с использованием подводных технических средств (телеуправляемые необитаемые подводные аппараты, автономные аппараты, роботы). Все эти способы более или менее развиваются в исследовательской практике в зависимости от их доступности.

Конечно, проведение подводных научных исследований с использованием водолазных методов более доступно, чем применение подводных обитаемых аппаратов, однако работу водолаза вряд ли можно отнести к наиболее безопасной, хотя рабочие глубины водолаза малы по сравнению с подводными аппаратами. Но корректность результатов и в целом эффективность подводных научных исследований, проводимых с участием водолазов, во многих случаях может быть выше выполняемых с помощью технических средств, потому что водолаз проводит исследования под водой в прямом контакте с изучаемым объектом. Человек всегда был и остается основным звеном научно-исследовательского процесса, и ему должен

быть доступен подводный объект для исследования. Вероятно, должно быть разумное сочетание этих технологий в зависимости от задач и глубины, на которой планируются исследования.

На доступных человеку глубинах многие исследования должны выполняться на месте, в условиях подводной среды. Для этого необходима адаптированная к подводным условиям научная аппаратура. Работать под водой с такой аппаратурой может обученный этому профессиональный водолаз или научный водолаз - ученый, исследователь. Такой водолаз является штатным научным работником, который имеет профессиональную водолазную подготовку и минимум начальную квалификацию «водолаз», что дает ему право проведения научных исследований под водой. Но эта профессия не является для научного работника основной. Возможности профессионала и научного водолаза сильно различаются. Научный водолаз в связи с его невысокой квалификацией, небольшим опытом и в целях обеспечения его безопасности должен быть ограничен в глубинах спусков, использовании методов погружений, снаряжения, и выполнять спуски по бездекомпрессионным (безостановочным) режимам и с напарником [1, 2]. Подобные ограничения для научных водолазов существуют во многих странах с развитой водолазной практикой.

Диапазон безопасности и эффективности погружений для научных водолазов целесообразно ограничить 30 метрами, учитывая при этом возможность дыхания во время спусков сжатым воздухом или газовыми смесями. В первом случае глубину следует ограничить 20 метрами. Этот предел обусловлен тем, что при достаточном для решения научных задач времени работы на этой глубине при дыхании из аппарата сжатым воздухом (35 минут) соблюдается допустимый правилами «бездекомпрессионный» режим перехода на поверхность. При дыхании кислородно-азотными смесями (КАС) – тем более, и при большем времени работы под водой. Кроме того, водолазные спуски с маломерных судов (лодки, шлюпки, катера и другие типы таких судов), что характерно для спусков научных водолазов, особенно в прибрежной зоне, при дыхании сжатым воздухом и без того ограничиваются глубинами до 20 м действующими Правилами охраны труда водолазов [3].

Предел глубины 30 м при дыхании КАС обусловлен тем, что на данной глубине при дыхании смесью с 40% содержанием кислорода времени работы на грунте (до 45 мин) достаточно для решения многих научных задач. При этом соблюдается «бездекомпрессионный» режим выхода – 3-минутный безостановочный подъем на поверхность [4].

Кроме этого, на глубине 30 м соблюдается допустимое (нетоксичное) для разового спуска значение парциального давления кислорода ( $PO_2$ ) на уровне  $1,6 \text{ кгс/см}^2$ .

При дыхании сжатым воздухом на глубине 30 м также возможен бездекомпрессионный выход, но при сокращении времени работы под водой до 15 минут. Но надо учитывать, что в срок пребывания на грунте входит и время самого спуска, так что реальное полезное время работы под водой будет немного меньше. Однако в ряде случаев и этого времени работы под водой достаточно для решения некоторых задач.

Глубина 30 м при дыхании сжатым воздухом лимитируется также и азотным наркозом, симптомы которого у большинства водолазов появляются на этой глубине. Следовательно, при спусках в пределах 30 м при соблюдении вышеуказанных и других условий сводится к минимуму возможность подвергнуться декомпрессионной болезни и другим отрицательным влияниям спусков. Соблюсти условие бездекомпрессионного подъема возможно и при увеличении времени работы под водой, но на меньшей рабочей глубине. В этом случае снимается и проблема, связанная с азотным наркозом. Например, на глубине 20 м допустимо работать 35 минут без последующей ступенчатой декомпрессии, при этом заметное проявление азотного наркоза отсутствует.

Несмотря на соблюдение физиологических лимитов при спусках в пределах 30 м, они возможны лишь при условии, что руководителем водолазных спусков на глубины до 20 м будет водолаз не ниже 2 класса квалификации (6 разряд), на глубины от 20 до 30 м – водолаз не ниже 1 класса (7 разряд). Иметь таких водолазов в штате научной организации с допуском к погружениям по ряду причин почти нереально. Это, пожалуй, основная трудность при организации водолазных спусков для проведения подводных океанологических исследований. Есть одна возможность относительно спусков на глубины до 20 м: согласно действующим правилам к руководству водолажными спусками на глубины до 20 м с водолажной станции, полностью укомплектованной персоналом с минимальной квалификацией «водолаз», может допускаться водолаз такой же квалификации, прошедший подготовку и получивший допуск к руководству спусками в таких условиях. Но использовать эту возможность нежелательно.

Водолаз с начальной квалификацией «водолаз» с 4 разрядом в принципе может руководить спусками водолазов, но на глубины до 12 м, если он обучен этому в водолажной школе (центре) и получил

допуск к руководству спусками на такие глубины. Но учебное заведение принимает на обучение руководству спусками водолазов такой невысокой квалификации при условии: наличие стажа работы водолазом - 2 года и 120 часов работы под водой. Для научного работника-водолаза соблюсти это очень непросто, если вообще возможно. Это связано с эпизодическим проведением водолазных научных работ в любом учреждении науки, особенно находящимся вдали от моря. Так что решение проблемы организации водолазных спусков для проведения подводных научных исследований в диапазоне средних глубин ещё впереди.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0026)*

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Яхонтов Б.О. Водолазные технологии исследований океана // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2023. – № 9. – С. 5–12.
2. Diving safety manual. Revision 3.2-2018 // Woods hole oceanographic institution, USA, 2018. –126 pp.
3. Правила по охране труда при проведении водолажных работ. Утв. Приказом Минтруда России от 17.12.2020 № 922н. – М.: Моркнига, 2022. – 232с.
4. Единые правила безопасности труда на водолажных работах. – М.: ЦРИА Морфлот, 1980. – 184 с.

УДК: 551.46: 626.02

## **КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОЛАЗНЫХ МЕТОДОВ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Яхонтов  
Б.О.**

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

## CRITERIA FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF DIVING METHODS OF UNDERWATER RESEARCH

Yakhontov B.O.

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

Обсуждается эффективность методов и технических средств водолазных спусков для проведения подводных научных исследований

The effectiveness of methods and technical means of diving descents for conducting underwater scientific research is discussed

**Ключевые слова:** водолаз, дыхательный аппарат, эффективность водолазных спусков, критерии эффективности

**Keywords:** diver, breathing apparatus, effectiveness of diving descents, efficiency criteria

Эффективность водолазных методов подводных исследований можно рассматривать и оценивать по двух аспектам:

- эффективность водолазных методов погружений в комплексе с водолажным снаряжением (дыхательными аппаратами) при проведении подводных исследований *in situ*;

- эффективность самих подводных научных исследований, проводимых с использованием водолазных методов.

Выбор для применения водолазных методов и технологий во многом зависит от целей и задач водолазных спусков для проведения океанологических исследований.

При эпизодическом проведении научно-исследовательских работ в толще воды или на грунте, что характерно для океанологических исследований, наиболее эффективным является метод кратковременного погружения (КП) с использованием дыхательного аппарата. Этот метод для научных водолазов обеспечивает большую мобильность под водой и относительную безопасность работы в пределах средних глубин и в ограниченной зоне больших глубин при спусках со «смесевым» аппаратом с замкнутым циклом дыхания (для профессиональных классных водолазов), подготовленных для выполнения научных исследований под водой.

При этом методе водолазами для спусков в научных целях может использоваться автономное водолазное снаряжение двух типов:

- дыхательные аппараты с открытым циклом дыхания (OCR) сжатым воздухом или кислородно-азотными смесями – рабочие глубины в рекомендуемых пределах 30 метров с временем пребывания водолаза под водой в зависимости от возможности обеспечения бездекомпрессионного спуска и запаса дыхательного газа в баллонах;

- дыхательные аппараты с замкнутым циклом дыхания (CCR) газовыми смесями (ребризеры), обеспечивающие спуски до 30 м подготовленных для этого научных водолазов, а также профессиональных водолазов на большие глубины с временем их пребывания под водой в зависимости от глубины, состава дыхательной газовой смеси (ДГС), продолжительности декомпрессии.

Сравнительные исследования показали, что из этих двух типов водолазного снаряжения для научных целей наиболее эффективной, экономичной и относительно безопасной является методика спусков в автономном режиме с использованием ребризеров, в которых обеспечивается возможность автоматического поддержания заданного парциального давления кислорода ( $PO_2$ ) во всем диапазоне рабочих глубин, а также регулировка состава дыхательных газовых смесей и их смена во время работы под водой [1]. Последнее не рекомендуется для научных водолазов начальной квалификации.

Основные преимущества спусков в автономном режиме с использованием дыхательных аппаратов OCR и CCR являются одновременно и важными критериями оценки их эффективности, которая в основном исходит, конечно, от аппарата. Главным критерием, определяющим целесообразность использования водолазного метода подводных научных исследований, является степень достижения научной цели. Из других критериев следует выделить следующее:

- уровень безопасности;
- уровень мобильности водолаза;
- автономность аппарата (время дыхания из аппарата);
- допустимый диапазон рабочих глубин;
- возможность использования ДГС;
- возможность минимизации времени декомпрессии;
- экономичность (расход газов и стоимость работ);
- уровень комфортности дыхания (температура и влажность ДГС);
- акустический режим работы аппарата, наличие/отсутствие пузырей при выдохе;

Водолазные спуски в научных целях с аппаратами с замкнутым циклом дыхания (CCR) типа ребризер соответствуют всем рассмотренным критериям эффективности и могут рекомендоваться для использования при океанологических исследованиях под водой. Спуски с аппаратами с открытым циклом дыхания (OCR) также эффективны, особенно при их использовании с кислородно-азотными смесями. Но в связи с конструктивными и эксплуатационными особенностями они имеют более ограниченные возможности. Например, по автономности и экономичности аппарат OCR проигрывает при сравнении с аппаратом CCR.

В целом водолазные спуски в научных целях методом КП эффективны. Наибольший эффект проявляется при использовании дыхательного аппарата с замкнутой схемой дыхания газовыми смесями. По некоторым данным эффективность ребризера при спусках в научных целях в разы превышает эффективность аппаратов с открытой схемой дыхания [2]. Это прогрессивная технология кратковременных погружений, позволяющая водолазу эффективно работать даже в зоне глубоководных (свыше 60 м) спусков. Положительные результаты апробации позволяют утверждать, что она может при развитии водолазной инфраструктуры стать одной из основных при погружениях в научно-исследовательских целях.

Конечно, научная и производственная эффективность метода длительного (многосуточного) пребывания (ДП) под повышенным давлением значительно превосходит эффективность метода КП. Основные особенности метода ДП, обеспечивающие его эффективность:

- глубина погружения (весь диапазон глубин, доступных человеку);
- длительность пребывания в условиях повышенного давления в жилой барокамере судового водолазного комплекса или в подводной лаборатории и работы под водой (приблизительно до месяца в зависимости от глубины).

Эти преимущества (и критерии эффективности) метода позволяют решать весь спектр научных и производственных задач на больших глубинах. Но метод ДП связан с большими рисками, связанными с отдаленными последствиями для организма водолаза [3] и финансово слишком затратный, что ограничивает или даже на данном временном этапе исключает его использование для подводных океанологических исследований [4]. В настоящее время нигде в мире этот метод в научной сфере на больших глубинах не используется.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0026)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Черкашин С.В. Глубоководные водолазные спуски в автономном режиме. Перспективы развития // Морские испытания. – 2007. – № 1. – С. 4–18.
2. Parrish F. A., Pyle R. L. Field Comparison of open-circuit scuba to closed circuit rebreathers for deep mixed-gas diving // Marine Technology Society Journal. – 2002. – Vol. 86. – № 2. – P. 1–22.
3. Чумаков А.В. Длительное пребывание человека на предельных глубинах: взгляд на изменения функциональных систем акванавтов с позиции патофизиологии критических состояний // Клиническая патофизиология. – 2016. – Т. 22. – №4. – С. 118–123.
4. Яхонтов Б.О. Водолазные методы и технические средства обеспечения подводных научных исследований // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2024. – № 5. – С. 24–29.

УДК 551.465

### **ПЕРСПЕКТИВА ГЛУБОКОВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОКЕАНА В ИО РАН**

**Сагалеви́ч А.М.**

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

### **THE PROSPECT OF DEEP-SEA OCEAN RESEARCH AT IO RAS**

**A.M.Sagalevich**

*Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Science,  
36, Nakhimovsky prospekt, Moscow, Russia, 117997  
e-mail: [sagalev1@yandex.ru](mailto:sagalev1@yandex.ru)*

В докладе рассматривается проект по восстановлению глубоководного научно-исследовательского комплекса с ГОА «МИР-1» и «МИР-2» (рабочая глубина 6000 м), в основе которого лежит Соглашение о сотрудничестве между ФГБУН «Институтом океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук» (ИО РАН) и АО «ЦКБ МТ «Рубин» (ЦКБ МТ «Рубин») (Санкт-Петербург). Излагаются возможности технического расширения комплекса, которые позволят проводить исследования на любых глубинах океана, включая ультраабиссаль.

In the paper are considered the project for the recovery deep ocean research complex, based on deep manned submersibles MIR-1 and MIR-2 (operating depth 6000 m)/ The possibilities of the upgrading of the complex, to provide scientific research on all ocean depths, including ultraabyssal, are introduced.

Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН (ИО РАН) является одной из ведущих организаций в мире по проведению глубоководных исследований океана как с помощью научно-исследовательских судов, так и с применением обитаемых аппаратов. Только НИС «Витязь» в 50-80-е годы XX века провел исследования в 21 районе с ультраабиссальными глубинами (более 6000 м), подняв со дна 24 новых видов животных, 12 из которых были описаны учеными ИО РАН. Большой вклад в исследования абиссали сделали и другие суда ИО РАН. Но настоящий прорыв в проведении исследований глубокого океана сделали обитаемые аппараты «Пайсис VII» и «Пайсис XI» (рабочая глубина 2000 м), а затем «МИР-1» и «МИР-2» (6000 м) (Рис.1). Эти аппараты провели исследования на 25 гидротермальных полях на дне океана с различными основами своего происхождения. Были открыты и обследованы новые гидротермальные поля, несколько десятков новых видов животных. За исследования депозитов сульфидных руд на Срединно-Атлантическом хребте группа ученых Института получила Премию Российского правительства. В результате этих работ накоплен большой опыт глубоководных исследований океана, который необходимо сохранить и дать ему дальнейшее развитие (Рис. 2) [1, 2].

В настоящее время Институтом подписано Соглашение о сотрудничестве между ФГБУН «Институтом океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук» и АО «ЦКБ МТ «Рубин» (Санкт-Петербург) в области создания и эксплуатации подводной

робототехники. В рамках этого Соглашения обсуждается вопрос о вводе в строй ГОА «МИР-1» и «МИР-2», а также о восстановлении НИС «Академик Мстислав Келдыш», как судна обеспечения погружений ГОА «МИР». Учитывая наработки ИО РАН в области создания глубоководных малогабаритных телеуправляемых аппаратов и наработки ЦКБ «МТ «Рубин» в области создания малогабаритных роботов, сейчас обсуждается идея о расширении возможностей ГОА «МИР» путем оборудования их названными выше мини-ROV и мини-роботами, рассчитанными на работу на максимальных глубинах океана, т.е. в ультраабиссали – в глубоководных желобах и впадинах (Рис. 3). Опыт работы с мини-ROV у нас имеется: во время киносъемок фильма «Титаник» и прямой телепередачи с «Титаника», когда на аппараты «МИР» устанавливалось до 3-х ROV-модулей, которые отсняли практически весь интерьер затонувшего лайнера (Рис. 4). В настоящем проекте при исследовании ультраабиссали ГОА «МИР» будет погружаться до своей рабочей глубины 6000 м, садиться на уступ или террасу боковой стенки глубоководного желоба, а затем выпускать мини-модули для исследования стенок и дна желоба. Таким образом будут расширены возможности ГОА «МИР» до исследования максимальных глубин океана. Такой подход позволит проводить научные исследования океана на всей его площади, включая районы ультраабиссали. Уникальность этой идеи также состоит в том, что названные операции могут проводиться двумя обитаемыми аппаратами одновременно в соответствии с разработанными научными программами.

Вторым, забытым, к сожалению, проектом является разработанная еще в 90-е годы XX века программа кругосветного плавания НИС «АМК» с двумя ГОА «МИР» на борту. Изначально в разработке программы принимали участие д.г-м. наук Ю.А.Богданов и к.б.н. Л.И.Москалев (1992-93 гг.). Затем в процессе проведения наших глубоководных исследований эта программа совершенствовалась. Основными объектами исследований являются рифтовые зоны Мирового океана с их мощным рудогенезом, гидротермальные поля на дне с их уникальными депозитами сульфидных руд и многообразной фауной, рождающейся и существующей за счет хемосинтеза и сочений метана. Кроме того, программа включает в себя обследование исторических затонувших объектов и другие направления глубоководных работ (Рис. 5). В 90-е годы эта программа была поддержана учеными США, Канады, Германии, Японии; однако несмотря на все попытки обеспечить этот проект финансами, этого сделать не удалось. Несомненно, что в случае удачной операции по

вводу в строй ГОА «МИР» проект «кругосветки» будет очень важным в истории наших глубоководных исследований.



Рис.1. «МИР-1» и «МИР-2» на борту НИС «Академик Мстислав Келдыш»

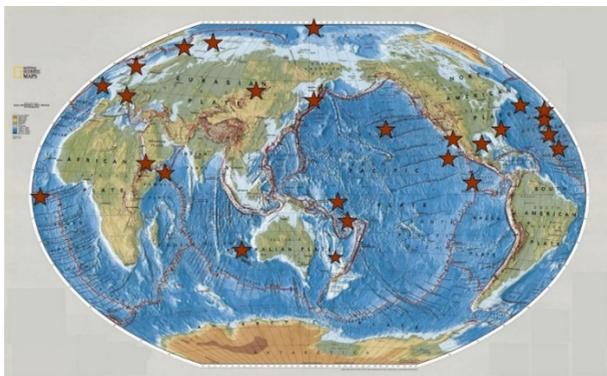


Рис.2. Карта-схема исследований океана с применением ГОА «МИР».

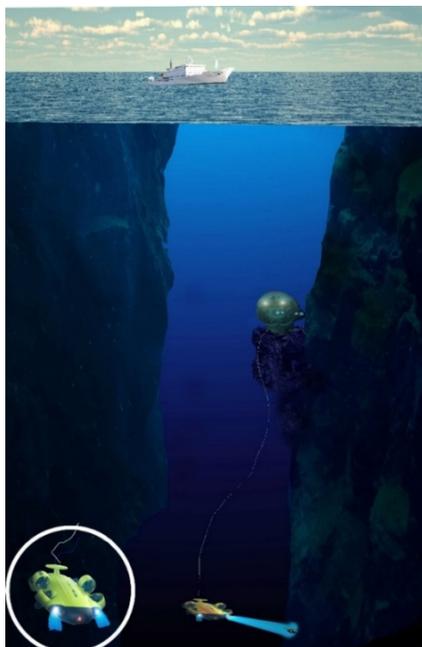


Рис.3. Схема расширения возможностей ГОА «МИР» путем использования мини-ROV и мини-роботов.

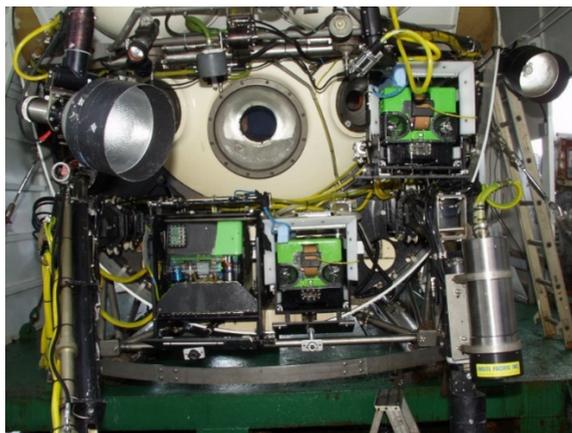


Рис.4. ГОА «МИР-2» с гнездами для установки трех ROV-модулей (2005 г. – прямая передача с «Титаника»).

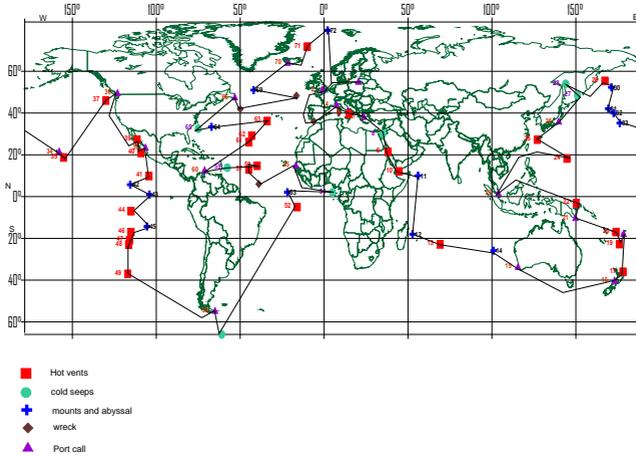


Рис.5. Карта-схема кругосветного плавания НИС «АМК» с двумя ГОА «МИР» на борту.

\* \* \*

Данный проект по восстановлению глубоководного комплекса на базе ГОА «МИР» является очень важным. Его осуществление позволит ученым ИО РАН и других организаций России проводить исследования на всех глубинах океана, включая глубоководные желоба и впадины, используя для этого как возможности ГОА «МИР» (до 6000 м), так и применение мини-модулей ROV и роботов, управляемых из обитаемых сфер «МИРов».

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0026)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.М.Сагалевиц. Океанология и подводные обитаемые аппараты. М, «Наука», 1987, 256 с.
2. А.М.Сагалевиц. Глубина. М, Научный Мир, 2002, 318 с.

УДК 634.67

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО  
КОМПЛЕКСА «SMART FISH» С ЭЛЕМЕНТАМИ  
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА В ИССЛЕДОВАНИИ  
ПРИБРЕЖНО-ШЕЛЬФОВЫХ ЭКОСИСТЕМ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ**

**Чаркин А.Н., Каплуненко Д.Д., Гуленко Т.А.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО  
РАН,  
690041, Приморский край, г. Владивосток, Балтийская, 43, 8(902)481-  
10-56, [charkin@poi.dvo.ru](mailto:charkin@poi.dvo.ru)*

**APPLICATION EXPERIENCE OF THE “SMART FISH” ROBOTIC  
SYSTEM WITH ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN  
THE RESEARCH OF COASTAL-SHELF ECOSYSTEMS OF THE FAR  
EASTERN AND ARCTIC SEAS OF RUSSIA**

**Charkin A.N., Kaplunenko D.D., Gulenko T.A.**

*V. I. Ilychev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the  
Russian Academy of Sciences,  
690041, Primorsky Krai, Vladivostok, Baltiyskaya, 43, 8(902)481-10-56,  
[charkin@poi.dvo.ru](mailto:charkin@poi.dvo.ru)*

Для исследования труднодоступных дальневосточных и арктических морей необходимо внедрение новых высокопроизводительных методов. Опыт применения робототехнического комплекса Smart Fish показал его высокую эффективность по сравнению с классическими методами.

To study the hard-to-reach Far Eastern and Arctic seas, it is necessary to introduce new high-performance methods. The experience of using the Smart Fish robotic complex has shown its high efficiency compared to classical methods.

**Ключевые слова:** робототехнический комплекс, искусственный интеллект, нейросеть, биоценоз, экосистема, солёность, температура, растворённый кислород, гамма-спектр.

**Key words:** robotic complex, artificial intelligence, neural network, biocenosis, ecosystem, salinity, temperature, dissolved oxygen, gamma spectrum.

Развитие робототехники, требующей применения высоких технологий, является очевидной тенденцией современности. Последние события и тенденции в мировой промышленности, экономике и науке говорят о повсеместном внедрении и использовании робототехнических систем, в том числе для проведения научно-исследовательских и научно-прикладных работ. Наиболее остро необходимость внедрения данных методов в практику морских научно-исследовательских и научно-прикладных работ рассматривается для Арктического шельфа, в связи с суровым климатом и большой удаленности от основных логистических центров.

Примером эффективного внедрения робототехнических средств в решение научно-исследовательских задач может являться проблема «Чаунского оазиса». В Чаунской губе гидробиологической экспедицией Зоологического института АН СССР были обнаружены теплолюбивые морские биоценозы, не характерные для арктических морей, а скорее типичные для водного населения средних Курил или даже более южных участков Тихого океана [1]. Многократные экспедиции не смогли решить данную проблему. Группа специалистов ТОИ ДВО РАН инициировала морские исследования, которые должны были дать ответ на данный вопрос. Две научно-исследовательские экспедиции ТОИ ДВО РАН не смогли решить данную проблему. Понимая тщетность использования классических океанографических методов, было решено создать высокопроизводительную и многофункциональную технологию, способную выполнять широкий спектр поисковых задач в условиях подводной среды относительно большого залива. В результате к началу следующей экспедиции лабораторией перспективных методов морских исследований ТОИ ДВО РАН совместно с СКБ «МАМИ» (Московский политех) был разработан и создан экспериментальный образец (Рис.1) подводного робототехнического комплекса «Smart Fish» [2], способного в разных сканирующих режимах на ходу судна измерять солёность, температуру, растворённый кислород и гамма-спектр водной толщи в разных погодных условиях и на относительно больших скоростях судна (до 8 узлов).

В результате применения робототехнического комплекса «Smart Fish» 40-летняя загадка «Чаунского оазиса» была решена всего

за несколько дней. Подводным аппаратом «Smart Fish» были обнаружены гидрофизические аномалии воды, в которых были выполнены измерения  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$ , щёлочности, рН,  $\text{pCO}_2$ , биогенов и в итоге установлено, что данные аномалии являются результатом разгрузки субмаринных гидротермальных вод, которые, являясь источником тепла, микроэлементов и пищи (биогенов) сформировали «Чаунский оазис» [3].

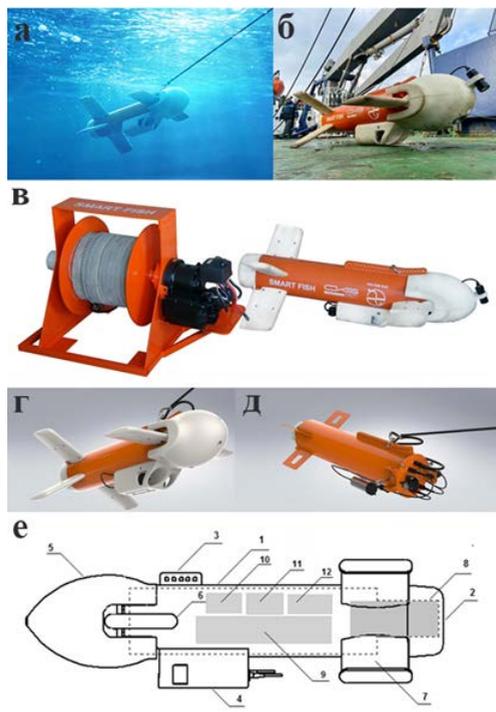


Рис. 1. Робототехнический комплекс «Smart Fish»: а) изображение в водной толще; б) на палубе НИС «Академик Опарин» перед спуском в воду; в) состав всего комплекса вместе с лебёдкой; г) изометрический вид; д) изометрический вид без рулей и обтекателей; е) Схема конструкции комплекса «Smart Fish». Вид слева, где 1- корпус, 2- задняя крышка, 3-система крепления кабель троса, 4 - блок крепления гидрологических датчиков, 5 – обтекатель, 6- горизонтальные рулевые поверхности, 7- стабилизатор, 8 – гамма-спектрометр, 9 – компьютер

10- модем, 11 – преобразователь напряжения,. 12 – система ориентации и навигации (гироскоп, акселерометр).

В последствии на базе робототехнического комплекса «Smart Fish» было выполнено машинное обучение нейросети, способной распознавать, классифицировать и считать таксоны донных гидробионтов для оценок популяций и биомассы прибрежных донных биоресурсов. В частности, благодаря данному комплексу в течении нескольких дней октября 2023 года в Анадырском заливе (Берингово море) были выявлены участки с большими скоплениями крабов и рыб. Причем с помощью предобученной нейросети были не просто выявлены районы скопления, но и получены оценки по их численности.

Осенью 2024 года помощью робототехнического комплекса Smart Fish в течении суток на глубинах 30 – 40 метров был обнаружен крупный косяк камчатского краба *Paralithodes camtschaticus*, установлен маршрут его миграции в сочетании с детальными характеристиками физико-химических параметров придонного слоя воды. С помощью нейросети был выполнен подсчет популяции камчатского краба в обнаруженном косяке. Количество данного таксона по маршруту следования аппарата составило 417 особей (размер всего косяка более 3 тыс. особей). Кроме того, выявлены параметры, влияющие на его миграцию в данном районе в осенний период.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Экосистемы и фауна Чаунской губы и сопредельных вод Восточно-Сибирского моря: Сб. науч. тр. / [Ред. А. Н. Голиков]. - СПб.: ЗИН. 1994. -150 с.
2. Буксируемый подводный гамма-зонд: Пат. № 2760711 С1 / Чаркин А.Н., Гуленко Т.А., Ярошук Е.И., Дуйсекулов М.А., Алышев С.Ю. - з. № 2021110724, заявл. 15.04.2021; зарег. и опубли. 29.112021, БИ № 34.
3. Charkin, A.N., Kosobokova, K.N., Ershova, E.A. *et al.* A unique warm-water oasis in the Siberian Arctic's Chaun Bay sustained by hydrothermal groundwater discharge. *Commun Earth Environ* 5, 393 (2024). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01529-x>

## РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА БЕЗЭКИПАЖНОГО НАДВОДНОГО АППАРАТА

**Чернышова Л.М., Пак А.В., Неманов М.И., Шакуев Д.А.,  
Артемьев Н.В., Карманов С.А., Булатов Н.В., Сухова Ю.Д.**

*Московский государственный технический университет имени Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский университет), 105005  
Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5 стр. 1, тел: +7 (499) 263-62-63, E-  
mail: [hydronautics-team@yandex.ru](mailto:hydronautics-team@yandex.ru)*

## DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE UNMANNED SURFACE VEHICLE

**Chernyshova L.M., Pak A.V., Nemanov M.I., Shakuev D.A., Artemev  
N.V., Karmanov S.A., Bulatov N.V., Sukhova Iu.D.**

*Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, 2nd  
Baumanskaya str. 5, p. 1*

В статье описана разработка прототипа безэкипажного надводного аппарата для сопровождения подводных работ командой учебно-научного молодежного центра (УНМЦ) «Гидронавтика».

The article describes the development of a prototype unmanned surface vehicle to accompany underwater operations by the team of the "Hydronautics".

**Ключевые слова:** безэкипажный надводный аппарат, конструкция, электроника, пульт управления

**Key words:** unmanned surface vehicle, design, electronics, control panel

Потребность в решении сложных задач в подводной среде, включая исследование морского дна, добычу ресурсов и экологический мониторинг, продолжает расти. Традиционно эти задачи выполняются с использованием автономных подводных или донных аппаратов, требующих сопровождения судами, что влечет за собой значительные финансовые и эксплуатационные затраты.

Перспективным направлением является применение

безэкипажных надводных аппаратов (БНА) в качестве базовых станций. Они способны обеспечивать связь с береговыми центрами, сбор и передачу данных, а также навигационную поддержку для подводных робототехнических комплексов [1-4].

Команда УНМЦ «Гидронавтика» разработала БНА «Кузовок», предназначенный для работы на открытой воде. Аппарат оснащен 4 моторами T200. Аппарат выполнен по схеме катамарана. В конструкции используются композиционные материалы, что позволяет значительно снизить массу аппарата без ущерба прочности. 4 винтомоторных агрегата обеспечивают высокую скорость и хорошую манёвренность.

На рис. 1 приведена модель надводного аппарата, разработанная в CAD-системе «SOLIDWORKS».

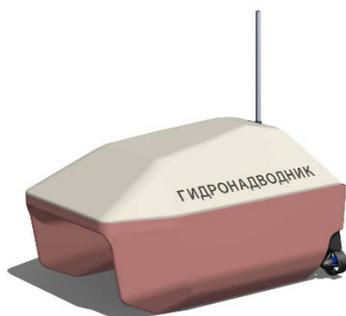


Рис. 1. 3D-модель безэкипажного надводного аппарата «Кузовок»

Электроника БНА выполнена в формате Евромеханики, но без кроссовой платы на задней стенке — вместо нее используется жгут с разъемами. Такое решение обеспечивает модульность, упрощает изменение соединений между платами и исключает необходимость поддержки устаревших конструктивных решений, что повышает гибкость при доработке и отладке.

Система включает три платы: диагностики, питания и вычислителя, а также планку для горячей замены аккумуляторов. Плата вычислителя управляет ШИМ-сигналами для моторов (с защитой выходов буферами), собирает данные с датчиков и включает приемопередатчики RS-485 с функцией автоматического переключения режимов приема и передачи. Плата диагностики контролирует состояние систем, передает данные вычислителю, отображает на экране параметры аккумуляторов (напряжение, ток) и отладочную информацию. Плата питания преобразует напряжение

аккумуляторов в стабильные уровни: 5, 12 и 24 В.

Основной состав датчиков надводного аппарата:

- бесплатформенная система ориентации BW-АН127С;
- GPS-приемник;
- Wi-Fi мост 5 ГГц 29 dbm;
- одноплатный компьютер Raspberry Pi 4В;
- два аккумулятора LiFePO4 4s 48 А\*ч.

Также БНА дополнительно может быть оснащен эхолотом, высокоточной навигационной системой, гидроакустической навигационной системой с ультракороткой базой.

Итоговый внешний вид БНА показан на рис. 2. Итоговые характеристики БНА показаны в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики БНА «Кузовок»

Габариты, ДхШхВ, мм	1050х740х630
Скорость, м/с	1.3
Масса, кг	30
Грузоподъемность, кг	10
Аккумуляторные батареи	2 * 16 В * 48 Ач
Дальность связи, м	500
Время автономной работы, ч	12
Режим работы	телеуправляемый/автоматизированный/автономный

Система управления имеет двухуровневую архитектуру: на нижнем уровне реализовано управление сепаратными курсовым и маршевым каналами, на верхнем уровне - в зависимости от заданной миссии, формируется управляющий сигнал для нижнего уровня.

Для преобразования географических координат (широты и долготы), получаемых с GPS, в декартовую систему координат используется проекция Universal Transverse Mercator (UTM). После преобразования данных в зону UTM, задается локальная система координат, с помощью выставленного репера. Навигационная система аппарата отслеживает его положение в этой локальной системе, обновляя координаты и направление движения в реальном времени относительно репера.

Пульт управления оператора выполняет роль имитатора базовой станции и обеспечивает:

- связь между оператором и БНА;
- сбор информации от БНА, отображение глубины на карте;

- планирование автономных миссий для БНА;
- формирование оптимальной траектории обследования акватории.



Рис. 2. Внешний вид БНА «Кузовок» во время испытаний на Белом озере

В октябре 2024 были проведены натурные испытания на Белом озере, Москва, при различных погодных условиях, включая солнечную погоду, сильный ветер и пасмурные периоды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дунчевская С. В., Видихин С. В., Большаков Е. Н. Опытная эксплуатация беспилотного мобильного надводного комплекса КАЛАН на внутренних водных путях и морских прибрежных акваториях и дальнейшее развитие системы // Гидротехника. 2023. № 3. С. 26–28.
2. Seok-In Sohn, Jung-Hwan Oh, Yeon-Seung Lee, Dae-Hwan Park, Il-Kwon Oh Design of a Fuel-Cell-Powered Catamaran-Type Unmanned Surface Vehicle // IEEE Journal of Oceanic Engineering. - 2014. - №40(2). - С. 388-396. doi:10.1109/joe.2014.2315889.
3. Bumblebee ASV 3.0 / [Электронный ресурс] // Bumblebee : [сайт]. — URL: <https://bumblebee.sg/asv/bbasv3/> (дата обращения: 24.12.2024).
4. БЭК "СИБУЧ" / [Электронный ресурс] // Аквароботех : [сайт]. — URL: <https://aquarobotics.ru/> (дата обращения: 24.12.2024).

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ И  
ОРИЕНТАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ  
ГЛУБОКОВОДНОГО НЕЙТРИННОГО ТЕЛЕСКОПА BAIKAL-  
GVD**

**Коллаборация Baikal-GVD**

**APPLICATION OF INERTIAL POSITIONING SYSTEM FOR  
ESTIMATION OF COORDINATES AND ORIENTATION OF OPTICAL  
MODULES OF THE BAIKAL-GVD DEEP-WATER NEUTRINO  
TELESCOPE**

Baikal-GVD Collaboration

Нейтринный телескоп нового поколения Baikal-GVD находится в стадии развертывания в оз.Байкал. В докладе описывается конструкция, принцип работы инерциальной системы позиционирования, служащей для определения положения регистрирующих модулей телескопа в водной среде.

The new generation neutrino telescope Baikal-GVD is under deployment in Lake Baikal. The report describes the design and operating principle of an inertial positioning system used to determine the position of the telescope's recording modules in the aquatic environment.

**Ключевые слова:** нейтрино, нейтринные телескопы, инерциальная система позиционирования, Байкал.

**Key words:** neutrino, neutrino telescopes, inertial positioning system, Baikal.

Baikal-GVD — это нейтринный телескоп нового поколения, который в настоящее время строится в озере Байкал. На данный момент это крупнейший детектор нейтрино в Северном полушарии, а его объем приближается к кубическому километру [1,2]. Телескоп предназначен для измерения направления и энергии астрофизических нейтрино путем регистрации черенковского излучения вторичных

частиц, образующихся при взаимодействии нейтрино с водой Байкала.

BAIKAL-GVD состоит из отдельных светочувствительных элементов, называемых оптическими модулями (ОМ), которые располагаются в толще воды в виде упорядоченной пространственной решетки. Оптический модуль BAIKAL-GVD представляет собой фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) с диаметром фотокатода 10 дюймов, размещенный (вместе с необходимой электроникой) в прозрачном сферическом корпусе. ОМ установлены на гибких кабель-тросах, натянутых между якорем и подповерхностными буями. На каждом кабеле установлено 3 секции по 12 ОМ - всего 36 ОМ с интервалом 15 м на глубинах от 1275 м до 750 м, которые составляют гирлянду. Восемь гирлянд (всего 288 ОМ) объединяются в кластер, состоящий из центральной гирлянды и семи периферийных гирлянд, размещенных в вершинах правильного семиугольника с радиусом 60 м (Рис.1). Во время зимней экспедиции 2024 года начат монтаж 14-го кластера, сейчас общее число установленных оптических модулей составляет более 4000.

Знание местоположения ОМ имеет важнейшее значение для реконструкции параметров событий (взаимодействий нейтрино), т.к. реконструкция направления прихода нейтрино прямо зависит от координат ОМ. С этой целью были разработаны две системы пространственного позиционирования:

- гидроакустическая система позиционирования;
- инерциальная система позиционирования.

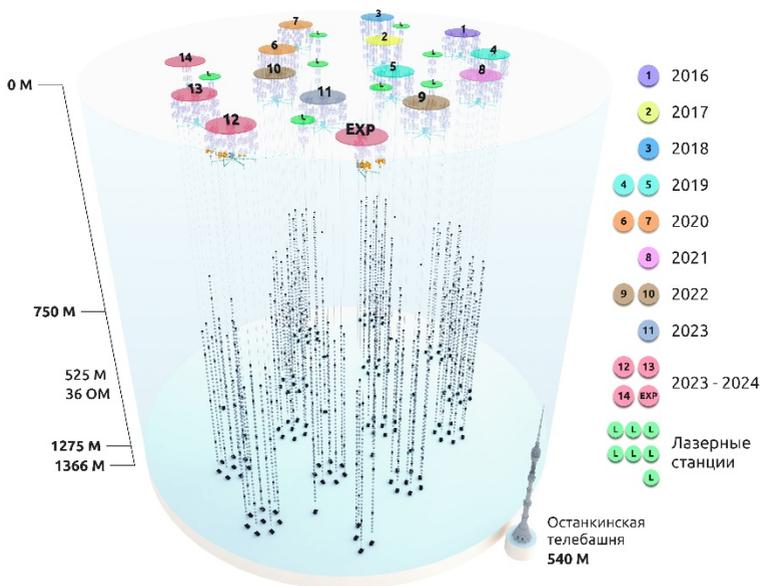


Рис. 1. Конфигурация телескопа в 2024г.

### Гидроакустическая система позиционирования

Гидроакустическая система позиционирования (Acoustic Positioning System или APS) представляет собой массив акустических модемов (АМ), установленных вдоль гирлянд согласно разметке, как показано на рисунке 2. На каждой гирлянде может быть установлено до 4-х модемов [3].

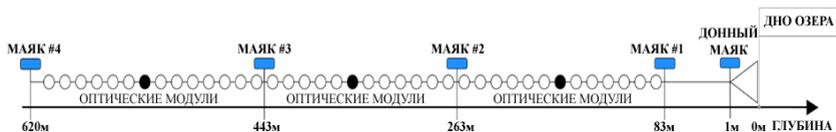


Рис. 2. Расположение акустических маяков на гирлянде.

Во время работы телескопа и сбора данных APS функционирует автономно. Маяки гирлянды последовательно опрашиваются с берега для определения акустических расстояний до «донных маяков».

### Инерциальная система позиционирования

Инерциальная система позиционирования (Inertial Positioning System или IPS) разработана для обеспечения возможности оценки пространственной ориентации и координат оптических модулей нейтринного телескопа по показаниям датчиков пространственной ориентации (ДПО), установленных на плате контроллера ОМ. В состав ДПО входит трехосевой акселерометр и трехосевой датчик магнитного поля. Для определения углов ориентации оптического модуля относительно нормальной системы координат используются 3 угла: Курс, Крен, Дифферент (Рисунок 3). Ориентация отдельной секции гирлянды в угловой системе задается двумя величинами – азимут и угол отклонения от вертикали (Рисунок 4).

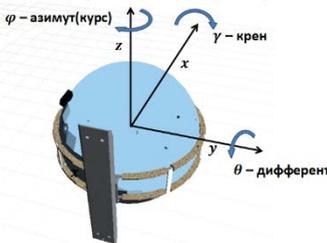


Рис.3. Углы ориентации ОМ

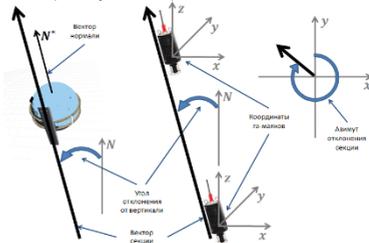


Рис.4. Углы ориентации секции

Результат сравнения углов ориентации отдельной секции, полученных по APS и IPS после привязки, приведен на Рисунке 5.



Рис.5. Углы ориентации (отклонение от вертикали и азимут) секции по APS и IPS

Инерциальная система позиционирования показывает высокую точность восстановления геометрии гирлянды при возможности получения результата с интервалом времени 1-2 минуты, что позволяет оперативно рассчитать направление на источник нейтрино

больших энергий и оповещать другие детекторы на Земле для наблюдения за этим источником.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <https://baikalgvd.iinr.ru>.
2. BAIKAL-GVD Collaboration (V. A. Allakhverdyan et al.), Deep-Water Neutrino Telescope in Lake Baikal, Phys. Atom. Nuclei 84, 1600-1609 (2021).
3. A. D. Avrorin et al. A positioning system for Baikal-GVD. PoS-ICRC2019-1012 [arXiv:1908.05529].

## Коллаборация Baikal-GVD

А.В. Аврориц<sup>1</sup>, А.Д. Аврорин<sup>1</sup>, В.М. Айнутдинов<sup>1</sup>, В.А. Аллахвердян<sup>2</sup>,  
З. Бардачова<sup>3,10</sup>, И.А. Белолептиков<sup>7</sup>, Е.А. Бондарев<sup>1</sup>, И.В. Борина<sup>2</sup>,  
Н.М. Буднев<sup>4</sup>, А.Р. Гафаров<sup>3,10</sup>, К.В. Голубков<sup>7</sup>, Н.С. Горшков<sup>7</sup>,  
Т.И. Гресь<sup>4</sup>, Р. Дворниcki<sup>3,10</sup>, Ж.-А.М. Джилкибаев<sup>7</sup>, В.Я. Дик<sup>2,5</sup>,  
Г.В. Домогацкий<sup>7</sup>, А.А. Дорошенко<sup>1</sup>, А.Н. Дячок<sup>4</sup>, Т.В. Елжов<sup>2</sup>,  
Д.Н. Заборов<sup>7</sup>, С.И. Завьядов<sup>2</sup>, Д.Ю. Звездов<sup>2</sup>, В.К. Кебкад<sup>1</sup>,  
К.Г. Кебкал<sup>9</sup>, В.А. Кожин<sup>7</sup>, М.М. Колбин<sup>7</sup>, С.О. Кодигаев<sup>1</sup>,  
К.В. Конищев<sup>7</sup>, А.В. Коробченко<sup>2</sup>, А.П. Кошечкин<sup>1</sup>, М.В. Крулов<sup>2</sup>,  
В.Ф. Кулепов<sup>7</sup>, А.А. Куликов<sup>7</sup>, Ю.Е. Лемешев<sup>7</sup>, Р.Р. Миргазов<sup>7</sup>,  
Д.В. Наумов<sup>7</sup>, А.С. Николаев<sup>7</sup>, Д.П. Петухов<sup>4</sup>, И.А. Перевалова<sup>7,4</sup>,  
Е.Н. Плисковский<sup>7</sup>, М.И. Розанов<sup>7</sup>, Е.В. Рябов<sup>4</sup>, Г.Б. Сафронов<sup>7</sup>,  
А.Э. Сиренко<sup>2</sup>, А.В. Скурихин<sup>7</sup>, А.Г. Соловьев<sup>7</sup>,  
М.Н. Сороковиков<sup>2</sup>, А.П. Стромаков<sup>7</sup>, О.В. Суворова<sup>1</sup>,  
В.А. Таболенко<sup>4</sup>, В.И. Третьяк<sup>7</sup>, Б.Б. Ульзутуев<sup>7</sup>, В.Н. Фомин<sup>12</sup>,  
И. Харук<sup>7</sup>, Е.В. Храмов<sup>7</sup>, В.А. Чадымов<sup>12</sup>, А.С. Челурнов<sup>7</sup>,  
Б.А. Шайбонов<sup>7</sup>, Ф. Шимкович<sup>3,10</sup>, Е.В. Широков<sup>7</sup>, В.Ю. Шишкин<sup>7</sup>,  
И. Штекл<sup>7</sup>, Э. Эчкерова<sup>3,10</sup>, Ю.В. Яблокова<sup>7</sup>

1 Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия, 117312

2 Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия, 141980

3 Comenius University, Братислава, Словакия, 81499

4 Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия, 664003

5 Институт ядерной физики МЭ, Алматы, Республика Казахстан, 050032

6 АО «Лаборатория гидроакустической телеметрии и навигации» (ЛАТЕНА)

7 Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ, Москва, Россия, 119991

8 Нижегородский государственный технический университет, Нижний Новгород, Россия, 603950

9 Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия, 190008

10 Czech Technical University in Prague, Прага, Чешская Республика, 16000

11 ООО «Лаборатория прикладных информационных технологий «Инфрад»», Дубна, Россия

12 Москва, исследователь

**ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО  
ДВУРУКОГО МАНИПУЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ RRT И APF**

**Се Юнцян<sup>1,a</sup>, Вэй Яньхуэй<sup>1,b</sup>, Лу Тяньхао<sup>2</sup>, Чжао Канкан<sup>1</sup>,  
Фу Юйчжэн<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*College of Intelligent Science and Engineering, Harbin Engineering  
University, Harbin, China*

<sup>2</sup>*Nanhai Institute of Harbin Engineering University, Sanya, China*  
[2019071222@hrbeu.edu.cn](mailto:2019071222@hrbeu.edu.cn), [wyyhhit@163.com](mailto:wyyhhit@163.com)

**UNDERWATER DUAL-ARM MANIPULATOR PATH PLANNING  
USING MODIFIED RRT AND APF ALGORITHMS**

**Yongqiang Xie<sup>1,a</sup>, Yanhui Wei<sup>1,b</sup>, Tianhao Lu<sup>2</sup>, Kangkang Zhao<sup>1</sup>,  
Yuzheng Fu<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*College of Intelligent Science and Engineering, Harbin Engineering  
University, Harbin, China*

<sup>2</sup>*Nanhai Institute of Harbin Engineering University, Sanya, China*  
[2019071222@hrbeu.edu.cn](mailto:2019071222@hrbeu.edu.cn), [wyyhhit@163.com](mailto:wyyhhit@163.com)

В данном исследовании предложен алгоритм планирования траектории, сочетающий в себе быстро расширенное случайное дерево (RRT) и искусственное потенциальное поле (APF), специально разработанный для подводных двуруких роботов, который решает задачи обхода препятствий и кооперации. Эксперименты показывают, что предложенный алгоритм превосходит традиционный метод.

In this study, a path planning algorithm combining Rapidly Extended Random Tree (RRT) and Artificial Potential Field (APF) is proposed, which is specially designed for underwater two-arm robots, which solves the problems of obstacle avoidance and cooperation. Experiments show that the proposed algorithm is superior to the traditional method.

**Ключевые слова:** Подводная робототехника, двурукий манипулятор, планирование траектории

**Keywords:** Underwater robotics, dual-arm manipulator, path planning

По мере того, как спрос человечества на морские ресурсы продолжает расти, растет и потребность в передовом морском исследовательском оборудовании. Системы манипуляторов подводных аппаратов (UVMS) стали центральным направлением исследований. С эволюцией морского оборудования в сторону более высокой точности, сложных функциональных возможностей и повышенной эффективности, традиционная конструкция UVMS с одной рукой-манипулятором, которая преобладала в прошлых исследованиях, не справлялась со сложными подводными задачами. Следовательно, существует острая необходимость в разработке систем манипуляторов подводных аппаратов с двумя манипуляторами (UVDMS) для удовлетворения современных потребностей подводных операций. По сравнению с UVMS, UVDMS сталкивается с дополнительными проблемами. Две манипуляторные руки должны не только избегать препятствий во внешней среде во время движения, но и учитывать возможные столкновения и проблемы координации между собой. Чтобы решить эти проблемы, в данной статье представлен метод планирования пути для UVDMS, основанный на улучшенном алгоритме быстрого исследования случайного дерева (RRT) в сочетании с алгоритмом искусственного потенциального поля (APF).

Алгоритм Rapidly-exploring Random Tree (RRT) — это вероятностно-полный подход к планированию пути, основанный на случайной выборке. Начиная с заранее определенной начальной точки, алгоритм постоянно расширяет новые узлы с помощью случайного поиска и включает их в дерево, повторяя этот процесс до тех пор, пока не будет найден подходящий путь. Однако традиционные алгоритмы RRT имеют большое количество итераций и длительное время поиска из-за случайной выборки, а результирующие пути часто извилисты. Рассматривая эти две проблемы, в данной статье предлагается улучшенный алгоритм планирования пути RRT. Этот алгоритм выбирает целевую точку в качестве точки выборки с определенной вероятностью, направляя случайное дерево к целевой точке и повышая целенаправленность алгоритма. Кроме того, для решения проблем, связанных со сглаживанием и низким качеством траектории, для оптимизации был введен алгоритм RRT\*. Он повторно выбирает родительские узлы среди уже запланированных точек пути, чтобы свести к минимуму стоимость вновь сгенерированных путей к узлам, и перестраивает соединения, чтобы уменьшить количество избыточных путей в дереве случайных чисел после создания новых узлов, тем самым снижая общую стоимость пути.

В практических приложениях некоторые участки пути,

спланированные с помощью улучшенного алгоритма планирования пути RRT, простираются близко к краям препятствий. При планировании траекторий для манипуляторных рук необходимо также учитывать расстояние до препятствий, так как близкое расположение может привести к царапинам или столкновениям. Чтобы избежать подобных явлений, в данной работе для решения вышеупомянутых проблем используется вышеупомянутый усовершенствованный алгоритм RRT с алгоритмом искусственного поля потенциала (APF), основанным на этой идее. Алгоритмический принцип проиллюстрирован на рисунке 1, на котором подробно описана связь между улучшенным алгоритмом RRT и алгоритмом APF. Препятствия оказывают отталкивающую силу на узлы, в то время как точка цели оказывает притягивающую силу. Результирующая сила заставляет новые узлы держаться дальше от препятствий и ближе к целевой точке.

Что касается координации двух рук, в данной статье используется метод управления «ведущий-ведомый». Сначала выполняется планирование обхода препятствий для ведущей манипулятора, а затем планирование обхода препятствий для ведомой руки манипулятора на основе траектории ведущей руки манипулятора. На этой основе используется метод обнаружения столкновений с ограниченным прямоугольником, упрощающий манипуляторные рычаги до цилиндрических звеньев для расчета кратчайшего расстояния между двумя манипуляторами. Для предотвращения возможных столкновений устанавливается определенный порог расстояния. Если расстояние между двумя манипуляторами не соответствует пороговому ограничению, траектория может быть перепланирована. Блок-схема алгоритма планирования представлена на рис.2, где подробно описаны шаги по реализации планирования траектории движения двухрукового манипулятора подводного аппарата.

Основными вкладами данного документа являются следующие: Во-первых, для манипулятора с одной рукой предложен интегрированный алгоритм планирования траектории, сочетающий усовершенствованный алгоритм RRT с алгоритмом APF. Во-вторых, для манипулятора с двумя руками, основанного на интегрированном алгоритме планирования пути, сочетающем усовершенствованный алгоритм RRT с алгоритмом APF, введен алгоритм планирования пути ведущий-ведомый для манипулятора с двумя руками подводного аппарата. Наконец, одни только сравнения с традиционным алгоритмом RRT и улучшенным алгоритмом RRT демонстрируют превосходство предложенного алгоритма.

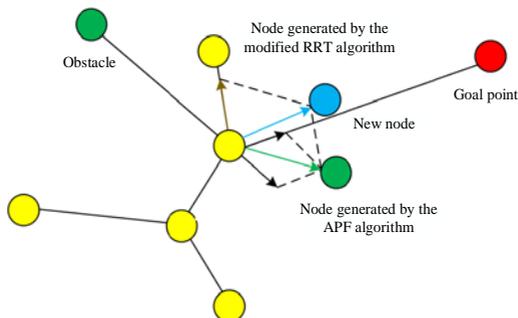


Рис.1 Принцип работы алгоритма, объединяющего усовершенствованный алгоритм RRT с алгоритмом APF

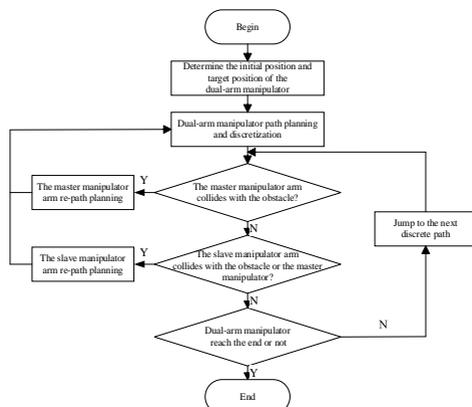


Рис.2 Блок-схема алгоритма планирования траектории движения манипулятора с двумя манипуляторами для подводного аппарата

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kang M ,Chen Q ,Fan Z , et al. A RRT based path planning scheme for multi-DOF robots in unstructured environments [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2024, 218 108707.
2. Liu H ,Zhang X ,Wen J , et al. Goal-biased Bidirectional RRT based on Curve-smoothing [J]. IFAC PapersOnLine, 2019, 52 (24): 255-260.
3. Monan W ,Jiaqi C . A review of collision detection for deformable objects [J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2021, 32 (5).

УДК 551.46

## РЕГИСТРАЦИЯ КРУПНЫХ ВЫБРОСОВ МОРСКОГО МУСОРА С ПОМОЩЬЮ АВТОНОМНОЙ ВИДЕОКАМЕРЫ

**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)*

### RECORDING LARGE MARINE LITTER WASH OUTS WITH AUTONOMOUS VIDEOCAMERA

Fetisov S.V.

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

Проведен анализ видеоряда длительностью 22 месяца, сделанного с помощью автономной камеры. Зарегистрированы и описаны 19 случаев выброса морского мусора на берег в виде пятен, совместно с органическим материалом.

An analysis was conducted of 22 months series of photographs captured by an autonomous camera. The analysis revealed 19 instances of marine litter patches being beaching on shore, and these were subsequently described in detail.

Аккумуляция морского мусора на пляжах оказывает негативное воздействие на окружающую среду, здоровье человека и рекреационную деятельность. Согласно данным моделирования, 77% морского мусора скапливается в прибрежной зоне [1]. Под воздействием течений и волн мусор перемещается вдоль берега между пляжем и водой, поэтому его распределение на берегу изменчиво. Исследования показали, что неоднородность распределения мусора на пляже может быть связана также с близостью его источников, таких как населенные пункты, речные системы, промышленные зоны, рыболовные угодья, аквакультурные и сельскохозяйственные фермы, а также туристические направления [2]. Предыдущие исследования показывают, что наибольшее количество и масса пластикового морского мусора (среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение:  $13.75 \pm$

8.61 шт/м<sup>2</sup> и 19.97 ± 5.92г сухого веса/м<sup>2</sup> соответственно) наблюдались после штормов в органическом материале, выброшенном на берег в виде пятен у береговой линии. Это на два порядка превышает загрязнение пластиковым мусором, полученное по методике OSPAR на тех же пляжах в хорошую погоду [3].

Для оценки частоты и причин формирования выбросов морского мусора совместно с органическим материалом, на северном побережье Самбийского полуострова в районе п. Куликово (54° 56.227' с.ш, 20° 21.914' в.д, рис. 1) была установлена автономная камера Филин-300 4G. Камера делает снимки в полуавтоматическом режиме с дискретностью 1 час (рис. 2). В ручном режиме, удаленно, осуществлялась корректировка времени работы камеры в зависимости от длины светового дня в разные сезоны (от 8 снимков/сут. в зимний период, до 19 снимков/сут. в летний). Камера имеет угол обзора 120° и направлена на запад (под углом к линии берега) для фиксации состояния пляжа (участок около 150 м) и моря. Данные собирались с февраля 2023 года по ноябрь 2024 года, таким образом был получен видеоряд длительностью 22 месяца.



Рис. 1. Район исследования с указанием места установки автономной камеры.

В результате было обработано и проанализировано 9484

фотографий суммарного объема 27.6 Гб. При анализе полученного ряда было зафиксировано 19 эпизодов выброса морского мусора в виде пятен совместно с органическим материалом (водорослями, листьями и др.). Наибольшее количество наблюдалось в осенний период (52%), т.е. в то время, когда повышается интенсивность штормов в юго-восточной части Балтийского моря. Выбросы возникали после штормов в момент уменьшения высоты волны и понижения уровня моря. Значительная высота волны, при которой наблюдались выбросы – 0.4 м (по данным реанализа Copernicus [4]). Длительность нахождения пятен морского мусора на пляже варьируется от 1 до 7 суток (среднее  $3.4 \pm 1.9$ ) и зависит от условий, при которых был выброс (волнение, уровень моря).

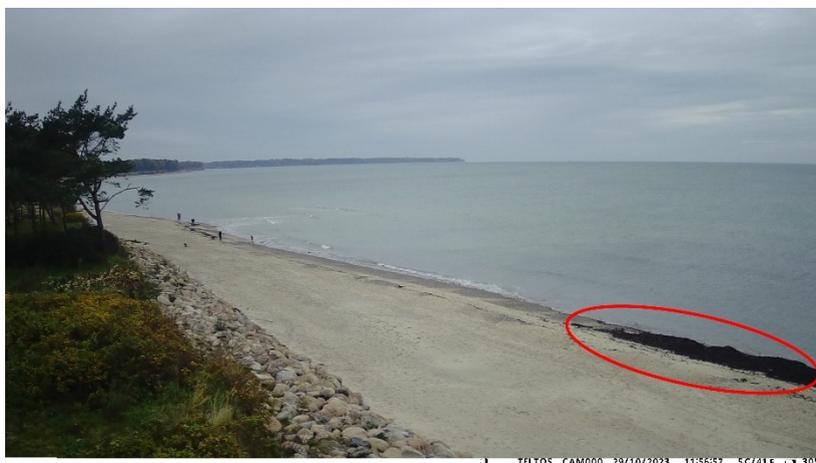


Рис. 1. Пример фото с камеры от 29 октября 2023 года. На фото зафиксирован (выделен красным) крупный выброс органического материала (*Furcellaria lumbricalis*)

Отдельно были зафиксированы крупные фрагменты морского мусора. Идентифицировано 2 автомобильные шины и 2 крупных предмета белого цвета, предположительно фрагменты от мешков «биг-бэг». Данный вид мешков из композитного материала используется на северном побережье Самбийского полуострова для берегоукрепления (в период наблюдения производились работы по берегоукреплению возле района исследования).

Анализ полученного видеоряда позволил зафиксировать случаи выбросов морского мусора в наблюдаемой точке побережья. Собранные сопутствующие метеорологические и гидрофизические

данные (скорость и направление ветра, значительная высота волны, ход уровня моря) будут использованы для разработки параметризации процессов выброса для дальнейшего их прогнозирования с помощью алгоритмов машинного обучения.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ №24-17-00099.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Onink, V., Jongedijk, C.E., Hoffman, M.J., Van Sebille, E., Laufkötter, C. Global simulations of marine plastic transport show plastic trapping in coastal zones // Environ. Res. Lett., 2021, 16, 064053. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abecbd>
2. Kaandorp, M. L. A., Ypma, S. L., Boonstra, M., Dijkstra, H. A., Van Sebille, E. Using machine learning and beach cleanup data to explain litter quantities along the Dutch North Sea coast // Ocean Sci., 2022, 18, 269–293, <https://doi.org/10.5194/os-18-269-2022>.
3. Fetisov S., Esiukova E., Lobchuk O., Chubarenko I. Abundance and mass of plastic litter on sandy shore: Contribution of stormy events // Marine Pollution Bulletin, 2024, 207, 116911, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116911>
4. European Union-Copernicus Marine Service. Baltic Sea Wave Analysis and Forecast. 2020. <https://doi.org/10.48670/MOI-00011>

УДК 004.932

## АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕНИЯ РАЗЛИЧИМОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПОДВОДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**Бабич В.А., Макашов А.А.**

*МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5 стр. 1, тел. 499 263 63 91, факс 499 267 48 44 Email: kafsm11@bmsu.ru*

## THE UNDERWATER IMAGES DETALIZATION ENHANCEMENT ALGORITHMS

**Babich V.A., Makashov A.A.**

*Bauman Moscow State University, 105005, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya str, 5 p 1, Moscow, Russia.*

В докладе изложены различные подходы к повышению различимости деталей подводных изображений и приведено их сравнение на изображениях из тестового датасета. Описано применение методов выравнивания уровня освещённости, повышения контраста, устранения эффекта дымки и фильтрации шумов для подводных изображений.

In the report different approaches for underwater images enhancement are described, their comparison on underwater dataset images are provided. The application of lighting alignment, contrast improvement, dehazing and denoising methods for underwater images are described.

**Ключевые слова:** подводные изображения, гистограммное выравнивание, растяжение контраста, гомоморфная фильтрация, ретинекс, билатеральный фильтр.

**Key words:** underwater images, histogram equalization, contrast stretching, homomorphic filtering, retinex, bilateral filter.

Подводная видео и фотосъёмка активно применяется в системах технического зрения, а также в исследовательских целях. Однако оптические свойства водной среды, такие как стремительное и спектрально неравномерное затухание и рассеяние света, не позволяют получить изображения высокого качества. Низкая освещённость подводной сцены также требует применения источников заливающего света. Из-за перечисленных выше факторов для подводных изображений свойственны неравномерность освещённости, суженный динамический диапазон, шумы и эффект дымки.

Для обработки изображений используется библиотека OpenCV и язык программирования C++. Изображения преобразуются в формат CIELAB, в котором разделены хроматические координаты и координата светлоты L. Для выравнивания освещённости коррекции подвергается канал светлоты L. После коррекции изображения преобразуется обратно в формат RGB. В качестве методов выравнивания освещённости рассмотрены глобальное гистограммное выравнивание, гистограммное выравнивание с ограничением контраста (CLAHE — Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [1], гомоморфная фильтрация [2] и алгоритмы на основе теории ретинекса [3].

На рис. 1 продемонстрированы результаты применения

различных алгоритмов выравнивания освещённости изображения. На рис. 1а представлены подводные изображения, взятые из публичных датасетов [4], до применения алгоритмов выравнивания освещённости. На рис. 1б показаны подводные изображения после применения глобального гистограммного выравнивания. На рис. 1в представлены изображения после применения CLAHE с пределом отсечения (clip limit) 2,5 и разбиением изображения на 96 одинаковых прямоугольников. На рис. 1г изображены результаты применения гомоморфной фильтрации с фильтрацией 0,15% низкочастотных гармоник. На рис. 1д показаны результаты применения алгоритма single scale retinex (SSR).

На рис. 1 можно наблюдать, что лучший результат по выравниванию освещённости показывают гомоморфная фильтрация и SSR, однако эти алгоритмы существенно снижают динамический диапазон изображения, а также обладают большей вычислительной сложностью. Глобальное гистограммное выравнивание и CLAHE менее эффективно выравнивают освещённость, однако позволяют повысить контрастность изображения и обладают большим быстродействием. Алгоритмы на основе гистограмм могут применяться в качестве методов повышения контраста изображения и в приложениях особо требовательных к быстродействию.



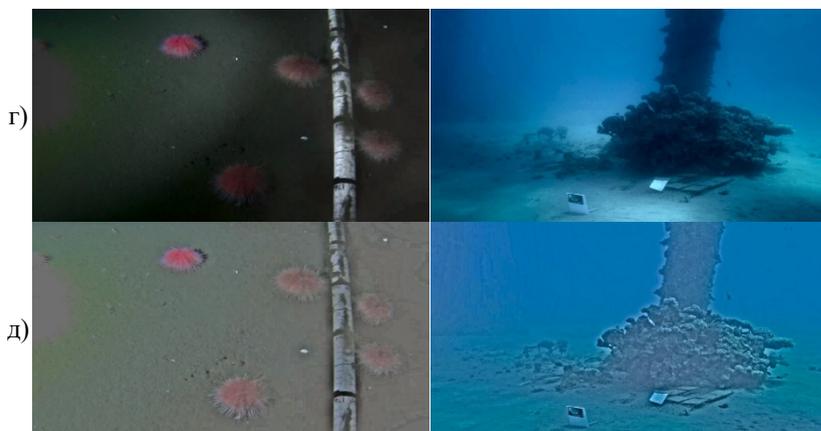


Рис. 1. Результаты применения различных алгоритмов выравнивания освещённости изображения: а – исходные изображения; б – результат работы глобального гистограммного выравнивания; в – результат работы CLAHE; г – результат работы глобального гистограммного выравнивания; д – результат работы SSR

В качестве методов фильтрации шумов рассматриваются фильтр Гаусса и билатеральный фильтр. Для устранения эффекта дымки на основе одного изображения предлагается использование метода dark chanel prior.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. P. Gupta Histogram Based Image Enhancement Techniques: A Survey / P. Gupta, J.S. Kumare, U.P. Singh, R.K. Singh // International Journal of Computer Sciences and Engineering. — 2017. № 5. — С. 177-181;
2. Homomorphic filtering [Электронный ресурс]: статья на сайте Wikipedia — URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Homomorphic\\_filtering](https://en.wikipedia.org/wiki/Homomorphic_filtering) (дата обращения: 01.12.24);
3. Doo Hyun Choi COLOR IMAGE ENHANCEMENT USING SINGLE-SCALE RETINEX BASED ON AN IMPROVED IMAGE FORMATION MODEL / Doo Hyun Choi, Ick Hoon Jang, Mi Hye Kim, Nam Chul Kim // ResearchGate: [сайт]. — 2008. URL: [https://www.researchgate.net/publication/229001285\\_Color\\_image\\_enhancement\\_using\\_single-scale\\_retinex\\_based\\_on\\_an\\_improved\\_image\\_formation\\_model](https://www.researchgate.net/publication/229001285_Color_image_enhancement_using_single-scale_retinex_based_on_an_improved_image_formation_model) (дата обращения: 07.12.24);
4. UnderwaterDataset [Элек. Рес.]: таблица с датасетами на сайте GitHub URL: <https://github.com/ddz16/UnderwaterDataset?ysclid=m4ood218lx165578435> (дата обращения 15.12.24);

**ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ СОРЕВНОВАНИЙ ПО МОРСКОЙ  
РОБОТОТЕХНИКЕ. ИТОГИ ВСЕРОССИЙСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ И СОРЕВНОВАНИЙ ТПА И БЭК В Г.  
АСТРАХАНИ**

**Ермаков И.Д., Ермаков Д.И.**

*Касп. филиал Института океанологии им. П.П. Шишова РАН, 414056, г.  
Астрахань, ул. Савушкина, д. 6, корп. 27, офис 5. +7 (8512) 54-45-59*

**EXPERIENCE OF HOLDING COMPETITIONS IN MARINE ROBOTICS.  
RESULTS OF THE ALL-RUSSIAN CONFERENCE AND  
COMPETITIONS OF ROV AND USV IN ASTRAKHAN**

**Ermakov I.D., Ermakov D.I.**

*Caspian branch Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences*

В докладе представлен опыт проведения соревнований по телеуправляемым подводным аппаратам (ТПА) и безэкипажным катерам (БЭК), проводимых в Астрахани. Конференция «Опыт и перспективы применения морских роботизированных комплексов (МРТК)» как итог проведения соревнований.

The report presents the experience of holding competitions in remotely operated underwater vehicles (ROV) and unmanned surface vehicles (USV) held in Astrakhan.

Conference "Experience and Prospects of using Marine Robotic Complexes (MRTC)" as a result of the competitions.

**Ключевые слова:** телеуправляемый подводный аппарат (ТПА), соревнования, безэкипажный катер (БЭК), морские роботизированные комплексы

**Key words:** remotely operated underwater vehicle (ROV), competition, unmanned surface vehicles (USV), marine robotic systems

В докладе рассказывается о 7-и летней истории проведения соревнований по ТПА и идеи её возникновения.

Одной из целей проведения соревнований является

популяризация подводной и надводной робототехники в среде молодых ученых, студентов и учащейся молодежи.

Место проведения соревнований: ТПА – бассейн с погружным макетом вертолета, имитирующего реалистичные условия подводного замкнутого пространства; БЭК – открытый водоём.

География и количество участников соревнований по ТПА с каждым годом увеличивается.

В соревнованиях принимают участие команды трёх категорий. Для участия в соревнованиях ТПА должен соответствовать определённым требованиям. Одно из них – ТПА осмотрового класса.

В рамках соревнований участники выполняют четыре упражнения.

Первые соревнования по БЭК. Участники и их катера.

Итоги соревнований и награждение победителей.

Конференция – научная площадка для обмена опытом в области морских роботизированных комплексов.

Участники конференции и её итоги.

УДК 551.46.08

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИДОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ БНПА «ВИДЕОМОДУЛЬ».**

**Лакно О.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, e-mail: lakhno.lyolya@gmail.ru*

## **DEVELOPMENT OF A TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM FOR TUV "VIDEOMODUL"**

**Lakhno O.V.**

*Shirshov Institute of Oceanology, RAS, 36, Nakhimovsky prosp. Moscow  
117997 Russia, e-mail: lakhno.lyolya@gmail.ru*

В работе рассматривается разработка системы измерения придонной температуры для буксируемого необитаемого подводного аппарата «Видеомодуль» Института океанологии им. П. П. Ширшова. Обсуждаются важность регистрации

температуры для интерпретации распространения донных организмов, а также необходимость ее получения в реальном времени.

Paper discusses the development of a temperature measurement system for the towed underwater vehicle "Videomodule" of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology. It addresses the importance of temperature registration for interpreting the distribution of benthic organisms, as well as the necessity of obtaining this information in real time.

**Ключевые слова:** подводные устройства, буксируемый аппарат, датчик температуры, придонная температура воды

**Key words:** underwater devices, towed vehicle, temperature sensor, bottom water temperature

Температура придонного слоя воды играет ключевую роль в экологии донных организмов, оказывая существенное влияние на их распределение, рост и развитие. Перемены в температуре могут влиять на изменение мест обитания, поведение и даже выживаемость донных видов. Многие организмы, такие как ракообразные и моллюски, обладают узкой температурной нишей, что делает их уязвимыми к колебаниям температуры окружающей среды. Именно поэтому регистрация температуры является одним из необходимых параметров для интерпретации подводной съемки и позволяет не только отслеживать текущие условия обитания видов, но и предсказывать возможные изменения в их распределении в ответ на климатические изменения.

Для маршрутных глубоководных видео-наблюдений, изучения экосистем донных сообществ Карского моря [1], получения данных о микрораспределении донной фауны и структуре поверхности в целом в Институте океанологии был разработан буксируемый необитаемый подводный аппарат (БНПА) «Видеомодуль». С помощью этого аппарата в различных районах выполняются протяженные видеотрансекты (~ 600 м), позволяющие исследовать пространственное распределение донных организмов, их плотность и мозаичность [2].

На сегодняшний день, в ходе исследований применяются зонды солености, температуры и давления (СТД), которые обеспечивают измерения профиля температуры от поверхности до дна только в точке станции, которая, как правило, совпадает с началом

видеотрансекты. Однако, при таких измерениях невозможно зарегистрировать изменения в придонной температуре, которые происходят вследствие изменения рельефа дна и горизонтальной структуры водных масс. Кроме того, получения данных температуры вдоль трансекты позволит регистрировать аномалии температуры, которые могут быть связаны с течениями или наличием подводной разгрузки природных газов. В данном докладе будут представлены этапы разработки датчика температуры установленного на БНПА «Видеомодуль» с возможностью передачи данных в реальном времени.

В качестве чувствительного элемента был выбран платиновый термопреобразователь сопротивления РТ100, который демонстрирует линейную зависимость сопротивления от температуры, составляя 100 Ом при 0 °С. Линейность характеристики, а также гораздо более высокие показатели по точности и повторяемости результатов измерений, делают термосопротивления оптимальными сенсорами температуры для решения поставленной задачи. В состав измерительного блока также входят модуль МАХ31865 и микроконтроллер Arduino Nano. Модуль МАХ31865 предназначен для подключения датчика к микроконтроллеру и передачи полученных значений по интерфейсу SPI. Данный модуль имеет готовый усилитель сигнала, позволяющий регулировать и компенсировать сопротивление соединительных проводов датчика РТ100. Модуль оснащен 15-битным АЦП обеспечивающим разрешение до 0.03 °С. Микроконтроллер Arduino Nano отвечает за чтение данных с МАХ31865 и их передачу на бортовой компьютер БНПА «Видеомодуль» через интерфейс RS232.

Для адаптации конструкции датчика к подводным условиям и обеспечения прочности при высоком давлении (до 600 атмосфер) была произведена трехэтапная герметизация с помощью двухкомпонентного компаунда, а подключение к измерительному модулю осуществлено посредством герметичного подводного разъемного соединителя. После чего экспериментальный образец системы для регистрации температуры был смонтирован в управляющем электронном блоке БНПА «Видеомодуль» и подключен к интерфейсу передачи данных RS232, расположенному в этом же блоке.

Испытание и отладка системы была выполнена в ходе 96-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш», основываясь на получаемых системой данных и их интеркалибрации с данными СТД-зондирования водной толщи. Также был выполнен ряд видеотрансект

в ходе которых были получены данные придонной температуры воды.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0024).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zolota 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). p. e7952.
2. 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. – № 12-1. – С. 142-147;

УДК 551.46.06

### **ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ДНА**

**Анисимов И.М., Лахно О.В., Лесин А.В., Муравья В.О.**

*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)*

### **APPLICATION OF 3D RECONSTRUCTION FOR SEAFLOOR SURFACE STUDIES**

**Anisimov. I.M., Lakhno O.V., Lesin A.V., Muravya V.O.,**

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

В докладе рассматривается опыт использования методов трехмерной реконструкции на примере материалов, полученных с помощью одной движущейся в пространстве камеры, установленной на подводный аппарат.

The report deals with the experience of using three-dimensional

reconstruction methods on the example of materials obtained with the help of a single camera moving in space, mounted on an underwater vehicle.

Методы трехмерной реконструкции широко применяются для анализа материалов подводной видеосъемки поверхности дна и подводных объектов [1]. Ортофотопланы участков поверхности дна позволяют оценить форму микрорельефа, распределение биологических и геологических объектов. Трехмерные модели подводных объектов (археологических объектов, затопленных судов и самолетов и т.д.) позволяют проводить анализ состояния их конструкций и определение геометрических размеров.

В ходе арктических экспедиций ИО РАН используется буксируемый необитаемый подводный аппарат (БНПА) «Видеомодуль» [2], оснащенный системой подводного видения, включающую видеокамеру разрешения 4К. Стандартный анализ видеозаписей включает в себя генерацию массива не перекрывающихся друг друга изображений, маркировку присутствующих объектов и их измерения. При этом предполагается, что дно относительно плоское, и основными геометрическими параметрами объектов являются длина и ширина. В тех случаях, когда необходимо оценить и высоту, необходимо применение методов трехмерной реконструкции. В случае одной камеры используется алгоритм Structure from Motion (SfM, Структура из движения), реализованный во многих пакетах ПО.

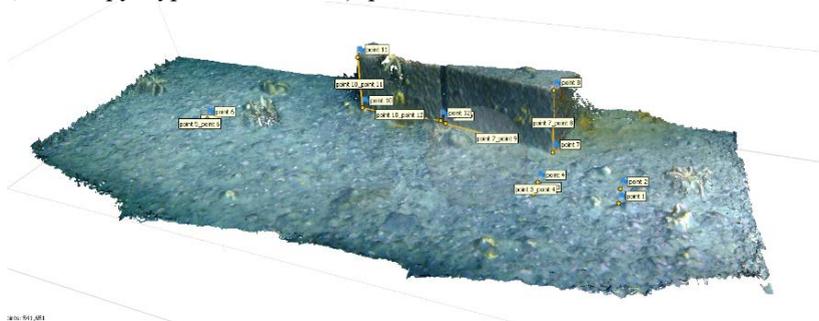


Рис. 1. Масштабированная 3D модель объекта, обнаруженного в ходе маршрутной видеосъемки с помощью БНПА «Видеомодуль» в заливе Степового.

Использование метода трехмерной реконструкции необходимо в случае исследования крупных объектов со сложной геометрией. В 85

рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в заливе Степового в ходе проведения маршрутной видеосъемки был обнаружен объект, интерпретированный как два контейнера с радиоактивными отходами. Этот вывод требовал уточнения, т.к. наличие подобных контейнеров действительно известны, однако все они были обнаружены в другой части залива. Для уточнения информации была выполнена трехмерная реконструкция, в результате которой была получена 3D модель обнаруженного объекта. Масштабирование модели было выполнено путем сравнения в известном расстоянии между лазерными отметками на поверхности дна. Измерения объекта показали, что его габаритные размеры хорошо совпадают с размерами известных контейнеров с радиоактивными отходами (рисунок 1). Проведенные в другой экспедиции (АМК-97) прямые радиационные измерения подтвердили эту гипотезу, показав наличие гамма-излучения радиоактивного изотопа  $^{137}\text{Cs}$  вблизи объекта.

Данный метод демонстрирует полезные результаты, в том числе в случае, когда поверхность дна относительно плоская, но присутствуют участки с более выраженным микрорельефом. Так, в 96 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» одной из задач было исследование района подводной разгрузки метана на шельфе к западу от п-ова Ямал. Маршрутная видеосъемка показала присутствие на дне бактериальных матов необычной структуры: в центре располагается синеватая область, по виду соответствующая наблюдаемым в других местах бактериальным матам, вокруг которой имеется слой ярко-рыжего цвета. При этом вся структура визуально приподнята над остальным рельефом. Для подтверждения этого наблюдения была выполнена трехмерная реконструкция участков дна, по результатам которой был построен ортофотоплан (рисунок 2-а) и карта высот (рисунок 2-б), из которых видно, что области бактериальных матов приподняты над окружающей поверхностью на 7-10 см.

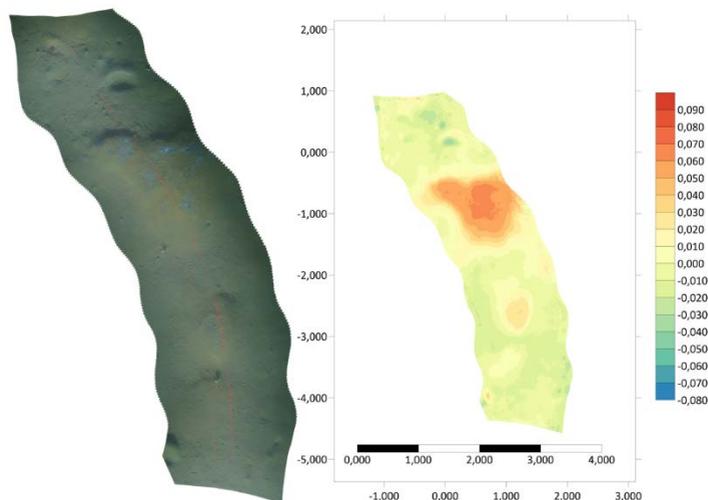


Рис. 2. Трехмерная реконструкция участка дна с бактериальными матами на шельфе к западу от п-ова Ямал, Карское море: а. – ортофотоплан, построенный на материалах видеоизображений БНПА «Видеомодуль»; б. – соответствующая карта высот, демонстрирующая подъем грунта в области бактериальных матов.

По результатам можно сделать вывод, что использование методов трехмерной реконструкции хорошо показывает себя в изучении как крупногабаритных объектов, так и для исследования тонкой структуры микрорельефа.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0024). Обработка видеоизображений выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-17-00156).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. McCarthy J.K., Benjamin J., Winton T., van Duivenvoorde W. 3D Recording and Interpretation for Maritime Archaeology. Springer Nature, 2019. 237 с.
2. Анисимов И. М., Залота А. К., Лесин А. В., Муравья В. О. Особенности исследования биологических и техногенных объектов с использованием глубоководных буксируемых аппаратов // Океанология. 2023. Т. 63. № 5. С. 840-852.

## КРУШЕНИЕ ОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА «ТИТАН», ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ПРОЧНОГО КОРПУСА

Войтов Д.В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)124-13-01,  
voitov2008@yandex.ru*

THE WRECK OF THE SUBMERSIBLE TITAN, THE CAUSES  
OF THE DESTRUCTION

Voitov D.V.

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

18 июня 2023 года глубоководный обитаемый аппарат «Титан» перестал отвечать на запросы подводной связи во время очередного погружения к обломкам лайнера «Титаник». Обломки аппарата были обнаружены в пятистах метрах от носовой части «Титаника» с помощью телеуправляемого аппарата. В настоящей статье представлена краткая история создания подводного аппарата «Титан» и рассмотрены причины, приведшие к разрушению аппарата и гибели экипажа.

On June 18, 2023, the Titan underwater habitable vehicle stopped responding to underwater communications requests during another dive to the wreckage of the Titanic liner. Five hundred meters from the bow of the Titanic, the wreckage of the device was discovered using a ROV. This article presents a brief history of the creation of the Titans underwater vehicle and examines the cause that led to the destruction of the vehicle and the death of the crew.

**Ключевые слова:** подводный обитаемый аппарат, прочный корпус, корпус из композита, иллюминатор

**Key words:** submersible, pressure hull, composite hull, viewport.

С момента основания компании OceanGate в 2009 году, ее учредитель Стоктон Раш купил и использовал для коммерческих

погружений подводные обитаемые аппараты: Antipodes (в 2009 г.), «Лула 500» (в 2013 г.). В 2014 OceanGate Inc. приступила к комплексной модернизации «Лула 500», превратив его в аппарат с глубиной погружения до 3000 метров («Циклоп»). Проект предусматривал производство и использование корпуса из углеродного волокна (легкого, прочного и более вместительного, по мнению Стоктона Раша). Но от этой идеи отказались в пользу старого стального корпуса, после того, как в июне 2015 года масштабная модель аппарата полностью из углеродного волокна была разрушена в испытательной камере Лаборатории прикладной физики Вашингтонского университета (APL-UW) при давлении, соответствующем глубине 3 000 метров. В течение 2016 года OceanGate провела ряд испытаний давлением. Результаты испытаний: разрушения масштабных моделей цилиндрического корпуса из углеродного волокна при давлении не доходящего до требуемого запаса прочности обитаемого корпуса.

В 2017 г. OceanGate заключила контракт с компанией Spencer Composites Corporation на проектирование и изготовление цилиндрического корпуса из углеродного волокна диаметром 1,4 м и длиной 2,5 м на рабочее давление 46 МПа (450 атм) с коэффициентом безопасности 2,25 при предполагаемой максимальной глубине погружения 4000 м. Толщина корпуса (150 мм) была проверена с помощью анализа конечных элементов (FEA). Моделирование проводилось в SolidWorks, а анализ - с помощью COSMOS/M.

К январю 2018 года аппарат, получивший наименование «Титан» был достроен, его начали готовить к ходовым испытаниям. Директор OceanGate по морским операциям Дэвид Локридж обнаружил множество серьезных проблем с аппаратом, включая расслоение корпуса из углеродного волокна, и настоятельно потребовал от OceanGate провести его проверку и сертификацию. Стоктон Раш проигнорировал предупреждения Локриджа и многих экспертов, которые считали, что он вводит общественность в заблуждение.

В апреле 2018 г. на Багамах в корпус аппарата ударила молния, повредив большую часть электронного оборудования. После этого корпус аппарата не был проверен ультразвуковым сканированием. В 2018 и 2019 г.г. проводились погружения «Титана» в беспилотном и пилотируемом режимах. В апреле 2019 г. во время погружения на 3760 метров экипаж слышал несколько громких щелчков в районе переходного титанового кольца. В результате проверки корпуса было выявлено отслоение целого куска углеродного волокна.

Новый композитный корпус в январе 2021 г. изготовили компании Electroimpact и Janicki Industries. Полноразмерный корпус испытали на прочность и герметичность в испытательном центре Deep Ocean в Аннаполисе. Экономя деньги и время, Раш решил не делать масштабные модели и заказывать новые титановые элементы корпуса. Старые кольца и полусферы были очищены от остатков эпоксидного клея и вклеены в новый цилиндрический корпус из углеродного волокна. В июле 2021 года «Титан» совершил погружение к месту крушения «Титаника», при этом заказчики подписывали отказ от претензий, признавая экспериментальный характер аппарата.

В статье представлены технические характеристики ОПА «Титан», его оборудование, включая систему подводного позиционирования и связи. Рассмотрены свойства углепластика по сравнению с другими стандартными материалами для производства прочных корпусов подводных аппаратов: титановыми сплавами и мартенситной сталью.

17 июня 2023 года подводный аппарат «Титан» на борту Polar Prince покинул Сент-Джонс, Ньюфаундленд, чтобы погрузиться к «Титанику». Погружение началось в 9:18 утра 18 июня. Последнее текстовое сообщение «Сбросил два груза» было отправлено с «Титана» в 10:47 утра на глубине 3340 метров. Акустическая система обнаружения, предназначенная для поиска военных подводных лодок ВМС США через несколько часов после погружения «Титана» зафиксировала акустический сигнал, соответствующий взрыву. Начались масштабные поисковые работы с участием американских и канадских сил и средств Береговой охраны, в которых приняли участие несколько самолетов, кораблей и подводных аппаратов. 22 июня обломки «Титана» были обнаружены неподалеку от места крушения «Титаника».



Рис. 1. Обломки «Титана», обнаруженные ТНПА «Одиссей 6К» на грунте.

Среди обломков были найдены человеческие останки. Было начато расследование, Береговая охрана США провела общественные слушания по расследованию катастрофы подводного аппарата «Титан» с пятью пассажирами. К расследованию был привлечен Национальный совет по безопасности на транспорте (NTSB). Проведенный анализ образцов углеродного волокна из корпуса аппарата привел к обнаружению аномалий, включая волнистость, складки и пористость, которые потенциально ослабляли конструкцию. «Титан» взорвался на критическом для него давлении из-за разрушения уже ослабленного циклами погружений корпуса из углеродного волокна.



Рис. 2. Волнистость и морщины на обрезанном конце, пористость на вырезанном сегменте.

Расследование технических недостатков «Титана», методологии компании OceanGate, а также государственного надзора за частными глубоководными работами имеет решающее значение для предотвращения катастроф и человеческих жертв подобных трагедий в будущем. Разрушение «Титана» и гибель людей должно стать напоминанием о выполнении строгих протоколов безопасности и проведения полного цикла испытаний в любом инновационном инженерном проекте создания и постройки обитаемых подводных аппаратов.

Работа выполнена по теме госзадания № FMWE-2024-0024.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Войтов, Д.В. Подводные обитаемые аппараты. М.: ООО Издательство АСТ, 2002. 303 с.
2. Stachiw, J. D. Origins of Acrylic Plastic Submersibles. Ocean Engineering Division, Naval Ocean Systems Center, San Diego, CA, Technical Document 972 AD-A173 779, September 1986, 20 p.
3. «Правила классификации и постройки обитаемых подводных аппаратов и судовых водолазных комплексов» (НД 2-020201-022)

## ДОРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДВОДНОГО ЗОНДА-ПРОФИЛЕМЕРА «ВИНЧИ»

**Швоев Д.А.**

*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)*

### UPGRADE OF THE AUTOMATED TETHERED PROFILER WINCHI

Shvov D.A.

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

Представлены результаты доработки автономного зонда-профилемера «Винчи», предназначенного для оперативного мониторинга деятельного слоя моря и контроля качества морских вод. В частности была доработана конструкция встроенной лебедки и подвеса аппарата на тросе.

The report presents the results of the development of the autonomous profiler probe "Winchi", designed for operational monitoring of the active layer of the sea and control of the quality of sea waters. In particular, the design of the built-in winch was improved.

Профилирующий носитель океанологической измерительной аппаратуры «Винчи» [1, 2] предназначен для выполнения трех основных функций:

- регулярных погружений с поверхности до дна моря в заданной географической точке,
- проведения измерений океанологических характеристик в толще воды,
- передачи данных измерений после всплытия на морскую поверхность.

«Винчи» существенно отличается от других подводных аппаратов аналогичного назначения. Это трехкорпусное судно, у

которого параллельные корпуса цилиндрической формы соединены в верхней части (рис. 1). Средний корпус (из полиацетали на фото рис. 1) имеет два отсека: сухой для размещения аппаратуры и мокрый для барабана встроенной лебедки. Два узких боковых поплавка (из прозрачного поликарбоната на фото рис. 1) разнесены и приподняты. К аппаратурному корпусу крепятся измерительные датчики и модуль навигации и связи. Этот корпус установлен на раму (подвес).

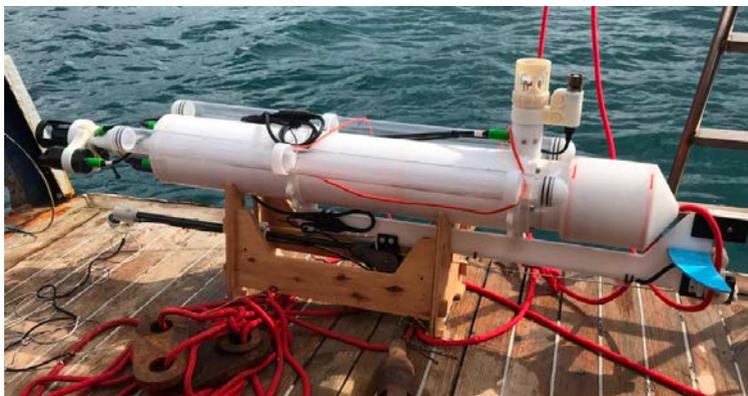


Рисунок 1 – Зонд-профилограф Винчи на борту МНИС «Ашамба» в районе Голубой (Рыбацкой) бухты Черного моря в сентябре 2024 г.

Трос от барабана лебедки протянут через направляющий ролик, находящийся примерно на середине рамы под центром тяжести аппарата, и затем опускается вниз к притопленному бую АБС на глубине в диапазоне 20-50 м. Тримаран ориентирован вдоль потока воды благодаря удлиненным цилиндрическим корпусам. Хвостовой стабилизатор на раме поддерживает горизонтальное равновесие. Горизонтальное положение аппарата позволяет снизить гидродинамическое сопротивление на течении. Гидрологические измерительные датчики установлены в носовой части аппарата так, чтобы измерения проводились в набегающем потоке воды.

Положительная плавучесть профилирующего носителя в воде в снаряженном состоянии составляет не менее 20 Н, что обеспечивает натяжение троса в условиях умеренного волнения. Разматывая трос с барабана лебедки, аппарат поднимается к морской поверхности благодаря запасу плавучести. При всплытии затрачивается минимум энергии, поскольку мотор-редуктор работает без нагрузки. Наматывая трос на барабан, аппарат движется вниз к притопленному бую, к которому закреплен трос, при этом затрачивается максимум энергии

на работу против сил плавучести и гидродинамического сопротивления.

Хорошая обтекаемость и высокая остойчивость стабилизируют положение Винчи при всплытии на поверхность моря, где аппарат должен пребывать во время сеанса связи для передачи данных измерений. Системы навигации и связи Винчи располагаются во вспомогательном прочном корпусе, установленном над аппаратным корпусом Винчи так, что при всплытии антенны связи и навигации приподнимаются над поверхностью воды.

Конструкция встроенной лебедки была доработана как показано на рис. 2 с целью уменьшения затрат энергии на ее работу. Вал электропривода соединен с валом лебедки внутри прочного корпуса. Концы вала лебедки установлены на подшипники в сухом отсеке среднего корпуса Винчи и в мокром отсеке. Для уплотнения вала в выходном отверстии в торцевой крышке сухого отсека установлен керамический сальник. На валу лебедки смонтировано водило с укладочными роликами, которое вращается вокруг барабана. Трос сходит с барабана по роликам на водиле и затем протягивается по направляющим роликам на подвесе (раме) под аппаратным корпусом Винчи. Чтобы преобразовать вращательное движение выходного вала в поступательное движение барабана лебедки, на вал надевается бесконечная винтовая насадка с двунаправленной замкнутой канавкой, с которой входит в зацепление поворотный сухарь, установленный на барабане лебедки. Барабан совершает реверсивные возвратно-поступательные движения по шариковым линейным направляющим (11 на рис. 2). Такие движения позволяют обеспечить более равномерную укладку троса при намотке на барабан.

В состав мотор-редуктора входят: бесщеточный двигатель постоянного тока 24 В, редуктор и тормоз. Номинальный ток потребления мотора 1.6 А, номинальный крутящий момент на выходе мотор-редуктора 10.6 Н·м. Мотор-редуктор позволяет аппарату перемещаться с вертикальной скоростью до 0.3 м/с. Благодаря тормозу Винчи может останавливаться на заданной глубине.

Доработка конструкции коснулась также тросовой линии Винчи. На лебедку намотан трос, который выдерживает большие нагрузки при незначительном весе и при растяжимости меньше 1%. К нижней части тросовой линии прикреплен амортизатор, позволяющий компенсировать колебания под воздействием волн. Амортизатор из эластичной резины пристегивается к участку троса длиной около 4 м, уложенному в петли. Над амортизатором установлен концевой магнит (18 на рис. 2) при приближении к которому срабатывает выключатель

на раме и сбрасывается счетчик длины троса.

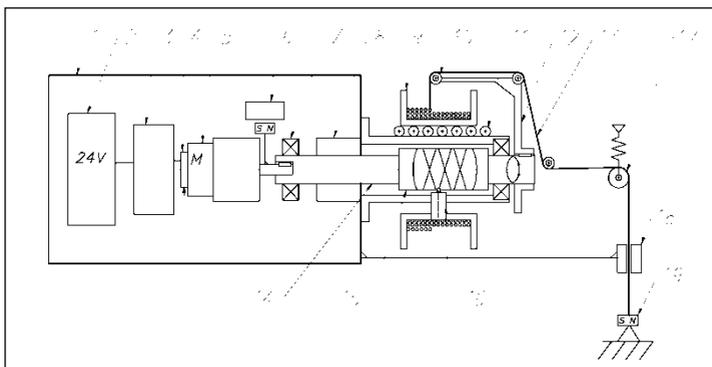


Рисунок 2 – Схема доработанной лебедки автономного зонда-профилера Винчи:

- 1 – сухой отсек аппаратного корпуса,  
2 – аккумуляторная батарея, 3 – модуль управления, 4 – тормоз,  
5 – мотор-редуктор, 6 – датчик оборотов, 7 – подшипник двухрядный,  
8 – керамический сальник, 9 – барабан, 10 – укладочный ролик,  
11 – шариковые линейные направляющие, 12 – водило, 13 – трос,  
14 – выходной вал, 15 – винт с двунаправленной резьбой, 16 – челнок,  
17 – датчик натяжения, 18 – датчик конца троса, 19 – концевой магнит

Работа выполнена по теме госзадания № FMWE-2024-0024.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Швоев Д.А. и др. Особенности конструкции и технические характеристики автоматического подводного зонда-профилографа «Винчи» // «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2023) Материалы XVIII Международной научно-технической конференции – Москва, Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, 2023. – Том I – С. 48-53 – DOI: 10.29006/978-5-6045110-8-4-2023.
2. 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

УДК 000.00

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

**Фролов А.С., Вельтищев В.В.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Московский государственный  
технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный  
исследовательский университет)» – МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
105005,*

*г. Москва, ул. 2-ая Бауманская, д.5, стр. 1,  
8 (499) 263-63-91, bauman@bmstu.ru*

## ENHANCED ACCURACY METHOD IN POSITION DETERMINING OF UNDERWATER VEHICLE

Frolov A.S., Veltischev V.V.

*Moscow State Technical University named after  
N.E.Bauman, 105005, Moscow, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya st. d. 5,  
bld. 1.*

В докладе предлагается улучшение существующего решения построения навигационной системы на основе гидроакустической навигационной системы и системы счисления пути.

Paper presents an improvement to the existing solution for building a navigation system based on a hydroacoustic navigation system and a dead reckoning system.

Традиционные методы навигации телеуправляемых подводных аппаратов включают использование гидроакустических навигационных систем (ГАНС), а также систем счисления пути (ССП) на основе инерциальных навигационных систем (ИНС) и доплеровских лагов. Инерциальные системы обеспечивают автономное определение координат, но накапливают ошибку с течением времени. Доплеровские лаги позволяют измерять скорость относительно дна, что повышает точность, но их работа может быть затруднена на сложном рельефе или в условиях сильных течений. Гидроакустические системы, такие как пеленгаторы и гидролокаторы,

обеспечивают привязку к внешним объектам, но их эффективность снижается при увеличении расстояния или ухудшении видимости [1,2].

Гидроакустические системы с ультра короткой базой (ГАНС с УКБ) широко используются для точного позиционирования подводных аппаратов. Однако ГАНС может давать нестабильные данные, особенно в условиях изменяющейся среды. В таких случаях интеграция с системой счисления пути позволяет сгладить данные ГАНС и обеспечить более стабильную навигацию. Для повышения точности навигации широко применяется комплексирование данных от различных систем. В статье [3] предложен метод интеграции ГАНС и ССП, который позволяет компенсировать недостатки каждой из систем. Для слияния данных используется взвешенное усреднение, где веса определяются на основе ошибок между данными гидроакустической навигационной системы и системы счисления пути. Если ошибка ГАНС мала, его данные получают больший вес, и наоборот. Это позволяет адаптивно выбирать, какие данные более точны в текущий момент времени. Итоговый результат и рассчитывается по формуле:

$$u = \alpha \cdot u_1 + \beta \cdot u_2,$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — веса для данных гидроакустической навигационной системой и системы счисления пути соответственно, определяемые на основе ошибок измерений,  $u_1$  — положение, измеренное гидроакустической навигационной системой,  $u_2$  — положение, измеренное с помощью системы счисления пути.

Система адаптируется к изменениям в данных ГАНС и ССП. Если ГАНС начинает выдавать нестабильные данные, система автоматически увеличивает вес ССП, и наоборот. Это обеспечивает стабильность навигации даже в условиях неидеальных измерений. Использование расширенного фильтра Калмана (ЕКФ) для оптимальной оценки данных позволяет улучшить точность навигации.

Однако предполагается, что ошибки измерений рассчитываются относительно некоторой "идеальной" траектории. В реальных условиях эта траектория может быть известна только в контролируемых экспериментах (например, в водном резервуаре), где движение аппарата заранее запланировано. Идеальная траектория неизвестна, и система навигации должна работать без эталонных данных. Поэтому данный метод нуждается в дальнейшей корректировке.

Вместо сравнения с идеальной траекторией, система может использовать статистические методы для оценки доверия к данным от

каждого источника. В этом случае веса представляют собой комбинированные критерии доверия к ГАНС или ССП. Этот критерий строится на основе следующих показателей:

1. Погрешность измерений. Может выражаться как стандартное отклонение.
2. Качество сигнала (Signal-to-Noise Ratio). Определяется на основе уровня шума или мощности сигнала.
3. Корреляция между источниками. Основана на ковариации между показаниями источников данных.
4. Историческое доверие. Учитывается опыт работы с датчиками в предыдущие моменты времени. Например, если в прошлых измерениях ГАНС показал значительные погрешности, доверие к нему может быть снижено.

После того как определены отдельные показатели для каждого источника, можно сформировать комбинированный критерий доверия для каждого источника данных.

Данное решение обладает следующими преимуществами:

- Устойчивость к ошибкам. Даже если один из источников данных временно выходит из строя, система продолжает работать на основе другого источника.
- Адаптивность. Система автоматически адаптируется к изменяющимся условиям, выбирая наиболее надежный источник данных.
- Минимизация накопления ошибок. Использование ГАНС для коррекции данных ССП позволяет избежать накопления ошибок счисления пути.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kinsey, J. C., Eustice, R. M., & Whitcomb, L. L. (2006). A Survey of Underwater Vehicle Navigation: Recent Advances and New Challenges. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 31(4), 687-705.
2. Liang, W., & Liang, Y. (2024). Autonomous Underwater Vehicle Navigation and Control: A Brief Review. *Robotics & Automation Engineering Journal*, 5(5), 555672.
3. Wu, Y., Zhu, D., Chu, Z., Zhong, C., & Luo, C. (2016). Autonomous Underwater Vehicles Navigation Method Based on Ultra Short Base Line and Dead Reckoning. In *2016 IEEE 6th International Conference on Underwater System Technology: Theory & Applications* (pp. 105-109). IEEE.

УДК 551.46.077:004.514

## **ЭКРАННАЯ КЛАВИАТУРА ПУЛЬТА ОПЕРАТОРА ТНПА**

**Гамазов Н.И., Фролов А.С.**

*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*

### **ON-SCREEN KEYBOARD FOR THE OPERATOR CONTROL PANEL OF ROV**

**Gamazov N.I., Frolov A.S.**

*Bauman Moscow State Technical University, 5/1, 2-nd  
Baumanskaya st., Moscow, 105005*

Рассматривается процедура разработки и включения в состав пульта оператора ТНПА графической формы экранной клавиатуры.

The paper presents the development and integration of the on-screen keyboard graphical form into control panel od ROV

Пульт оператора современного телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА), как правило, представляет собой комбинацию традиционных элементов панели управления в виде набора кнопок, тумблеров, световых индикаторов, рукоятки управления движением и др., и виртуального пульта управления - встроенного в панель управления панельного или планшетного компьютера, оснащенного сенсорным экраном. При загрузке прикладной управляющей программы на экране возникает базовое окно – виртуальная лицевая панель, на которой расположены изображения элементов управления с соответствующими поясняющими надписями. При нажатии оператором на область сенсорного экрана с изображением элемента-кнопки управляющая

программа формирует команду, которая, в зависимости от ее назначения либо передается на борт ТНПА, либо приводит к изменениям в графическом интерфейсе, например, вызывает на экран и активирует вспомогательное окно виртуального пульта. Такой комбинированный пульт оператора обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционным пультом, в частности, позволяет использовать возможности компьютерной техники для повышения качества работы оператора. Компьютерная графика в дизайне окон (выделение цветом, всплывающие подсказки, мигающие надписи, привлечение внимания к аварийным ситуациям и др.) улучшает визуальное восприятие оператором пульта управления. Помимо всплывающих подсказок может быть реализован вывод на экран дополнительных окон, содержащих различную справочную информацию, например, описание действий оператора в аварийных ситуациях. При необходимости может быть предусмотрен переход в демонстрационный режим или режим обучения, когда воздействие оператора на активные элементы пульта не приводит к передаче команд на борт ТНПА.

В ряде случаев при выполнении миссии ТНПА возникает необходимость ввода с пульта оператора текстовой информации. Например, для решения навигационной задачи выхода ТНПА в заданную точку акватории необходимо ввести и передать в бортовую систему управления ТНПА известные координаты судна-носителя ТНПА или некоторой реперной точки - широту, долготу, высоту над геоидом. Если подключение клавиатуры как внешнего устройства не предусмотрено конструкцией пульта оператора, или нецелесообразно, необходимо использовать экранную клавиатуру – специальное окно, оснащенное виртуальными кнопками-клавишами. Например, в операционной системе Astra Linux вызов такого окна может быть реализован с помощью комбинации «горячих клавиш» [1], что невозможно в отсутствие физической клавиатуры, или посредством системного вызова непосредственно из кода прикладной программы. Если вид вводимой информации априори известен, например, только числа в определенном диапазоне, то использование экранной клавиатуры общего вида оказывается нецелесообразным из-за необходимости программных ограничений, связанных с предотвращением возможных ошибок ввода.

Другой способ, позволяющий ввести с пульта оператора числовую информацию заданного диапазона, - разработать и использовать в коде прикладной управляющей программы модуль, реализующий упрощенный вариант сенсорной клавиатуры и

обеспечивающий «защиту от дурака» - невозможность ошибочного ввода. На рисунке 1 представлен вариант графической формы такой сенсорной клавиатуры, предназначенной для ввода только числовой информации. Окно клавиатуры открывается при клике оператором по предусмотренному полю ввода на сенсорном экране виртуального пульта. При этом в объект класса, реализующий графическую форму, передается тип поля ввода, с которого вызвана клавиатура, тем самым задаются ограничения на вид чисел, которые можно будет ввести – целые или с плавающей точкой, – и диапазон допустимых значений.

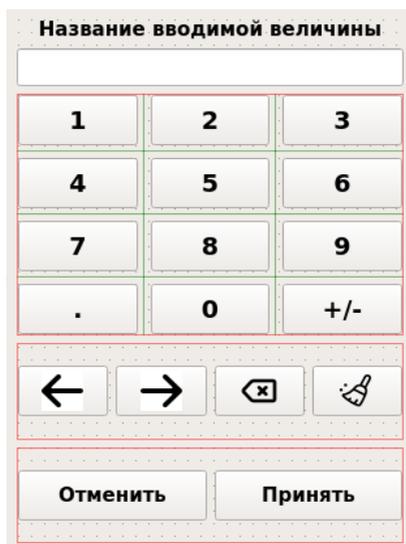


Рис. 1 Графическая форма упрощенной экранной клавиатуры

В строку «Название вводимой величины» при вызове формы выводится информация о поле ввода, с которого вызвана клавиатура, например, «Широта репера, градусы». Вводимое число отображается в строке ввода в верхней части формы (на рис. 1 – пустая строка). Клавиши с изображением десятичных цифр, точки и знаков +/- предназначены для сенсорного ввода соответствующих символов, формирующих вводимое число. Клавиши со стрелками влево/вправо позволяют перемещать курсор вдоль символов вводимого числа. Клавиша удаления символа удаляет символ вводимого числа, находящийся слева от курсора. Клавиша «веник» удаляет все символы вводимого числа, делая строку ввода пустой. Клавиша «Отменить»

закрывает окно клавиатуры без передачи содержимого строки ввода в поле ввода, с которого была вызвана клавиатура. Клавиша «Принять» передает содержимое строки ввода в это поле ввода и также закрывает окно клавиатуры. Ограничения вида вводимого числа и допустимый диапазон, определяются, как сказано выше, типом поля ввода, с которого была вызвана клавиатура. Для полей типа «Широта, градусы», «Долгота, градусы» это целые числа, диапазон от -90 до +90 для градусов широты, от -180 до +180 для градусов долготы. Для полей типа «Минуты», «Секунды» – целые числа в диапазоне от 0 до 60. Для полей типа «Высота над геоидом» - числа с плавающей точкой в диапазоне от 0 до 1000 м. Заданные ограничения поддерживаются непосредственно программой, то есть оператор не может ввести для конкретного поля число другого типа и вне заданного диапазона.

Программный модуль, реализующий класс упрощенной экранной клавиатуры разработан с использованием библиотеки Qt версии 5.3 [2].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Настройка вызова виртуальной клавиатуры в ОС Astra Linux – URL:<https://wiki.astralinux.ru/termidesk-help/latest/dokumentatsiya/ekspluatatsionnaya-dokumentatsiya/termidesk-nastrojka-programmnogo-kompleksa/nachalo-raboty-s-termidesk/podgotovka-bazovogo-vm-nastrojka-gostevoy-os/nastrojka-vyzova-virtual-noj-klaviatiry-v-os-astra-linux>  
(дата обращения 14.02.2025)
2. Шлее М. Qt 5.3 Профессиональное программирование на C++. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 928 с.:ил. – (В подлиннике)  
ISBN 978-5-9775-3346-1

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНТУРОМ ГЛУБИНЫ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Цапенко А.В., Шерстов Е.А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499)129-20-45  
[gnom@gnomrov.ru](mailto:gnom@gnomrov.ru)*

## DEVELOPMENT OF AN UNDERWATER VEHICLE DEPTH CONTOUR CONTROL SYSTEM

Tsapenko A.V., Sherstov E.A.

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

В статье представлен обзор работы, которая посвящена построению системы управления контуром глубины подводного аппарата методом подчинённого регулирования. Обсуждаемые приборы: телеуправляемый подводный аппарат, датчик давления, контроллер управления.

The article provides an overview of the work devoted to the construction of a control system for the depth contour of an underwater vehicle using the method of subordinate regulation. Discussed devices: remote-controlled underwater vehicle, pressure sensor, control controller.

**Ключевые слова:** подводный аппарат, контур глубины, подчинённое регулирование.

**Keywords:** underwater vehicle, depth contour, subordinate regulation.

Автор доклада представляет результаты исследований, полученные при разработке системы управления контуром глубины подводного аппарата. При исследовании и освоении Мирового океана широко применяются подводные аппараты. Для управления глубиной погружения подводного аппарата и его удержания на заданной

глубине требуется система управления контуром глубины. Важность контура глубины заключается в том, что он позволяет обеспечивать высокую точность регулирования глубины погружения подводного аппарата. Сигнал с датчика глубины формирует обратную связь, которая призвана обеспечить стабилизацию аппарата по глубине.

Задачи, решаемые в работе:

- рассмотрение метода синтеза системы управления;
- построение математической модели контура глубины;
- синтез системы управления контура глубины;
- моделирование и анализ работы системы управления.

На схеме рис. 1 представлена структура системы управления контуром глубины подводного аппарата методом подчинённого регулирования. В системе два контура: внешний контур положения по глубине и внутренний контур скорости по глубине.

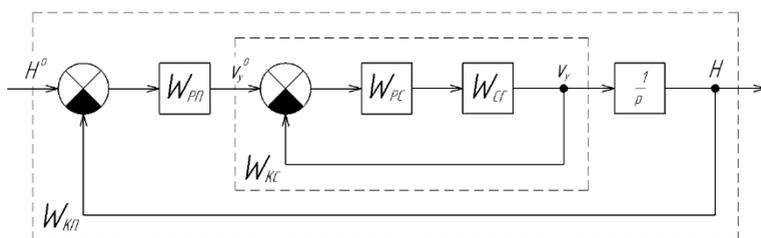


Рис. 1. Структура системы управления контуром глубины.

Особенности системы подчинённого регулирования:

- система состоит из нескольких вложенных контуров;
- число контуров равно числу регулируемых координат;
- регуляторы включены последовательно;
- каждый внешний регулятор является задающим по отношению к внутреннему;
- на вход регулятора подается сигнал обратной связи по регулируемой координате;
- в данной системе удобно осуществлять настройку регулятора, поскольку каждый контур, начиная с внутреннего, можно рассматривать независимо.

Методика расчета систем с подчиненным регулированием основана на том, что контур регулирования должен содержать только одну большую постоянную времени. В этом случае регулятор

подбирают так, чтобы при последовательном включении его с соответствующим звеном системы была скомпенсирована большая постоянная времени объекта регулирования и взамен в контуре действовала бы существенно меньшая постоянная времени. Результирующее эквивалентное звено, состоящее из последовательно включенных регулятора и объекта, должно быть интегрирующим.

Регулятор подбирается из условия компенсации большой постоянной времени контура и ее замены малой постоянной времени регулятора. Увеличивая коэффициент передачи регулятора, можно сделать постоянную времени регулятора очень малой. Это было бы хорошо, если бы был идеальный случай, когда в системе нет других постоянных времени, кроме учтенных. Так как в системе управления имеют место малые неучтенные постоянные времени, величина постоянной времени регулятора ограничивается.

При переходе от внутреннего контура к наружному при одном и том же значении малая некомпенсируемая постоянная времени будет в 2-4 раза больше у внешнего контура, чем у внутреннего. Система, у которой постоянная времени в 2 раза больше, рассматривается как система, настроенная на модульный оптимум. Такая настройка наиболее часто используется на практике. Системы, у которых постоянные времени более 2 обладают меньшим быстродействием, их переходный процесс приближается к аperiodическому.

На рис. 2 представлена структурная схема контура глубины подводного аппарата, которая была получена из математических моделей канала глубины и движительно-рулевого комплекса. Синтез системы управления проводится для самого худшего с точки зрения устойчивости случая, на стопе.

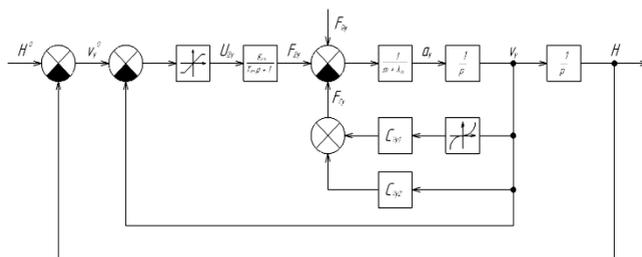


Рис. 2. Структурная схема контура глубины подводного аппарата.

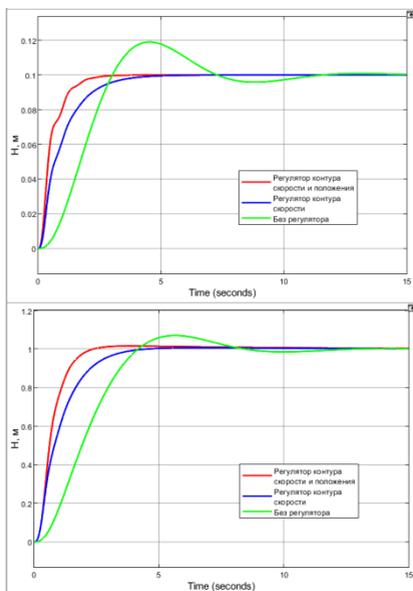
Регулятор скорости выбирается таким образом, чтобы разомкнутый контур скорости обладал астатизмом 1-го порядка и компенсировал наибольшую постоянную времени. Так как постоянная времени аппарата больше постоянной времени двигателей, то следует скомпенсировать постоянную времени подводного аппарата. Поэтому требуется использовать пропорционально-интегральный регулятор. Постоянная времени регулятора выбирается согласно критерию модульного оптимума.

Разомкнутый контур положения уже обладает астатизмом 1-го порядка, поэтому требуется использовать пропорциональный регулятор.

Результатом работы являются математические модели регуляторов скорости и положения по глубине подводного аппарата. На рис. 3 показан сравнительный анализ работы синтезированных регуляторов.

Моделирование проводилось для следующих случаев работы системы управления контуром глубины подводного аппарата:

- при малом сигнале управления 0,1 м;
- при большом сигнале управления 1 м;
- при внешнем возмущении 100 Н.



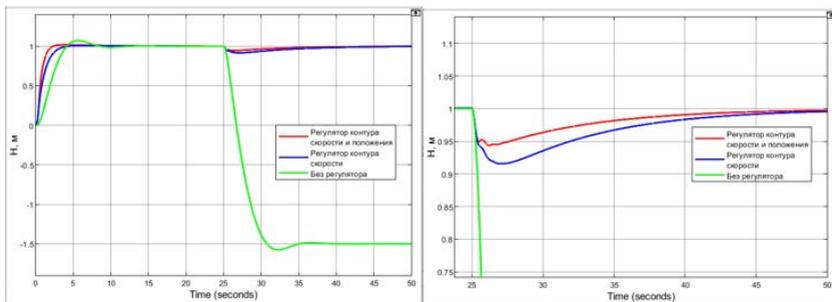


Рис. 3. Сравнение работы систем управления контура глубины подводного аппарата.

Анализ результатов моделирования работы регуляторов:

- введение регулятора скорости уменьшает время переходного процесса с 7,5 до 3 секунд, перерегулирование уменьшается с 20 до 0 %;

- введение регулятора положения совместно с регулятором скорости уменьшает время переходного процесса с 7,5 до 1,5 секунд, перерегулирование уменьшается с 20 до 0 %;

- при высоком сигнале управления пропорционально-интегральный регулятор в контуре скорости накапливает большую величину ошибки из-за чего наблюдается перерегулирование 1-2 % и дотягивание 10 секунд;

- при внешнем воздействии 100 Н без регулятора статическая ошибка в контуре глубины равна 2,5 м;

- при внешнем воздействии 100 Н с регулятором скорости статическая ошибка контура глубины отсутствует, перерегулирование рано 7 %, а время дотягивания 25 секунд;

- при внешнем воздействии 100 Н с регулятором скорости и положения статическая ошибка контура глубины отсутствует, перерегулирование 5 %, а время дотягивания 25 секунд;

- при исключении из системы управления контура глубины обратной связи по скорости время переходного практически не изменяется, однако возрастает величина перерегулирования до 7 %, также ухудшается динамика отработки внешнего воздействия пропорционально-интегрального регулятора.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0026).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шрейнер Р.Т. Системы подчинённого регулирования электроприводов. Екатеринбург: РГППУ, 2008. 279с.
2. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования: учеб./ В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. М.: Наука, 1975. 768 с.

УДК 000.00

### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОДНОМАЯКОВОЙ НАВИГАЦИИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

**Цапенко А.В., Елкин А.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, 8(499)129-20-45, [gnom@gnomrov.ru](mailto:gnom@gnomrov.ru)*

### DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR SINGLE-BEACON NAVIGATION OF AN UNDERWATER VEHICLE

**Tsapenko A.V., Elkin A.V.**

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

В статье представлен обзор работы, которая посвящена построению навигационного комплекса с использованием одного навигационного буя. Обсуждаемые приборы: подводный аппарат, навигационный буй, акустический модем, приёмник спутниковой навигационной системы, инерциальная навигационная система, датчик глубины, доплеровский лаг.

The article provides an overview of the work devoted to the construction of a navigation complex using a single navigation buoy. Discussed instruments: underwater vehicle, navigation buoy, acoustic modem, satellite navigation system receiver, inertial navigation system, depth sensor, Doppler lag.

**Ключевые слова:** подводный аппарат, навигационный буй, одномаяковая навигация.

**Keywords:** underwater vehicle, navigation buoy, single-beacon navigation.

Автор доклада представляет результаты исследований, полученные при разработке алгоритмов одномаяковой навигации подводного аппарата. При эксплуатации подводных аппаратов одной из важных задач является обеспечение высокой мобильности подводного робототехнического комплекса. Работа данной навигационной системы основана на использовании современной акустической связи, которая позволяет синхронно обмениваться пакетами навигационных данных между подводным аппаратом и навигационным бумом, а также одновременно измерять время распространения акустического сигнала между ними.

Задачи, решаемые работе:

- описание структуры навигационного комплекса;
- обзор алгоритмов одномаяковой навигации;
- моделирование и исследование алгоритмов навигации;
- сравнение алгоритмов одномаяковой навигации.

В работе рассмотрены три вида алгоритмов:

- на основе геометрического метода;
- на основе метода наименьших квадратов;
- на основе фильтра Калмана.

На схеме рис. 1 представлена структура навигационного комплекса. В состав данного комплекса входят:

- навигационный буй:
  - акустический модем;
  - приёмник спутниковой навигационной системы;
- подводный аппарат:
  - акустический модем;
  - доплеровский лаг;
  - датчик глубины;
  - инерциальная навигационная система.

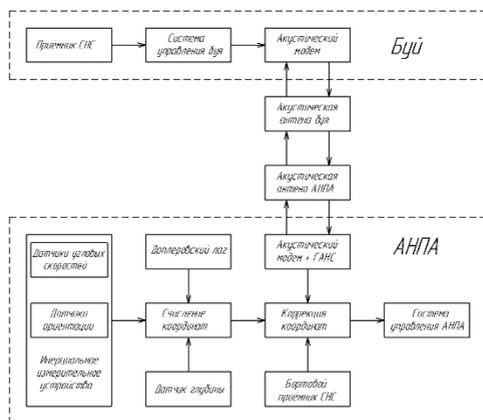


Рис. 1. Структура навигационного комплекса.

Навигационный комплекс состоит из буя и подводного аппарата. На бую установлен приёмник спутниковой навигационной системы. Система управления буя отправляет текущие координаты буя через гидроакустический модем на подводном аппарате. Акустический модем аппарата используется, как гидроакустическая навигационная система, которая позволяет скорректировать координаты, полученные с системы счисления пути. Система счисления пути строится на базе доплеровского лага и инерциального измерительного устройства. Доплеровский лаг измеряет маршевую скорость аппарата, а инерциальное измерительное устройство истинный курс аппарата. Вертикальная координата определяется по показаниям датчика глубины. Данные с бортового приёмника спутниковой навигационной системы используются для инициализации начального положения подводного аппарата до полного погружения в воду. Скорректированные координаты поступают на систему управления движения подводного аппарата.

На рис. 2 представлена структурная схема алгоритмов однопаяковой навигации. Горизонтальные координаты аппарата, получаются при интегрировании полученных скоростей и добавлением к ним скорректированных координат.

Для оценки координат подводного аппарата на вход алгоритма подаются данные с датчика давления и системы счисления пути, а также данные с буя.

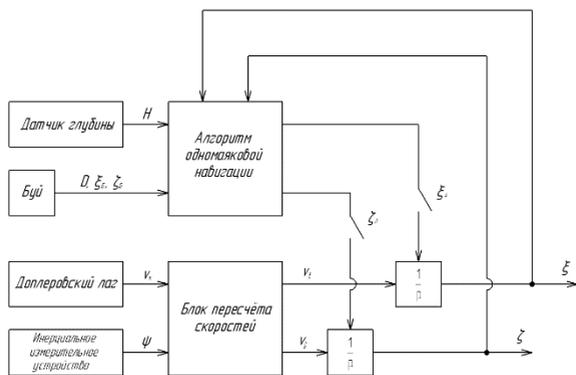


Рис. 2. Структурная схема алгоритмов однопаяковой навигации.

Геометрический алгоритм заключается в нахождении центра движущейся окружности, всегда проходящей через начало координат. Подводный аппарат является центром окружности, а навигационный буй располагается в начале системы координат.

Алгоритм гидроакустической навигационной системы с синтезированной длинной базой заключается в построение сети виртуальных буёв. Данная сеть строится, исходя из координат реального буя и данных системы счисления пути. Для построенной сети виртуальных буёв применяется алгоритм, основанный на методе наименьших квадратов.

Алгоритм на основе фильтра Калмана формирует оптимальную оценку координат подводного аппарата, исходя из данных системы счисления пути и горизонтального расстояния от аппарата до навигационного буя.

Результатом работы является получение алгоритмов однопаяковой навигации. На рис. 3 показан сравнительный анализ работы алгоритмов однопаяковой навигации.

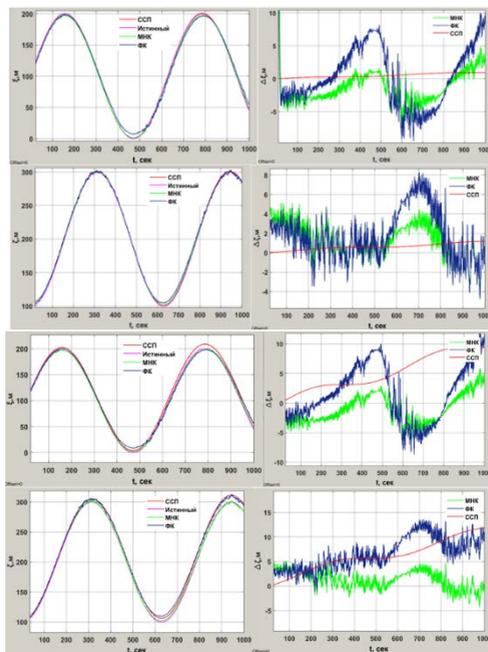


Рис. 3. Сравнение работы алгоритмов навигации.

Влияние флуктуаций горизонтальных расстояний на работоспособность алгоритма на основе геометрического метода показало, что алгоритм не применим для определения координат подводного аппарата.

На коротких временных интервалах система счисления пути позволяет определять координаты точнее алгоритмов на основе метода наименьших квадратов и фильтра Калмана, однако на длинных временных интервалах данные алгоритмы позволяют определять координаты подводного аппарата точнее. При увеличении погрешностей доплеровского лага в 10 раз погрешность системы счисления увеличилась также в 10 раз, а погрешность алгоритмов только в несколько раз.

Из результатов моделирования следует, что алгоритм на основе метода наименьших квадратов позволяет более точно определять координаты подводного аппарата, чем алгоритм, использующий фильтр Калмана. Также алгоритм на основе фильтра Калмана более чувствителен к погрешностям доплеровского лага, чем

алгоритм на основе метода наименьших квадратов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0026).

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ваулин Ю.В., Дубровин Ф.С., Щербатюк А.Ф. Малогабаритный автономный необитаемый подводный аппарат МАРК нового поколения для выполнения групповых операций// Мехатроника, автоматизация, управление. - 2012 - №6. - С. 59-65.
2. Щербатюк А.Ф., Дубровин Ф.С. Алгоритмы определения местоположения на основе информации гидроакустического маяка// Информационно-измерительные системы. - 2012 - № 9 . - С. 26-39.
3. Дубровин Ф.С. Об одном автономного необитаемого подводного аппарата к гидроакустическому// Приборы. - 2012 - №4. - С. 28-34.

УДК 000.00

### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА**

**Цапенко А.В., Розман Б.Я., Капцов А.С.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, 8(499)129-20-45 [gnom@gnomrov.ru](mailto:gnom@gnomrov.ru)*

### **DEVELOPMENT OF A REMOTE-CONTROLLED UNDERWATER VEHICLE POWER CONTROL SYSTEM**

**Tsapenko A.V., Rozman B.Y., Kaptsov A.S.**

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

В статье представлен обзор работы, которая посвящена построению системы электропитания телеуправляемого

подводного аппарата на постоянном токе. Обсуждаемые приборы: телеуправляемый подводный аппарат, судовой бензогенератор, KAN5000Ц – AC/DC преобразователь переменного напряжения в постоянное напряжение, кабель-трос, Vicor – понижающий DC/DC преобразователь постоянного напряжения, контроллер источников питания, датчик тока, датчик напряжения.

The article provides an overview of the work devoted to the construction of a direct current remote-controlled underwater vehicle power supply system. The devices discussed are: remote-controlled underwater vehicle, marine gasoline generator, KAN5000TS - AC/DC converter of alternating voltage to direct voltage, cable cable, Vicor- step-down DC/DC converter of direct voltage, power supply controller, current sensor, voltage sensor.

**Ключевые слова:** подводный аппарат, система электропитания, управление напряжением.

**Keywords:** underwater vehicle, power supply system, voltage control.

Автор доклада представляет результаты исследований, посвящённых системе электропитания, основанной на использовании AC/DC преобразователя для преобразования переменного напряжения из внешней сети в постоянное высокое напряжение для передачи электроэнергии по кабель-тросу от судна-носителя до подводного аппарата. На борту подводного аппарата установлен понижающий DC/DC преобразователь, с которого энергия передаётся всем электронным модулям.

Решаемые задачи:

- описание структуры системы электропитания;
- получение математической модели системы электропитания;
- синтез системы управления системой электропитания;
- моделирование и анализ работы системы управления.

На схеме рис. 1 представлена структура системы электропитания и взаимосвязи между элементами. В систему электропитания входят:

- бензогенератор;
- кабель-трос;
- датчики тока и напряжения;
- контроллер источников питания;

- 2 AC/DC преобразователя КАН5000Ц;
- DC/DC преобразователь Vicor;
- фильтр.

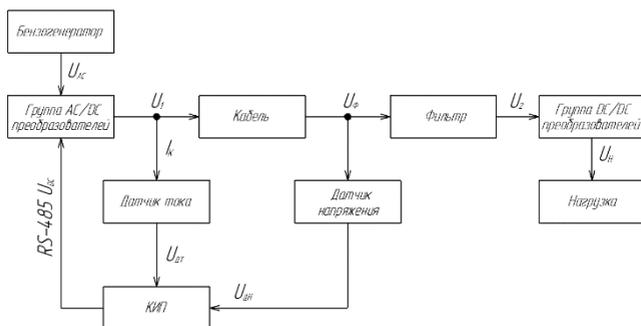


Рис. 1. Структура системы электропитания.

В систему электропитания входит бензогенератор, который является источником переменного напряжения. Переменное напряжение с бензогенератора питает группу из 2-х береговых AC/DC преобразователей КАН5000Ц. Используется два КАН5000Ц вместо одного для увеличения максимального постоянного напряжения с 300 до 600 В. Напряжение с группы КАН5000Ц передаётся на группу DC/DC преобразователей, соединённых параллельно, для увеличения нагрузочной способности бортовой системы электропитания. Диапазон входных напряжений на DC/DC преобразователи от 200 до 375 В. Если напряжение будет ниже минимального, то DC/DC преобразователь выключится, если напряжение будет выше максимального, то DC/DC преобразователь сгорит. Напряжение с КАН5000Ц теряется на кабеле, а затем проходит через входной фильтр DC/DC преобразователя. После с DC/DC преобразователя напряжение питания передаётся бортовым модулям подводного аппарата. Для контроля входного напряжения DC/DC преобразователя используется система управления КАН5000Ц с помощью контроллера источников питания по интерфейсу RS-485. Для формирования обратной связи по току в кабеле и напряжению на входе фильтра DC/DC преобразователя требуются датчики тока и напряжения.

На рис. 2 представлена структурная схема системы управления электропитанием подводного аппарата, которая была получена из математических моделей элементов системы. \_Задающим

воздействием в системе является напряжение, а возмущающим воздействием является мощность на входе DC/DC преобразователя.

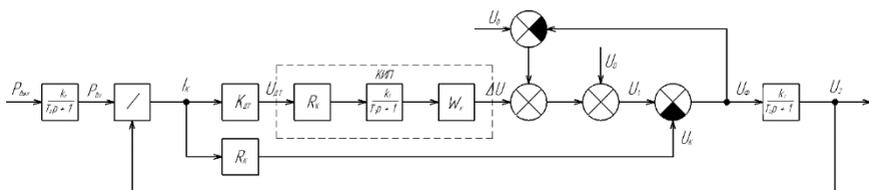


Рис. 2. Структурная схема системы управления электропитанием подводного аппарата.

Для снижения потери напряжения в кабеле при передаче электроэнергии приходится увеличивать напряжение питания, однако максимальное значение ограничивается предельными допустимыми значениями параметров элементов цепи передачи.

Ещё одной особенностью системы электропитания телеуправляемого подводного аппарата на постоянном токе состоит в том, что потребителем электроэнергии является понижающий преобразователь питания DC/DC. Это ограничивает ещё и минимальное значение напряжения.

Поскольку преобразователь напряжения DC/DC является потребителем мощности, то при изменяющемся напряжении  $U_2$  на его входе и заданной мощности нагрузки будет изменяться входной ток  $I_k$  преобразователя так, чтобы обеспечить эту мощность. При этом уменьшение напряжения  $U_2$ , вызванное падением напряжения на сопротивлении кабель-троса  $R_k$ , приведет к увеличению тока через кабель-трос, что вызовет ещё большее уменьшение напряжения на входе преобразователя напряжения и дальнейшее увеличение его входного тока.

Чтобы обеспечить стабильность работы системы электропитания на постоянном токе, в закон регулирования напряжения питания подводного аппарата в верхней точке кабеля вводится компаундирующая связь по току нагрузки. Улучшить динамику системы управления можно введением в систему управления обратной связи по напряжению.

Результатом работы являются математические модели регуляторов напряжения на нижнем конце кабель-троса. На рис. 3 показан сравнительный анализ работы синтезированных регуляторов напряжения.

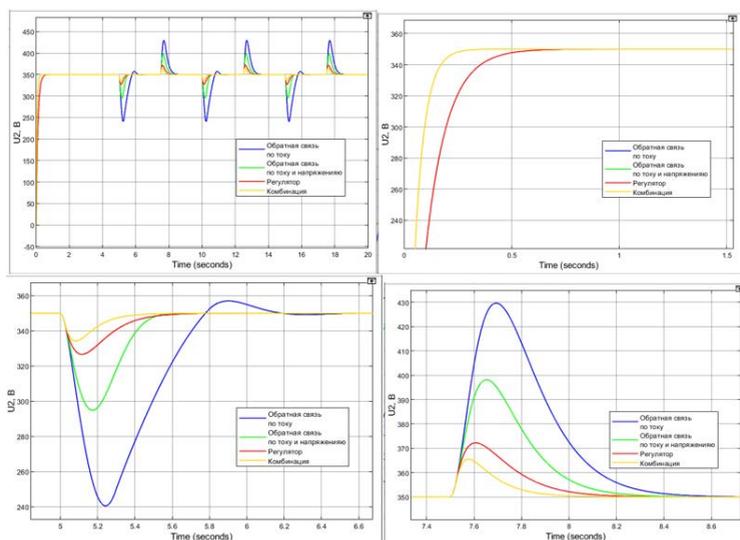


Рис. 3. Сравнение работы регуляторов напряжения.

Анализ результатов моделирования работы регуляторов:

- введение чистой компаундирующей связи по току даёт слишком большие провалы и скачки по напряжению при нагружении системы электропитания и сбросе нагрузки;

- введение к компаундирующей связи по току обратной связи по напряжению позволяет уменьшить провалы и скачки по напряжению в 2 раза;

- введение к компаундирующей связи по току регулятора увеличивает быстродействие системы в 2 раза и уменьшает провалы и скачки по напряжению в 4 раза;

- совместное регулирование компаундирующей связи по току, регулятора и обратной связи по напряжению позволяют достичь наилучшего результата регулирования (увеличивается быстродействие системы в 2 раза и уменьшает провалы и скачки по напряжению в 5 раз;

- при уменьшении частоты регулирования падает величина максимальной мощности, которую система электропитания может устойчиво отработать и не выйти из строя;

- величина допустимой максимальной мощности системы электропитания обратно пропорциональна частоте управления;

- с уменьшением частоты управления увеличивается колебательность и эффективность регулятора становится ниже, чем у обратной связи по напряжению;
- на частотах ниже 10 Гц система с компаундирующей связью по току без регулятора работает лучше, чем эта же система с регулятором.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0026).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов, В. А. Структура системы электроснабжения автономного необитаемого подводного аппарата / В. А. Герасимов, А. Ю. Филоженко, П. И. Чепурин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 2. – С. 24–32.
2. Рулевский, В. М. Синтез субоптимального регулятора напряжения в системе электропитания глубоководного аппарата / В. М. Рулевский, В. Г. Букреев, Е. Б. Шандарова // Электротехнические системы и комплексы. – 2018. – № 3 (40). – С. 47–54.

УДК 000.00

#### **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ МНОГОСТЕПЕННОГО ПОДВОДНОГО МАНИПУЛЯТОРА**

**Глухов А.А., Васильчиков А.А.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, 8(499)129-20-45 [gnom@gnomrov.ru](mailto:gnom@gnomrov.ru)*

#### **DEVELOPMENT OF A MULTI-STAGE UNDERWATER MANIPULATOR DRIVE CONTROL SYSTEM**

**Gluhov A.A., Vasilchikov A.A.**

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

В статье представлен обзор работы, которая посвящена построению системы автоматического управления приводами многостепенного подводного манипулятора на основе 3-х контурной системы подчиненного регулирования. Обсуждаемые приборы: многостепенный подводный манипулятор, абсолютный энкодер “ЛИР-ДА219А.01”, драйвер электродвигателя “LMD18200”.

The article provides an overview of the work devoted to the construction of an automatic drive control system for a multi-stage underwater manipulator based on a 3-circuit subordinate control system. The devices discussed are a multi-stage underwater manipulator, an absolute encoder “LIR-DA219A.01”, an electric motor driver “LMD18200”.

**Ключевые слова:** подводный многостепенный манипулятор, система управления, система подчиненного регулирования, нелинейный регулятор.

**Keywords:** underwater multistage manipulator, control system, subordinate control system, nonlinear regulator.

Автор доклада представляет результаты исследований, полученные при разработке системы автоматического управления для приводов многостепенного подводного манипулятора. Основные задачи исследования заключаются в выборе структуры управления системой управления и синтезе нелинейных регуляторов.

На рис. 1 показана конструкция разработанного 5-и степенного электромеханического подводного манипулятора. Его длина в вытянутом положении составляет 0.8 м, а общий вес в воздухе составил 8 кг. Максимальная нагрузка, которую способен поднять манипулятор, составляет 6 кг или 60 Н. Максимальная скорость вращения по степени манипулятора составляет 11 об/мин. Как видно на рисунке 1б, плечо данного манипулятора имеет граничные углы поворота от  $+90^\circ$  до  $-105^\circ$  относительно плоскости предплечья. Предплечье данного манипулятора имеет граничные углы поворота от  $+90^\circ$  до  $-45^\circ$  относительно горизонтальной плоскости. Плечо и предплечье в горизонтальной плоскости имеют граничные углы поворота от  $+90^\circ$  до  $-90^\circ$ .

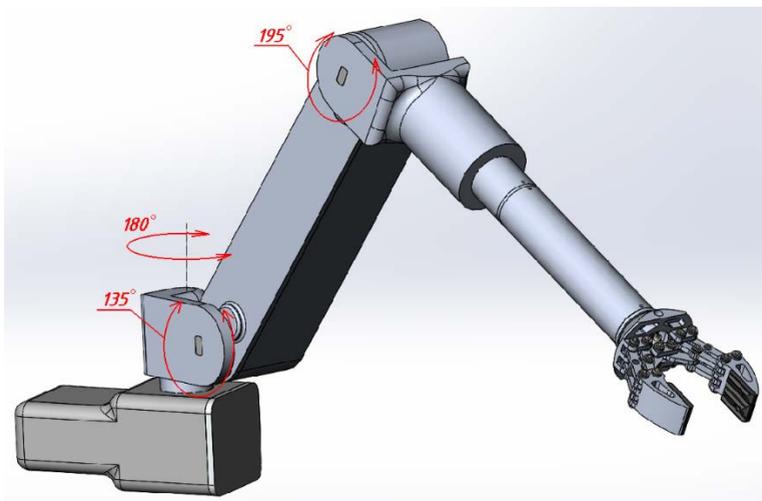


Рис. 1. Общий вид конструкции разработанного электромеханического подводного манипулятора.

Система управления каждым указанным на рис.1 приводом строится на основе 3-х контурной системы подчиненного регулирования, где внутренний контур управляет током якоря двигателя, средний контур управляет скоростью перемещения вала привода, а внешний управляет выходным углом наклона привода. Каждый контур имеет обратную связь по датчику, который измеряет соответствующую величину. Для контуров тока и положения это будут датчик тока на драйвере управления двигателем “LMD18200” и абсолютный энкодер “ЛИР-ДА219А.01” соответственно.

Для контура скорости требуется датчик скорости, однако для упрощения конструкции манипулятора значение для обратной связи по скорости будет получаться путем дифференцирования значения угла положения. Для всех углов перемещение манипулятора будет осуществляться заданием оператором сигнала скорости вращения манипулятора, который далее будет интегрироваться с определенным коэффициентом. Поэтому при достижении определенного угла оператор обнуляет скорость вращения звена и манипулятор выходит в нужный угол с заданными параметрами САУ.

Структурная схема линеаризованной математической модели привода предплечья представлена на рис. 2.

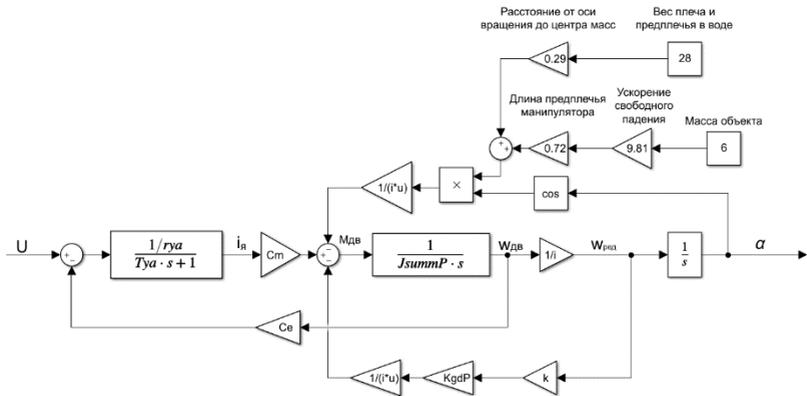


Рис. 2. Структурная схема линейной математической модели привода предплечья.

В основе построения многоконтурной системы подчиненного регулирования является определение объекта управления для каждого контура и составление регулятора управления. На рис. 3 представлена система автоматического регулирования тока якоря двигателя. На рис. 4 представлена система автоматического регулирования скорости вращения двигателя.

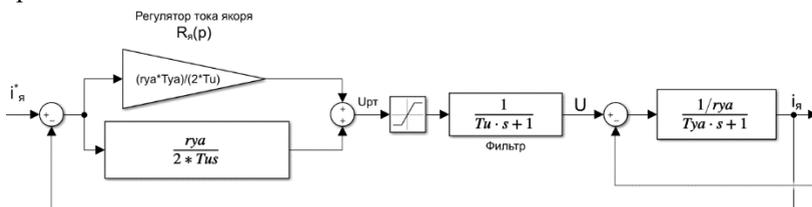


Рис. 3. Математическая модель САР тока якоря.



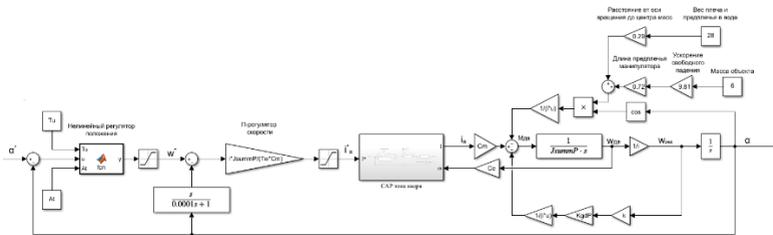


Рис. 5. Математическая модель САУ положения.

На рис. 6 представлен переходной процесс системы автоматического управления при задании малых углов перемещения, а на рис. 7 – при задании больших углов перемещения.

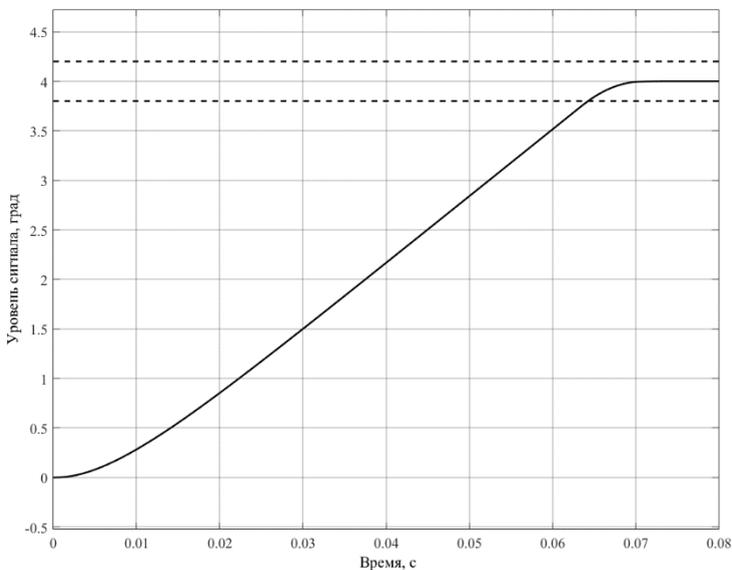


Рис. 6. Переходной процесс САУ при входном ступенчатом воздействии.

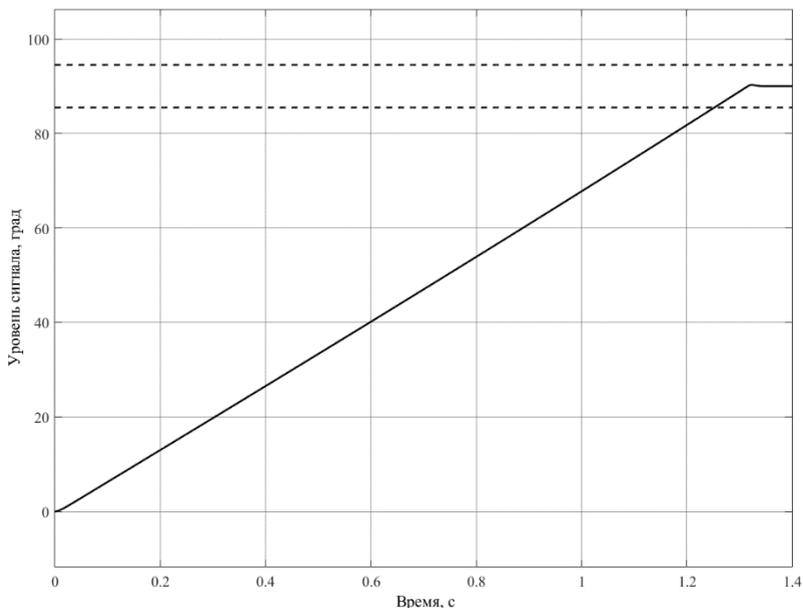


Рис. 7. Переходной процесс САУ при большом входном воздействии.

Как видно из графиков, при максимальной нагрузке на предплечье манипулятора САУ обрабатывает большие и малые перемещения за короткое время и с минимальным перегулированием и ошибкой. САУ для остальных приводов строится аналогичным образом.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0026).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов. Часть 1. Электроприводы постоянного тока с подчиненным регулированием координат // Урал. гос. проф.-пед. ун-т. 1997. -279 с.
2. Вельтищев, В.В. Проектирование движительных комплексов подводных аппаратов // Учеб. пособие для физ. – мат. специальностей вузов. Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2019. – 167 с.

**СОЗДАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА С  
ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОМ НЕОБИТАЕМОМ ПОДВОДНЫМ  
АППАРАТОМ РАБОЧЕГО КЛАССА И ОБИТАЕМОГО  
ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРОЕКТА 03660 "ЯСОН"**

**Богданов А.А.<sup>1</sup>, Жданов Р.С.<sup>2</sup>, Кичко С.А.<sup>3</sup>, Устинов В.С.<sup>1</sup>,  
Фокин С.Г.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>НИЦ "Курчатовский институт", 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1, 8 (499) 196-17-04, nrcki@nrcki.ru

<sup>2</sup>АО "СПМБМ "Малахит", 196135, Санкт-Петербург, ул. Фрунзе, 18, 8 (812) 242-75-00, info-ckb@malachite-spb.ru

<sup>3</sup>АНО "ЦПИ РГО", 191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А, 8 (812) 327-45-05, office@urc-rgs.ru

**CREATION OF A COMPLEX WITH A HEAVY WORK CLASS  
REMOTELY OPERATED UNDERWATER VEHICLE AND A MANNED  
SUBMERSIBLE VEHICLE OF PROJECT 03660 "JASON"**

**Bogdanov A.A.<sup>1</sup>, Zhdanov R. S.<sup>2</sup>, Kichko S.A.<sup>3</sup>, Ustinov V.S.<sup>1</sup>, Fokin S.G.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>National Research Center "Kurchatov institute", 1, Akademika Kurchatova sq., Moscow, 123182, Russia, +7 (499) 196-17-04, nrcki@nrcki.ru

<sup>2</sup>JSC "Malakhit Marine Engineering Bureau", 18, Frunze Str., Saint Petersburg, 196135, Russia, +7 (812) 242-75-00, info-ckb@malachite-spb.ru

<sup>3</sup>ANO "Underwater Research Center of the Russian Geographical Society" 3-A, Zakharyevskaya Str., Saint Petersburg, 191123, Russia, +7 (812) 327-45-05, office@urc-rgs.ru

В статье представлен обзор проектов, направленных на создание подводных аппаратов, и технических работ, выполняемых ими под водой. Рассматриваемые аппараты: ОПА проекта 03660 "Ясон", комплекс с ТНПА тяжелого рабочего класса.

The paper provides an overview of projects aimed at creating underwater vehicles and the underwater technical operations performed by them. The discussed vehicles include: MSV of project 03660 "Jason", as well as a heavy-work-class ROV.

**Ключевые слова:** обитаемый подводный аппарат (ОПА), комплекс с телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом тяжелого рабочего класса (КТНПА), подводно-технические работы (ПТР).

**Key words:** manned submersible vehicle (MSV), heavy-work-class remotely operated underwater vehicle (ROV), underwater technical operations.

Доклад посвящён ключевым аспектам разработки подводных аппаратов рабочего класса. Под научно-техническим руководством НИЦ "Курчатовский институт" и при поддержке ООО "Газпром трансгаз Санкт-Петербург" осуществляются проекты по созданию отечественного комплекса с телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом рабочего класса (КТНПА), а также обитаемого подводного аппарата проекта 03660 "Ясон" (ОПА).

В реализацию проектов активно вовлечены ведущие российские научно-исследовательские, проектные и производственные предприятия, обладающие значительным опытом в создании компонентов и систем глубоководной морской техники, а также в эксплуатации подводных аппаратов. Сопровождение работ с первых этапов проектирования осуществляется научным блоком ПАО "Газпром".

ОПА, строящийся на АО "ПО "Севмаш" под техническим наблюдением проектанта — АО "СПМБМ "Малахит", представляет собой уникальное глубоководное техническое средство, относящееся к современным образцам обитаемых аппаратов нового поколения [1]. Аппарат (рис. 1) оснащён прочным акриловым корпусом, обеспечивающим высокую степень защиты, и оборудован широким спектром инструментов для выполнения различных подводно-технических работ (ПТР).

За последнее десятилетие отмечается значительный рост числа эксплуатируемых зарубежных ОПА с прозрачными прочными корпусами [2]. Данный тренд отражает возрастающий коммерческий интерес со стороны зарубежных заказчиков, включая представителей нефтегазовой отрасли, к такому типу подводной техники, прежде всего благодаря предоставлению панорамного обзора окружающей подводной среды. Широкий круговой обзор предоставляет оператору удобные визуальные ориентиры для наведения на объекты выполнения подводно-технических, поисковых, исследовательских и иных работ, позволяя ему находиться в максимально удобной позе – положении сидя в ограниченном пространстве кабины пилота [3]. Это

способствует сокращению времени реакции на команды управления, снижению когнитивной усталости при сохранении высокой зрительно-моторной координации.

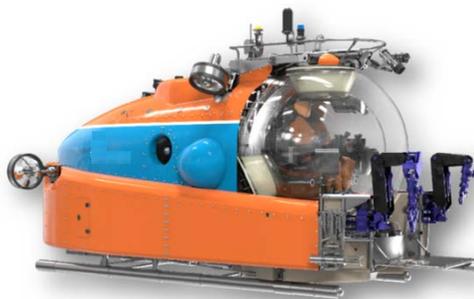


Рис. 1. Внешний облик ОПА проекта 03660 «Ясон»

Основные характеристики ОПА:

Нормальное водоизмещение, т.....	14,5
Габаритная длина × ширина × высота, м .....	6,8×2,95×3,2
Полная скорость подводного хода, уз. ....	2,65
Время погружения / всплытия, мин. ....	ок. 90
Автономность по запасам средств жизнеобеспечения (рабочая / аварийная), ч .....	12 / 84.

Характеристики аппарата обеспечивают выполнение комплекса задач на глубинах до 2250 м, включая:

- обследование подводных объектов и дна с отбором проб осадочных пород;
- мониторинг состояния и целостности морских магистральных газопроводов;
- сопровождение строительно-монтажных и ремонтно-восстановительных работ;
- транспортировку и подъём грузов массой до 100 кг;
- участие в аварийно-спасательных операциях и другие задачи.

В ходе реализации проекта разработано, согласовано и утверждено 45 технических заданий и технических требований, касающихся выполнения следующих видов работ:

- 33 опытно-конструкторских работ (ОКР), связанных с созданием новых отечественных образцов комплектующего оборудования;
- 5 научно-исследовательских работ (НИР), направленных на

изучение, совершенствование технологий производства новых материалов, используемых в аппарате;

– 7 работ по адаптации серийно выпускаемого комплектующего оборудования для использования в составе подводного аппарата.

В 2024 году завершились испытания большинства вновь разработанных для аппарата комплектующих образцов изделий с последующей их доставкой на АО "ПО "Севмаш" для монтажа, пусконаладки и регулировочно-настроечных работ. Завершилась трассировка трубопроводов судовых систем аппарата, близится к завершению трассировка кабельных трасс. По результатам закрытия построечных удостоверений летом 2025 года завод совместно с организациями-разработчиками комплектующего оборудования приступит к проведению швартовных испытаний.

В марте 2025 года на учебно-тренировочных средствах НИЦ "Курчатовский институт" пройдёт тренажёрная подготовка операторов сдаточного экипажа ОПА.

Продолжением работ по созданию подводных технических средств выполнения ПТР на глубинах до 2250 м в интересах ПАО "Газпром" стал стартовавший летом 2022 года проект по созданию опытного образца отечественного комплекса с телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом рабочего класса, включая вспомогательное и навесное оборудование.

КТНПА (рис. 2) является универсальной платформой для проведения изыскательских работ, включая экологических в местах строительства, периодических (плановых) и диагностических обследований подводных объектов, подготовки строительных площадок на участках производства работ, монтажа оборудования и конструктивных элементов на подводных объектах, контроля хода и качества выполнения строительно-монтажных работ, технического обслуживания, эксплуатации, ремонта, а также работ по консервации и ликвидации подводных объектов.

Основные характеристики КТНПА:

мощность ТНПА, кВт (л.с.), не менее .....	147 (200)
масса полезной нагрузки, кг .....	до 450
грузоподъёмность СПУ, т .....	15
работа при скоростях подводных течений в любом направлении, уз. ....	до 3
потребляемая мощность КТНПА (при пиковых нагрузках), кВт, не более .....	336 (444).



Рис. 2. Внешний облик КТНПА по результатам технического проекта

НИЦ "Курчатовский институт", как и в проекте ОПА, разрабатывает комплексную систему управления и учебно-тренировочные средства для применения в составе КТНПА.

В ходе реализации проекта КТНПА к настоящему времени разработано, согласовано и утверждено 38 технических заданий и технических требований на выполнение следующих видов работ:

– 21 ОКР по созданию отечественных образцов комплектующего оборудования;

– 5 НИР по изучению, совершенствованию технологий производства новых материалов, используемых в КТНПА;

– 12 работ по адаптации серийно выпускаемого оборудования для использования в составе КТНПА, в том числе по доработке образцов, ранее созданных для ОПА.

Завершение разработки полного комплекта рабочей конструкторской документации на все составные части КТНПА запланировано на июль 2025 года.

Важным аспектом направления проектной деятельности является испытание вновь создаваемых образцов погружного комплектующего оборудования, в том числе возможность их проведения в натуральных условиях при существующей технической возможности подключения к имеющимся в распоряжении отечественных эксплуатирующих организаций, например, участника проекта — Центра подводных исследований Русского географического общества, подводным аппаратам.

Рассмотренные проекты направлены на решение стратегически значимых задач, среди которых:

– обеспечение потребностей нефтегазовых компаний в отечественных инструментах для эффективного и своевременного

выполнения ПТР на морских объектах;

– укрепление экономической безопасности путём снижения зависимости от импорта и минимизации влияния санкций со стороны зарубежных стран;

– исключение (снижение) зависимости от иностранных подрядчиков, гарантирующее выполнение запланированного объёма ПТР в установленные сроки и с требуемым качеством;

– повышение конкурентоспособности российских нефтегазовых компаний и экономики Российской Федерации в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Селиванова, Е. В., Райская, С. Д., Жданов, Р. С. Опыт проектирования обитаемых подводных аппаратов: исторические этапы и конструктивные особенности // Морской сборник, № 5 (2126) / Май 2024. С. 66 - 73.
2. Фокин, С. Г., Богданов, А. А., Жданов, Р. С., Кичко, С. А., Поляшов, А. А. Исторический обзор развития обитаемых подводных аппаратов с прозрачными акриловыми прочными корпусами // Гидрокосмос. 2023. Т. 1, 2. № 3–4. С. 93–108.
3. Кузьмичев, М. В., Фокин, С. Г. Эксплуатационные особенности прозрачных полимерных материалов, применяемых в конструкции прочного корпуса обитаемых подводных аппаратов // Гидрокосмос. 2023. Т. 1, 1. № 1–2. С. 117–125.

УДК 551.465.062.5

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТНПА

**Шерстов Е.А., Елкин А.В. Капцов А.С.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, 8(499)129-20-45, [gnom@gnomrov.ru](mailto:gnom@gnomrov.ru)*

## COMPUTER SIMULATION OF ROV

**Sherstov E.A., Elkin A.V., Kaptsov A.S.**

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 17997, Russia*

Проведена доработка программного обеспечения нового телеуправляемого необитаемого подводного аппарата.

The software of a remote-controlled uninhabited underwater vehicle has been finalized. The interface for connecting additional equipment has been implemented.

**Ключевые слова:** подводные робот, подводный аппарат, ТНПА  
**Key words:** underwater devices, ROV, mail hull

Сотрудниками лаборатории подводной видеотехники ИО РАН продолжаются работы по созданию новой модели телеуправляемого подводного аппарата (ТНПА) класса мини оснащенного 8-ю двигателями, расположенными векторно.

Проведена доработка программного обеспечения телеуправляемого необитаемого подводного аппарата, в частности:

- Реализованы режимы фотосъемки и видеозаписи (задание размера кадра, выбор кодека).

На рисунке 1 приведен скриншот выбора режимов.

	Main:cam1	Main:cam2	Main:cam3	Rear:cam1	Rear:cam2	Rear:cam3	7	8
41	0	...	...	0	...	...	...	...
42	0	...	...	0	...	...	...	...
43	0	...	...	0	...	...	...	...
Exposure, Auto	3	...	...	3	...	...	...	...
Exposure (Absolute)	156	...	...	156	...	...	...	...
Exposure, Auto Priority	0	...	...	0	...	...	...	...
47	0	...	...	0	...	...	...	...
48	0	...	...	0	...	...	...	...
49	0	...	...	0	...	...	...	...
50	0	...	...	0	...	...	...	...
Pan (Absolute)	0	...	...	0	...	...	...	...
Tilt (Absolute)	0	...	...	0	...	...	...	...
Focus (absolute)	132	...	...	0	...	...	...	...
54	0	...	...	0	...	...	...	...
Focus, Auto	1	...	...	0	...	...	...	...
Zoom, Absolute	0	...	...	0	...	...	...	...
57	0	...	...	0	...	...	...	...

Рисунок 3. Выбор режимов видеозаписи

- Реализована возможность добавления текстовой информации на фото/видео запись - при сохранении фото и перед началом записи видео пользователь может набрать комментарий, который будет добавлен на фото/видео.

На рисунке 2 приведен скриншот наложения текстовых комментариев.



Рисунок 4. Наложение текстовых комментариев

- Реализованы функции записи с видеокамер, телеметрии (компас, датчик глубины), данных с дополнительного оборудования (гидролокатор кругового обзора) и функция синхронного воспроизведение видео, записи сонара и данных навигационной системы.
- Пользовательский интерфейс адаптирован для использования с сенсорным экраном
- В целях реализации возможности подключения стороннего оборудования (не входящего в состав перечня стандартного дополнительного оборудования) по интерфейсам RS-485, RS-232 доработана интерфейсная плата ТНПА. Дополнительное оборудование подключается через разъемы XP6, XP12 и XP13. Общий вид интерфейсной платы приведен на рисунке 3.

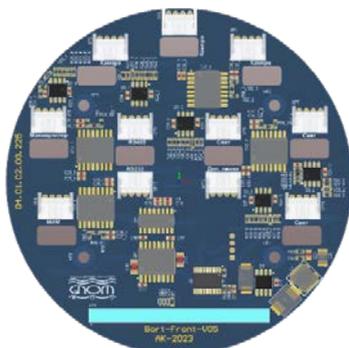


Рисунок 5. Интерфейсная плата

Доработанное программное обеспечение будет использовано для разрабатываемой модели ТНПА.

Статья написана в рамках государственного задания ИО РАН (№ FMWE-2024-0026)

УДК 551.465.062.5

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИКИ ТНПА

**Васильчиков А.А., Шерстов Е.А., Елкин А.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, 8(499)129-20-45, [gnom@gnomrov.ru](mailto:gnom@gnomrov.ru)*

### COMPUTER SIMULATION OF ROV

Vasilchikov A.A., Sherstov E.A., Elkin A.V.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36, Nakhimovsky Prosp., Moscow, 17997, Russia*

Проведен прочностной расчет разрабатываемых корпусных элементов подводного модуля телеуправляемого подводного аппарата, выполнен расчет плавучего объема, получены уравнения сил и моментов гидродинамического сопротивления. Получена 3д модель подводного модуля.

The strength of the underwater robot hulls under development has been calculated. Equations of forces and moments of hydrodynamic resistance are obtained. ROV model has been developed.

**Ключевые слова:** подводные робот, подводный аппарат, ТНПА

**Key words:** underwater devices, ROV, mail hull

Сотрудниками лаборатории подводной видеотехники ИО РАН продолжают работы по созданию новой модели телеуправляемого подводного аппарата (ТНПА) класса мини оснащенного 8-ю движителями, расположенными векторно.

Выполнено компьютерное моделирование и расчет гидродинамики ТНПА, в частности:



По результатам компьютерного моделирования гидродинамики ТНПА получены уравнения сил и моментов сопротивления.

Ниже приведен результат расчета гидродинамической силы сопротивления на марше.

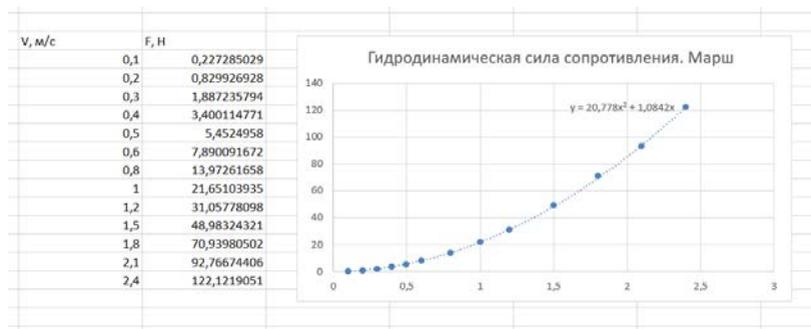


Рисунок 8. уравнение гидродинамической силы сопротивления. Марш

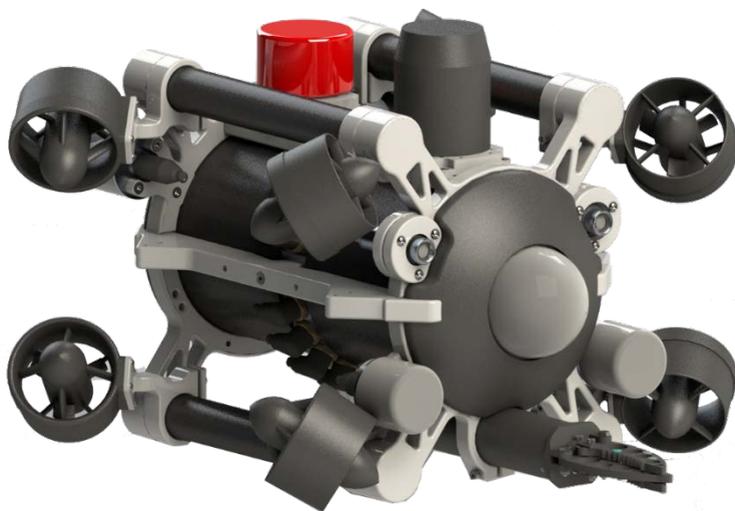
Полученные уравнения будут использованы для создания математической модели ТНПА и синтезирования системы управления.

Проведена разработка следующих компонентов и узлов новой модели ТНПА ГНОМ:

- Основной блок электроники. Основной блок электроники также несет функцию плавучего объема, для этого был увеличен внутренний объем прочного корпуса.
- Светильник. Изменение конструкции под использования электроники, дающей возможность работать от входного высокого напряжения, позволило снизить выходную мощность вторичного источника питания, тем самым уменьшив стоимость и размеры этого преобразователя напряжения. Также была увеличена интенсивность светового излучения фонаря.
- Указатели лазерные. Унификация с остальными выпускаемыми моделями ТНПА для снижения стоимости узла. Также для упрощения изготовления и обслуживания сборочной единицы прочный корпус был разделен на две части: непосредственно сам корпус и крышку.
- Манипулятор одностепенной. Уменьшение веса в воде. Во

всех деталях, где это возможно, алюминиевый сплав в качестве материала был заменен на полиоксиметилен (ПОМ-С).

В результате выполненных работ, получена 3Д модель нового ТНПА.



Все узлы разработаны для эксплуатации на глубинах до 200 м включительно.

Статья написана в рамках государственного задания ИО РАН (№ FMWE-2024-0026)

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОМ  
ДИФФЕРЕНТА С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ  
ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

**Шубин М.Д., Розман Б.Я., Елкин А.В.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Москва,  
Нахимовский пр., 36, 8(499)124-20-45, [resty@mail.ru](mailto:resty@mail.ru)*

**DEVELOPMENT OF A TRIM ANGLE CONTROL SYSTEM TAKING  
INTO ACCOUNT EXTERNAL DISTURBING INFLUENCES**

**Shubin M.D., Rozman B.Y., Elkin A.V.**

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

В статье представлена часть деятельности, касающаяся телеуправляемых подводных аппаратов и их систем управления. Представлена структурная схема математической модели аппарата.

The paper presents a part of the activities related to remote-controlled underwater vehicles and their control systems. A block diagram of the mathematical model of the device is presented.

**Ключевые слова:** подводные устройства, система управления, угол дифферента, математическая модель.

**Keywords:** underwater devices, control system, trim angle, mathematical model.

Автор доклада представляет результаты разработки системы управления углом дифферента.

Основная проблема аппарата: При движении подводного аппарата по маршруту, без снаряженной нагрузки, возникает возмущающий момент по дифференту. Этот момент обусловлен компоновкой движительно-рулевого комплекса, где маршевые движители лежат не в горизонтальной плоскости, проходящей через



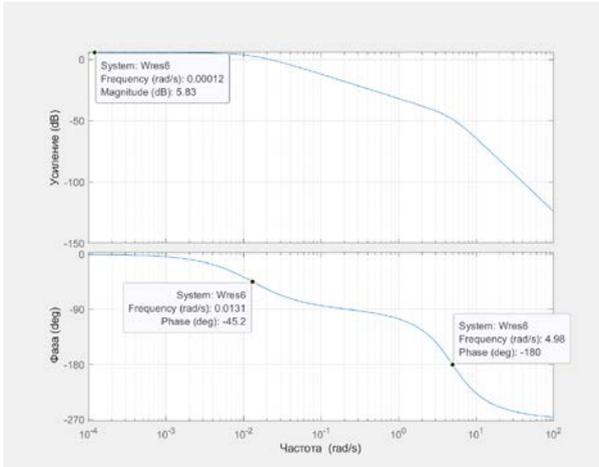


Рис. 2. Логарифмическая амплитудно-фазовая частотная характеристика системы.

Анализируя полученную характеристику, можно сделать вывод, что передаточная функция  $Wk1$  (1) раскладывается на апериодическое и колебательное звено:

$$Wk1 = \frac{K_{Wk1}}{(T_1 Wk1 p + 1)(T_2 Wk1^2 p^2 + 2\zeta_2 Wk1 T_2 Wk1 p + 1)}. \quad (1)$$

Получившееся передаточная функция контура дифферента не имеет астатизма, значит при возникновении постоянного возмущающего момента будет возникать статическая ошибка. Внесение ПИ-регулятора обеспечит системе астатизм и обеспечивает полную компенсацию ошибки управления

На рис. 3 представлена полученная модель системы управления, разработанная в среде MatLab Simulink. Данная среда упрощает исследование системы.

Результат работы системы управления углом дифферента показан на рис. 4.

Результатом работы является модель системы управления, удовлетворяющая критериям устойчивости и качества, параметры и процессы которой имеют незначительные погрешности относительно реальных характеристик системы.

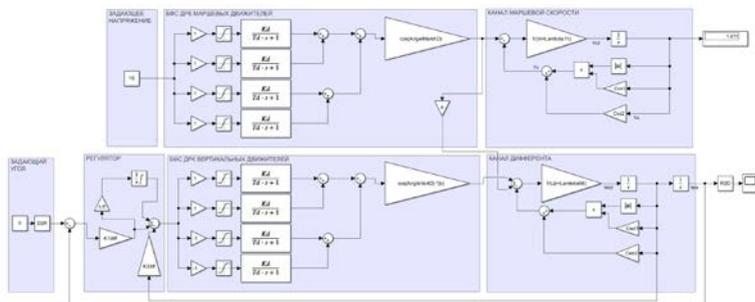


Рис. 3. Процесс компенсации дифферента при движении подводного аппарата со скоростью 1,41 м/с на нелинейной модели.

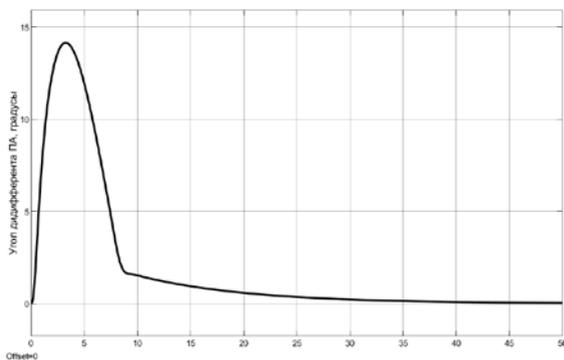


Рис. 4. Процесс компенсации дифферента при движении подводного аппарата со скоростью 1,41 м/с на нелинейной модели.

Статья написана в рамках государственного задания ИО РАН (№ FMWE-2024-0026)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб, Изд-во «Профессия», 2004. – 752 с.

**НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ НАВИГАЦИОННОЙ  
СИСТЕМЫ ОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА  
«ЯСОН»**

**Гаврилина Е.А.<sup>1</sup>, Винтоняк Н.П.<sup>1</sup>, Агапов М.Ю.<sup>1</sup>, Курашина А.Е.<sup>1</sup>,  
Кузьмичев М.В.<sup>2</sup>, Сорокин Б.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> НИЦ "Курчатовский институт", 123182, Москва, пл. Академика  
Курчатова, 1, 8 (499) 196-17-04, nrcki@nrcki.ru

<sup>2</sup> АНО "ЦПИ РГО", 191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3,  
лит. А, 8 (812) 327-45-05, office@urc-rgs.ru

**FIELD TESTS OF THE NAVIGATION SYSTEM FOR THE  
HUMAN-OCCUPIED UNDERWATER VEHICLE "JASON"**

**Gavrilina E.A.<sup>1</sup>, Vintonyak N.P.<sup>1</sup>, Agapov M.Yu., Kurashina A.E.<sup>1</sup>,  
Kuzmichev M.V.<sup>2</sup>, Sorokin B.V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> National Research Center "Kurchatov institute", 1, Akademika Kurchatova sq.,  
Moscow, 123182, Russia, +7 (499) 196-17-04, nrcki@nrcki.ru

<sup>2</sup> ANO "Underwater Research Center of the Russian Geographical Society"  
3-A, Zakharyevskaya Str., Saint Petersburg, 191123, Russia,  
+7 (812) 327-45-05, office@urc-rgs.ru

В статье представлены результаты испытаний на Ладожском озере навигационной системы обитаемого подводного аппарата «Ясон», состоящей из инерциальной навигационной системы с доплеровским лагом, навигационного эхолота и приёмника спутниковой навигационной системы.

The article presents the results of field tests of the navigation system for the human-occupied underwater vehicle "Jason". The system consists of an inertial navigation system equipped with a Doppler velocity log and a GPS receiver. The tests were conducted on Lake Ladoga.

**Ключевые слова:** инерциальная навигационная система, обитаемый подводный аппарат, навигационная система подводного аппарата, доплеровский лаг.

**Key words:** inertial navigation system, human-occupied underwater vehicle, underwater navigation system, Doppler velocity log

Начиная с 1970-х годов многие обитаемые подводные аппараты стали оснащаться не только гидроакустической навигационной системой (ГАНС), но и инерциальной навигационной системой с доплеровским лагом (ИНС с ДЛ) [1].

Это связано с повышением требований к точности работы навигационной системы ОПА. Кроме того, в ряде случаев возможен отказ работы ГАНС, вызванный как неисправностью оборудования, так и особенностями гидрологии или рельефа в месте проведения работ.

В таком случае отсутствие бортовой навигационной системы, способной продолжить определение координат ОПА при отказе отдельных навигационных подсистем, приведет к преждевременному завершению подводных работ или их продолжению с повышенным риском для жизни экипажа.

В связи с этим остро встает вопрос разработки бортовой навигационной системы, которая способна оценивать координаты ОПА с требуемой точностью как при наличии коррекции от ГАНС, доплеровского лага, так и при её отсутствии. Кроме того, такая навигационная система должна быть способна продолжить работу и при выходе из строя ИНС.

На отечественном ОПА «Ясон» [2] для решения навигационных задач предусмотрены:

- ИНС с ДЛ;
- приёмник спутниковой навигационной системы;
- навигационный эхолот;
- алгоритмы комплексной навигации, разработанные в НИЦ КИ, резервирующие расчеты ИНС.

Доступная литература не охватывает ряд вопросов, необходимых для реализации навигационной системы ОПА на практике. В частности, отсутствует:

- оценка точности и описание особенностей выставки ИНС при наличии или отсутствии коррекции от приёмника СНС,
- оценка точности работы ИНС при стабильной и нестабильной работе ДЛ при выполнении типовых манёвров ОПА,
- оценка точности работы ИНС в инерциальном режиме;

- оценка точности работы навигации, использующей данные ДЛ, и расчет курса по данным магнитометров навигационного эхолота.

Для устранения данных пробелов были проведены натурные испытания навигационной системы ОПА «Ясон» на Ладожском озере. Была оценена точность работы ИНС и резервных алгоритмов навигации в различных конфигурациях. Выявлены аварийные сбои в работе ИНС, не описанные в известной литературе, которые подтвердили необходимость в резервной комплексной навигационной системе.



Рис.1 – Проведение натурального моделирования работы навигационной системы ОПА «Ясон» на Ладожском озере

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Zhang, T., Tang, J., Qin, S., & Wang, X. (2019). Review of Navigation and Positioning of Deep-sea Manned Submersibles. *Journal of Navigation*, 72(04), 1021–1034. doi:10.1017/s0373463319000080
2. ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» представило проект уникального подводного аппарата // Газпром трансгаз Санкт-Петербург:[сайт].2017.15сент.URL:<http://spbtr.gazprom.ru/press/news/2017/09/618/> (дата обращения: 30.01.2024).

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НА МАЛЫХ ГЛУБИНАХ ГАНС УКБ ДЛЯ ПРОТОТИПА ДОННОЙ МАШИНЫ

**Ромашко А. С., Никитин С. А., Егоров С. А., Куценко А. С.**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский университет), 105005,  
Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5 стр. 1, тел. 499 263 63 91, факс  
499 267 48 44 Email:romashko@bmstu.ru*

### THE RESEARCH OF USBL HYDROACOUSTIC NAVIGATION SYSTEM FOR UNDERWATER MINING MACHINE OPERATION ON SMALL DEPTHS

Romashko A.S., Nikitin S.A., Egorov S.A., Kutsenko A.S.

*Bauman Moscow State University, 105005, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya str, 5 p 1,  
Moscow, Russia.*

В докладе представлены схемы размещения оборудования, алгоритмы работы и результаты полевых испытаний навигационной системы для определения координат прототипа донной машины на малых глубинах.

The report presents structures, algorithms and results of field experiments of navigation system for underwater mining vehicle which work on small depths.

**Ключевые слова:** навигационная система, ГАНС УКБ, малые глубины.

**Key words:** USBL, navigation system, small depths.

В МГТУ им. Н. Э. Баумана в рамках программы развития ведется разработка прототипа донной машины для добычи полезных ископаемых. Порядок работы донной машины предполагает возможность ее эксплуатации на малых глубинах с самостоятельным входом в воду с берега. Для определения координат донной машины в подводном положении предлагается использовать гидроакустическую навигационную систему с ультракороткой базой (ГАНС УКБ) совместно с приемником спутниковой навигационной системы (СНС) с функцией определения углов ориентации.

Разработана следующая схема работы навигационной системы (см. рис. 1):

- на донную машину помещается гидроакустический маяк-ответчик;
- гидроакустический приемо-передатчик, управляемый с пульта оператора, размещается в заглубленном состоянии на заякоренном надводном бую;
- соосно с приемо-передатчиком на надводном бую размещается приемник СНС с функцией определения углов ориентации, также управляемый с пульта оператора;
- гидроакустический приемо-передатчик и гидроакустический маяк-ответчик работают в режиме ГАНС УКБ, что позволяет определить координаты донной машины относительно надводного бую. Данные о координатах и углах ориентации с приемника СНС используются для определения географических координат донной машины.

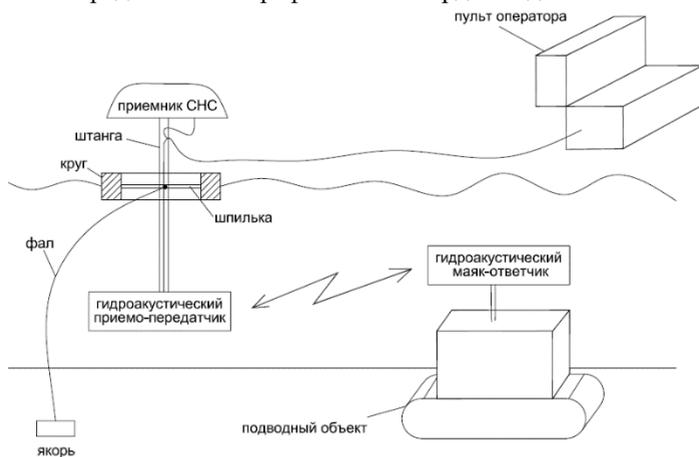


Рисунок 1 – Схема навигационной системы

Надводный буй представляет собой плавучую платформу, в качестве которой предлагается использовать спасательный круг для упрощения конструкции (см. рис. 2). К платформе с помощью сквозной шпильки крепится штанга с размещенными на ней гидроакустическим приемо-передатчиком и приемником СНС. Получаемое маятниковое крепление оборудования позволяет сгладить влияние качки на работу навигационной системы. Связь с пультом оператора осуществляется по кабелю. Компактность и простота конструкции плавучего бую позволяет организовать его установку на

акватории с помощью малого плавсредства (лодки).



Рисунок 2 – Внешний вид буя (справа) и его размещение в акватории с лодки (слева)

Для оценки работы предложенной навигационной системы были проведены полевые испытания на акватории с использованием ГАНС УКБ Zima [1] и приемника СНС Транзас [2]. На рис. 3 представлен результат определения географических координат маяка-ответчика при перемещении его вдоль пирса. Разница глубин установки приемо-передатчика и маяка-ответчика не превышала 2 м. На рис. 4 представлен результат определения географических координат маяка-ответчика при последовательном удалении его от приемо-передатчика до пропадания связи.



Рисунок 3 – Положение маяка-ответчика при движении вдоль пирса

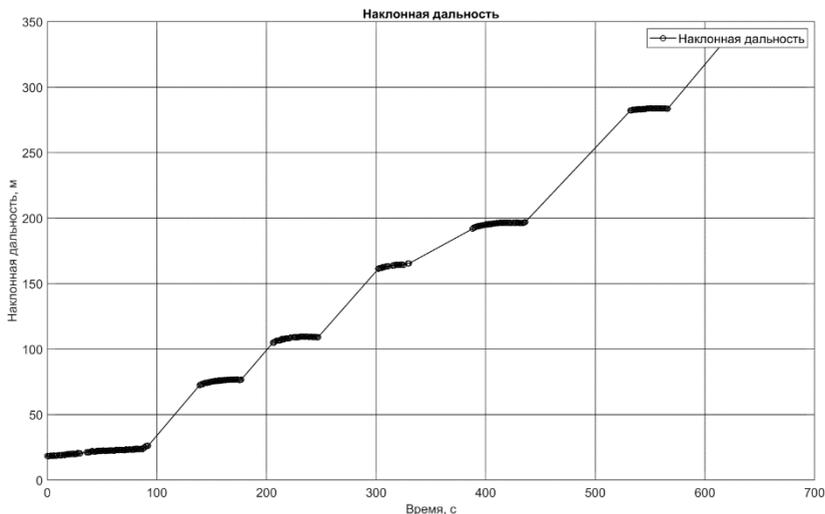


Рисунок 4 – Расстояние до маяка-ответчика при удалении на максимальное расстояние

Исследования показали работоспособность навигационной системы в условиях малой глубины, низкую погрешность определения координат (порядка 5 м по горизонтальным координатам, в пределах 1 м по дистанции при расстоянии между приемо-передатчиком и маяком-ответчиком в 50 м) и приемлемую дальность работы (ГАНС продолжала работать на расстоянии 350 м).

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. ГАНС Zima [Электронный ресурс] - URL: <https://unavlab.com> (дата обращения 24.12.24);
2. Приемник СНС Транзас [Электронный ресурс] - URL: <https://transas.ru> (дата обращения 24.12.24).

**ПОСТРОЕНИЕ И ОТРАБОТКА НАВИГАЦИОННОЙ  
СИСТЕМЫ ПРОТОТИПА ДОННОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ДОБЫЧИ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**Ромашко А. С., Егоров С. А., Куценко А. С.**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский университет), 105005,  
Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5 стр. 1, тел. 499 263 63 91, факс  
499 267 48 44 Email:romashko@bmstu.ru*

**ABOUT DEVELOPMENT AND RESEARCH RESULTS OF  
NAVIGATION SYSTEM OF UNDERWATER MINING  
MACHINE**

**Romashko A. S., Egorov S. A., Kutsenko A. S.**

*Bauman Moscow State University, 105005, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya str, 5 p 1,  
Moscow, Russia.*

В докладе представлена структура навигационной системы прототипа донной машины для добычи полезных ископаемых. Приведены первые результаты полевых наземных испытаний системы счисления пути прототипа донной машины.

The report presents the structure of navigation system of prototype of underwater mining vehicle. Also, it contains first results of field experiments on dead reckoning system of underwater mining vehicle.

**Ключевые слова:** навигационная система, донная машина для добычи полезных ископаемых, система счисления пути, приемник СНС, магнитометр.

**Key words:** navigation system, underwater mining vehicle, dead reckoning system, GPS receiver, magnetometer.

В МГТУ им. Н. Э. Баумана в рамках программы развития ведется разработка прототипа донной машины для добычи полезных ископаемых. Для обеспечения работы донной машины, ее

навигационная система должна определять и передавать в систему управления углы ориентации донной машины, ее координаты в географической и локальной системе координат, скорости движения донной машины, угол поворота исполнительного органа.

Определен следующий состав навигационной системы донной машины (рисунок 1):

- приемник спутниковой навигационной системы (СНС) для определения начальных координат донной машины и в качестве эталона в режимах отработки навигационной системы;
- магнитометр для построения магнитного компаса и определения угла курса донной машины;
- бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС) для определения угловой ориентации донной машины;
- гидроакустическая навигационная система с ультракороткой базой (ГАНС) для определения координат донной машины;
- датчик давления для определения глубины погружения донной машины;
- одометры для определения скорости движения донной машины и ее координат в составе системы счисления пути (ССП).

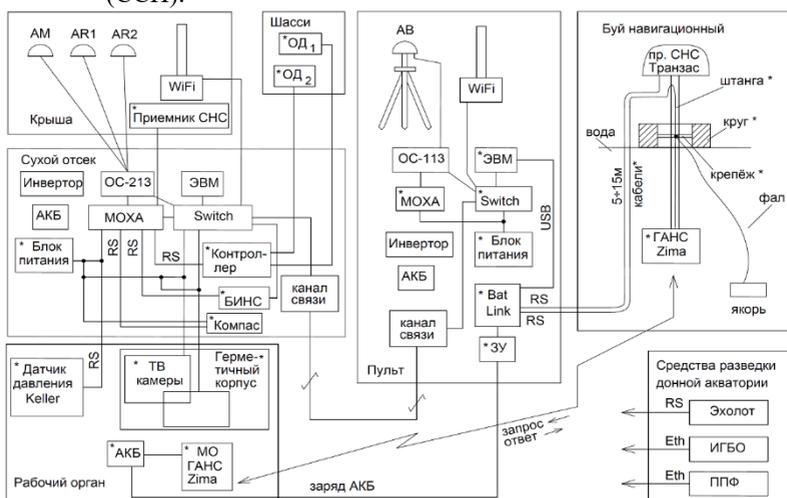


Рисунок 1 – Структурная схема навигационной системы

Разработка навигационной системы проводится в несколько этапов, включающих в себя как работы с отдельными измерителями, так и работы в составе машины. Для определения углов ориентации машины используется БИНС ГЛ-ВГ110-40-05 [1] в качестве основного измерителя, а также магнитометр DMC5000 [2] в качестве резервного измерителя и для повышения точности работы БИНС путем комплексирования с данными магнитометра.

Определение координат донной машины производится по данным ГАНС Zima [3]. Так как малая частота работы ГАНС не позволяет использовать только ее данные в системе управления траекторным движением, поэтому используется ССП, построенная на данных о скоростях движения с одометров и угле курса с БИНС или магнитного компаса, с периодической коррекцией по данным ГАНС.

Для отработки ССП были проведены наземные испытания в следующих конфигурациях:

- в составе стенда, включавшего приемник СНС Транзас [4], магнитометр DMC5000. Транзас выдает данные о географических координатах, которые с помощью картографических проекций пересчитываются в локальную систему координат и используются в качестве эталона, скорость движения и угол курса, которые используются для построения эталонной ССП. Скорость с Транзас и угол курса с магнитометра используются для построения резервной ССП. Периодическая коррекция выполняется по данным географическим координатам с Транзас;
- в составе прототипа донной машины, на который были установлены: трехантенный приемник СНС ОС-213 [5], магнитометр. ОС-213, также как и Транзас, определяет географические координаты, скорость движения и углы ориентации, а также поддерживает работу в режиме RTK с коррекцией от установленной на полигоне базовой станции в виде приемника СНС ОС-113 [5].

Траектории, полученные по географическим координатам с приемника СНС, по ССП по скорости и углу курса с приемника СНС, по ССП по скорости с приемника СНС и углу курса с магнитометра, представлены на рисунке 2.

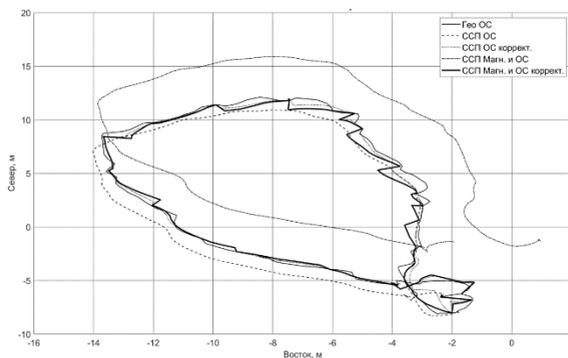


Рисунок 2 – Траектории движения донной машины

Из рисунков видно, что ошибка определения координат в обеих ССП растет со временем относительно эталонной траектории. Величина ошибки определения координат в ССП по данным ОС-213 составляет 1,5 м на Север и на Восток, что меньше величин ошибок определения координат в ССП по данным магнитометра (6 м на Север и 4 м на Восток). Разница в точности ССП определяется разницей в точности определения угла курса приемником СНС ОС и магнитометром. Паспортная погрешность определения угла курса приемника СНС ОС-213 составляет 0,2 град. Оцененная ошибка определения угла курса по данным магнитометра составляет порядка 5 град. Паспортный уход угла курса БИНС составляет 0,8 град./ч. То есть ожидаемая погрешность определения координат в ССП по данным БИНС сопоставима с ССП по данным ОС-213. Ошибка определения координат при коррекции ССП по углу курса магнитометра с периодом 10 с составила менее 2 м на Север и на Восток.

## ЛИТЕРАТУРА

1. БИНС ГЛ-ВГ110-40-05 [Электронный ресурс] - URL: <http://gyrolab.ru> (дата обращения 24.12.24);
2. Магнитометр DMC5000 [Электронный ресурс] - URL: <https://lasercomponents.ru> (дата обращения 24.12.24);
3. ГАНС Zima [Электронный ресурс] - URL: <https://unavlab.com> (дата обращения 24.12.24);
4. Приемник СНС Транзас [Электронный ресурс] - URL: <https://transas.ru> (дата обращения 24.12.24);
5. Приемник СНС модели ОС [Электронный ресурс] - URL: <https://orsyst.ru> (дата обращения 24.12.24).

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПРИЕМНИКОВ СНС, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ИЗДЕЛИЯХ  
ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ**

**Ромашко А. С., Егоров С. А., Куценко А. С.**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский университет), 105005,  
Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5 стр. 1, тел. 499 263 63 91, факс  
499 267 48 44 Email:romashko@bmstu.ru*

**THE RESEARCH OF UNDERWATER ROBOTICS GPS  
RECEIVERS PRECISION**

**Romashko A. S., Egorov S. A., Kutsenko A. S.**

*<sup>1</sup>Bauman Moscow State University, 105005, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya str, 5 p 1,  
Moscow, Russia.*

В докладе представлены результаты полевых испытаний 4-х приемников СНС в статике по методике трех точек и в динамике при движении по траектории.

The report presents results of field experiments on four GPS receivers in static position based on three-point method and in dynamic at trajectory tracking.

**Ключевые слова:** навигационная система, приемник СНС, погружное исполнение, прочный корпус.

**Key words:** navigation system, GPS receiver, underwater usage, hull.

В МГТУ им. Н. Э. Баумана в рамках программы развития ведется разработка прототипа донной машины для добычи полезных ископаемых. Для определения начальных координат донной машины для реализации привязки ее траектории движения к местности используется приемник спутниковой навигационной системы (СНС). Приемник СНС помещается в прочный корпус для защиты от внешнего давления на глубине. Антенна приемника СНС накрывается прозрачным куполом из прочного материала, выдерживающего

давление и пропускающего сигналы СНС.

Для оценки влияния прочного корпуса на работу приемника СНС были проведены статические испытания на полигоне по методу трех точек: на открытом пространстве, вдали от затеняющих объектов строится равносторонний треугольник, последовательно в вершину каждого угла треугольника устанавливается приемник и производится запись его показаний длительностью порядка 20 минут. По записанным координатам рассчитываются длины сторон треугольников и сравниваются с реальными.

В ходе экспериментов исследовалась работа четырех приемников СНС, используемых в изделиях подводной робототехники: погружного исполнения в прочном корпусе, Транзас [1] из состава ГАНС УКБ, Фарватер [2] из состава гидроакустического поискового комплекса, Навиор [3] из состава дрейфующих буев ГАНС, размещались на столе, перемещаемом между точками в углах треугольника (см. рис. 1). В первых двух точках производилось по две записи: без внутренних фильтров и с включенными внутренними фильтрами приемников СНС.



Рисунок 1 – Внешний вид стенда

Координаты точек, рассчитанные как математическое ожидание по показаниям приемника СНС за время нахождения в точке, выложенные на geotiff-подложку местности, представлены на рис. 2. Расстояния между точками 1 и 2, полученные с помощью картографической проекции Меркатора (UTM), представлены в табл. 1. Средние квадратические отклонения показаний приемников СНС в точке 1 представлены в табл. 2. Для других точек величины аналогичны.

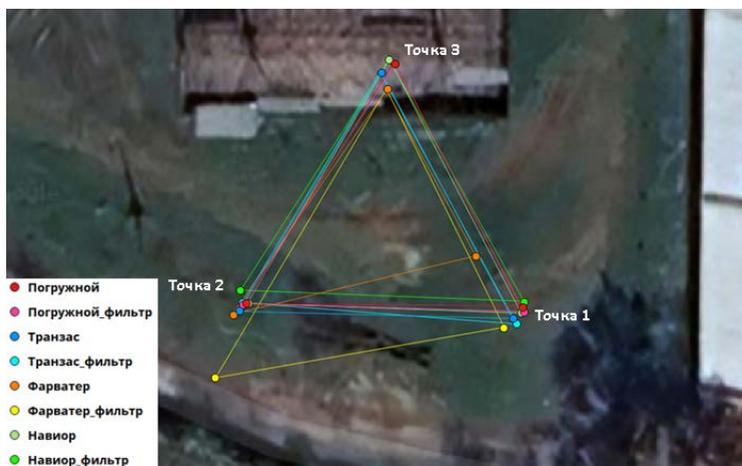


Рисунок 2 – Расположение точек

Таблица 1 – Расстояние между точками 1 и 2

Точка начала	Параметры точки начала	Точка конца	Параметры точки конца	Координаты и расстояния между точками в направлении	Значения координат и расст-ий, м
Точка 1 С фильтрами		Точка 2 С фильтрами			
<b>Приемник СНС Фарватер</b>					
Широта, град.	55,92586922	Широта, град.	55,92581555	Север	-5,570
Долгота, град.	37,79211907	Долгота, град.	37,79175009	Восток	-23,159
Высота, м	161,046	Высота, м	157,684	Вертикаль	3,362
				Расстояние в плоскости	23,820
				Расстояние в пространстве	24,056
<b>Приемник СНС Транзас</b>					
Широта, град.	55,92581649	Широта, град.	55,92581880	Север	0,713
Долгота, град.	37,79217716	Долгота, град.	37,79175973	Восток	-26,078
Высота, м	159,259	Высота, м	157,988	Вертикаль	1,271
				Расстояние в плоскости	26,088
				Расстояние в пространстве	26,119
<b>Приемник СНС Погружной</b>					
Широта, град.	55,92582630	Широта, град.	55,92582529	Север	0,348
Долгота, град.	37,79219172	Долгота, град.	37,79176963	Восток	-26,375
Высота, м	157,338	Высота, м	154,222	Вертикаль	3,117
				Расстояние в плоскости	26,378
				Расстояние в пространстве	26,561
<b>Приемник СНС Навиор</b>					
Широта, град.	55,92582155	Широта, град.	55,92582579	Север	0,927
Долгота, град.	37,79219004	Долгота, град.	37,79177222	Восток	-26,098
Высота, м	157,070	Высота, м	153,054	Вертикаль	4,015
				Расстояние в плоскости	26,115
				Расстояние в пространстве	26,422

Таблица 2 – Статистические характеристики в точке 1

Приемник СНС	Широта, град.		Долгота, град.		Высота, м		Восток, м	Север, м
	МО	СКО	МО	СКО	МО	СКО		
Фарватер	55,92586922	0,00000427	37,79211907	0,00000318	161,046	0,058	0,191	0,478
Навиор	55,92582155	0,00000737	37,79219004	0,00000589	157,070	0,649	0,370	0,819
Транзас	55,92581649	0,00000082	37,79217716	0,00000151	159,259	0,154	0,095	0,091
Погружной	55,92582630	0,00000194	37,79219172	0,00000316	157,338	0,381	0,197	0,217

По данным видно, что показания приемника СНС в погружном исполнении находятся на уровне высокоточных приемников СНС Транзас и Фарватер.

Для оценки влияния прочного корпуса на работу приемника СНС в динамике проводились записи движения по траектории приемника СНС в погружном исполнении и приемника СНС Транзас (см. рис. 3).

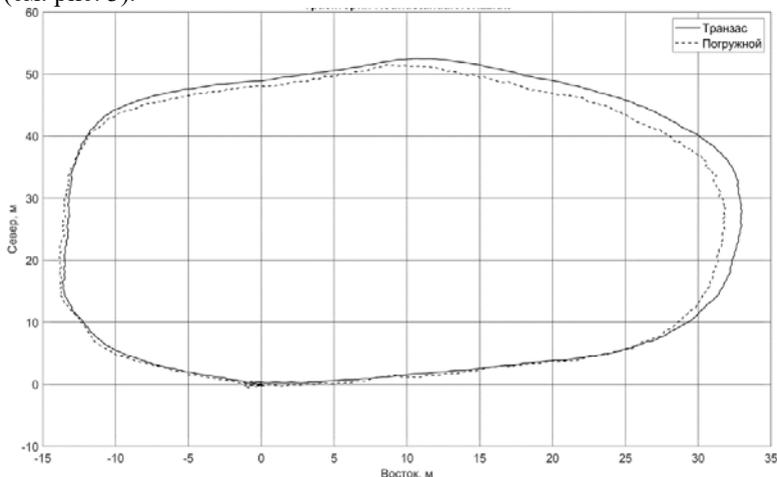


Рисунок 3 – Траектория по данным приемников СНС Транзас и приемника в погружном исполнении

Расхождение траекторий по данным двух приемников СНС вызвано особенностями применяемой в эксперименте оснастки, которая не позволяла гарантировать строго плоскопараллельное смещение приемников друг относительно друга. Результаты траекторного движения подтверждают отсутствие негативного влияния прочного корпуса на работу приемника СНС в погружном исполнении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Приемник СНС Транзас [Электронный ресурс] – URL: <https://transas.ru> (дата обращения 24.12.24);
2. Приемник СНС Фарватер [Электронный ресурс] – URL: <https://farwater-gnss.ru> (дата обращения 24.12.24);
3. Приемник СНС Навиор [Электронный ресурс] – URL: <https://nvs-gnss.ru>

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абакумов Е.В.	87	Гулин М. Б.	131
Агапов М.Ю.	330	Демидов А.Б.	126
Ажогина Т.Н.	101,105,150	Дерюшкин Д.В.	207
Алиев Р.А.	56	Джалилов А.Г.	58
Анисимов И.М.	16,71,160, 163,165,273	Дмитриев В.В.	138
Артемьев Г.Б.	12	Дмитриева О. А.	67
Артемьев Н.В.	249	Добродий В.А.	183
Бабич В.А.	265	Доманов М.М.	127
Барабашин Т.О.	150	Домнин Д.А.	146
Баранов Б.В.	160	Дымент Л.Н.	175
Барканова Т.Б.	75	Егоров С. А.	333,337,341
Басин А.Б.	19,169	Егорова В.М	97
Белевич Т.А.	126	Елкин А.В	297,316,319,322, 326
Белов Д.А.	71	Ениватов В.В.	113
Березенко Н.С.	122	Епифанов А.О.	12
Богданов А.А.	314	Ермаков Д.И.	269
Богомолова Т.В.	56	Ермаков И.Д.	269
Бойкая Е.Г.	175	Ерофеева Т.В.	19,169
Боран-Кешишьян А.Л.	122	Ершова А.А.	175
Буланов А.В.	201	Есюкова Е.Е.	155,157
Булатов Н.В.	249	Ефимова И.В.	109
Булатова Т.В.	75	Жак Ю.Е.	93
Вайнберг А. С.	87	Жданов Р.С.	314
Ванюшин Г.П.	75	Заиченко Т.И.	122
Васильев Н.В.	113	Зайцева А.Е.	79
Васильчиков А.А.	307,322	Залота А.К.	163
Вельтищев В.В.	227,285	Запотылько В.С.	212
Виноградов Г.М.	71	Зуев Б.К.	79
Винтоняк Н.П.	330	Иваненко А.Н.	212
Войтов Д.В.	277	Иванов А.Ю.	193
Воропаев С.А.	79	Иванова Е. А	130
Вэй Яньхуэй	258	Ивановская А.В.	113
Вязилов Е.Д.	179,186,189	Казаков Д.В.	186
Гаврилина Е.А.	330	Казеннов А.Ю.	31,35,39,47, 50
Галкин С.В.	71	Калмыков С.А.	31,35,43,47
Гамазов Н.И.	288	Каплуненко Д.Д.	245
Глухов А.А.	307	Капцов А.С.	302,319
Гуленко Т.А.	245	Карманов В.А.	19,169

Карманов С.А.	249	Носков С.А.	19,169
Карчава Ш.К.	105	Оленин А.Л.	71, 142
Каткова М.Н.	12	Пак А.В.	249
Кикнадзе О.Е.	22,27, 31-50,217	Пальшин Н.А.	212
Килесо А.В.	155	Подгорный К.А.	67
Кичко С.А.	314	Пронин А.А.	22,27,165,207
Клименко С.К.	193	Реклайдис В.А.	12
Климова М.В.	105	Римский-Корсаков Н.А.	22,27
Клубов С.М.	138	Розман Б.Я.	302,326
Книвели Н.Я.	22,27,43,50	Росинская А.Е.	118
Колигаев С.О.	253	Ромашко А.С.	333,337,341
Коллаборация Baikal-GVD	253	Сагалевиц А.М.	239
Колочкина Г.А.	134	Сазыкин И.С.	101,105,150
Комолов А.С.	56	Сазыкина М.А.	101,105,150
Королев С.А.	219	Сапожников Ф.В.	113
Кортикова К.Г.	175	Сапунова Е.В.	75
Кубряков А.А.	183	Свиридов С.А.	212
Кузьмичев М.В.	330	Се Юнцян	258
Курашина А.Е.	330	Селифонова Ж.П.	123
Куценко А. С.	333,337,341	Семенова А. С.	67
Лановая О.Д.	150	Сентябов Е.В.	93
Лахно О.В.	71,160,163,270,273	Симакова У.В.	134
Лесин А.В.	22,71,160,163, 165,273	Скотаренко Д.А.	219
Лобчук О.И.	146,155,157	Смирнов И.А.	223
Лу Тяньхао	258	Сорокин Б.В.	330
Макашов А.А.	265	Стесько А.В.	93
Мельников Д.А.	179	Судаков Н.В.	223
Мизюк А.И.	183	Суханова И.Н.	126
Михайлова А.В.	79	Сухова Ю.Д.	249
Мишин А.В.	27,163	Тарасенко А.О.	12
Муравья В.О.	16,160,163, 163,273	Торопов М.Н.	113
Мутовкин А.Д.	207	Тощакон С.В.	19,167
Мясникова А.И.	220	Третьяков В.Ю.	138
Намсараев З.Б.	19,169	Уваров А.Д.	12
Недоспасов А.А.	16, 19,169	Удалов А.А.	160,163,165
Неманов М.И.	249	Устинов В.С.	314
Никитин А.О.	31,35,43,47,333	Фетисов С.В.	262
Никулина А.Р.	138	Филоненко В.Г.	79
		Фокин С. Г.	314
		Фролов А.С.	285,288

Фу Юйчжэн	258	Чубаренко И.П.	109
Хаммами М.И.	101,105	Шакуев Д.А.	249
Хмелевцова Л.Е.	101	Шаратов А.С.	113
Хоменко И.А.	56	Шатохин М.В.	97
Хортов А.В.	22,27,207	Швоев Д.А.	281
Хритошин Н.В.	189	Шерстов Е.А.	292,319,322
Цапенко А.В.	292,297,302	Шиповская Е.А.	172
Царева В.А.	75	Шмыков Н.В.	201
Чаркин А.Н.	245	Шубин М.Д.	326
Часовников В.К.	122	Щербаченко С.В.	207
Чернышова Л.М.	249	Щука А.С.	134
Чжао Канкан	258	Яхонтов Б.О.	231,235
Чикина М.В.	134		

*Научное издание*  
*Сборник*

**ISBN 978-5-6051054-6-6**

**DOI 10.29006/978-5-6051054-6-6-2025**

«Современные методы и средства океанологических исследований»  
(МСОИ-2025)

Материалы XIX Международной научно-технической конференции

Том II

М.: Издательство Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН,  
2025. – 348 с.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН тема,  
FMWE-2024-0024. Аналитические исследования выполнены при  
поддержке РФФ (проект № 23-17-00156).

Тираж 50 экз.

ISBN 978-5-6051054-6-6

