

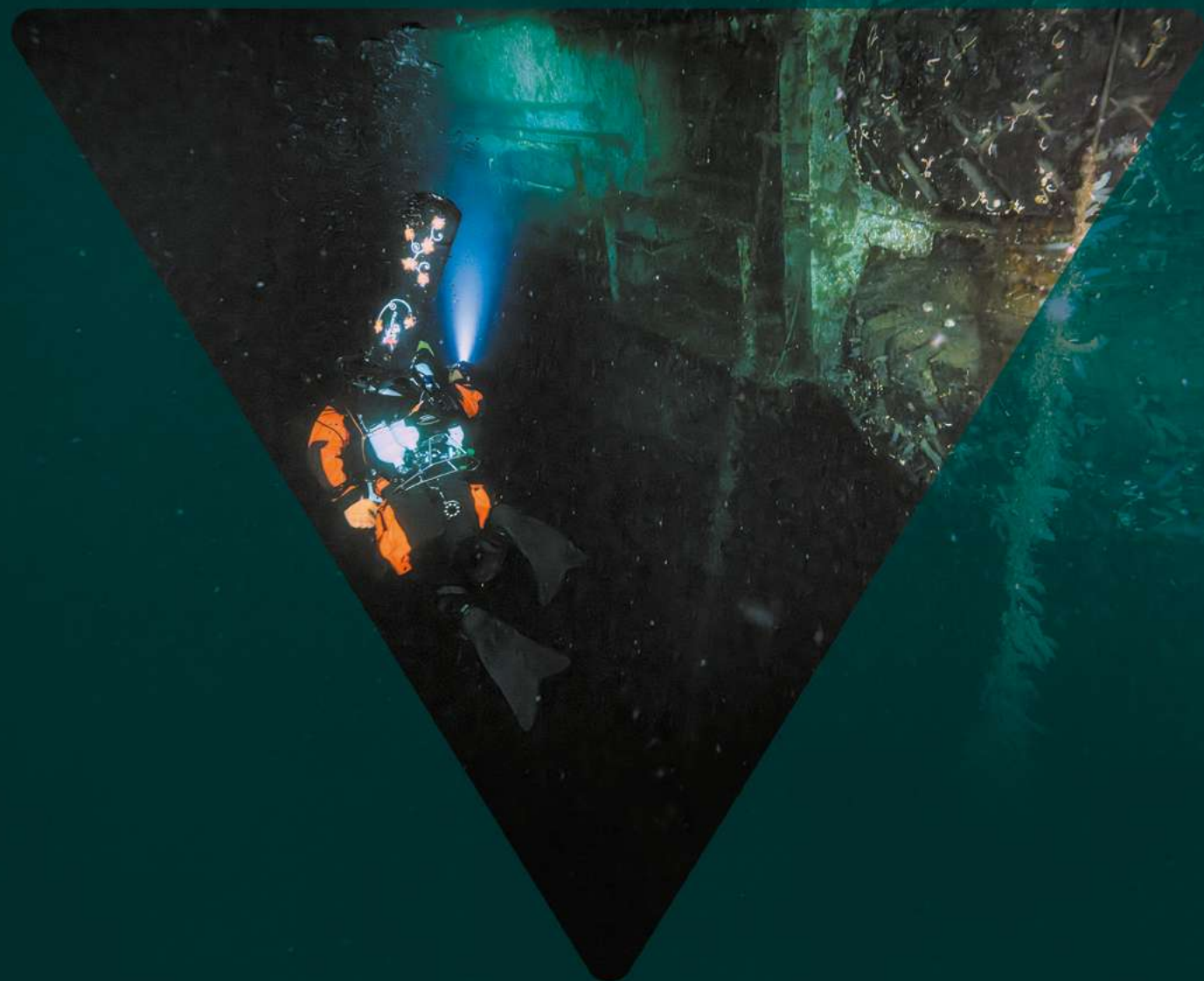


HYDROCOSMOS

ГИДРОКОСМОС

'26

Том 4
Vol. 4
№ 1
No. 1



российский научный журнал | russian scientific journal





Емельянов Андрей Евгеньевич
директор Центра Водолазной
Подготовки Морской школы ДОСААФ
России СПб и ЛО

В современном мире профессиональное развитие и обмен опытом между профильными организациями играют ключевую роль в повышении стандартов безопасности, эффективности и инноваций.

Центр Водолазной Подготовки (ЦВП) Санкт-Петербургской Морской школы ДОСААФ России — одно из ведущих образовательных учреждений страны, которое готовит водолазов по основным и дополнительным квалификациям, водолазных специалистов, операторов водолазных барокамер и техников-операторов ТНПА (телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов). ЦВП — не только образовательная организация, но и площадка, объединяющая тех, кто производит водолазное снаряжение и оборудование, и тех, кто его использует.

Журнал «Гидрокосмос» — авторитетное отраслевое издание, освещающее вопросы водолазного дела, водолазной медицины, подводных исследований и технологий, археологии и истории, а также рассказывающее о современных достижениях.

У Центра Водолазной Подготовки и журнала «Гидрокосмос» общие цели и задачи: развитие водолазной отрасли, популяризация профессии «водолаз», обмен передовым опытом и сохранение исторической памяти водолазного дела в России.

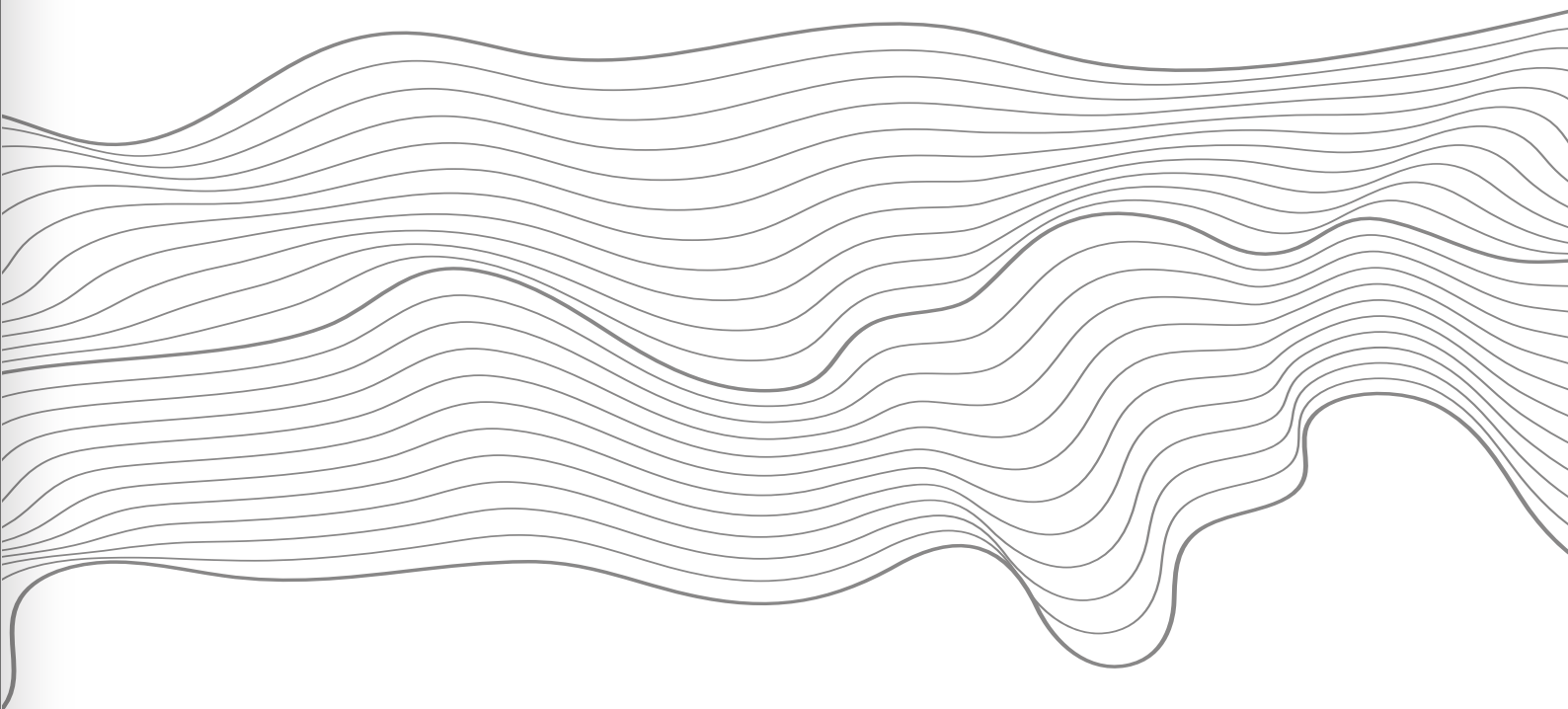
Наше партнёрство — залог того, что водолазное дело в России будет развиваться, отвечая самым современным требованиям и вызовам времени, будет расширяться профессиональное сообщество, открытое к диалогу и инновациям.

Центр подводных исследований Русского географического общества

ГИДРОКОСМОС

Российский научный журнал

Том 4, № 1
2026



HYDROCOSMOS

Russian scientific journal

Vol. 4, No. 1
2026

Underwater Research Center of the Russian Geographical Society

ГИДРОКОСМОС

Российский научный журнал о подводных исследованиях

Гидрокосмос. 2026. Том 4. № 1.

МИССИЯ ЖУРНАЛА: предоставление площадки для объединения усилий практиков и теоретиков подводной отрасли России с целью обсуждения актуальных научных проблем подводных исследовательских и технических работ, изучения и сохранения памятников подводного культурного наследия и природных объектов.

ЦЕЛЬ ЖУРНАЛА: предоставить русскоязычным и англоязычным читателям в России и за рубежом открытую бесплатную актуальную информацию по теории и методологии подводных

исследований, по проблемам морской археологии, связанным с консервацией и реставрацией обнаруженных в воде предметов, по вопросам сохранности объектов культурного наследия, по техническому, медицинскому, организационному и юридическому обеспечению подводных археологических работ.

«Гидрокосмос» публикует оригинальные статьи, обзоры, переводы работ зарубежных исследователей, мнения экспертов, информационные материалы, фотодокументацию.



ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

С. Г. Фокин, исполнительный директор
АНО «ЦПИ РГО», г. Санкт-Петербург, Россия

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР:

Д. В. Никущенко, Санкт-Петербургский
государственный морской технический
университет, доктор технических наук,
профессор, г. Санкт-Петербург, Россия

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ:

К. Б. Назаренко, Институт истории СПбГУ,
доктор исторических наук, профессор,
г. Санкт-Петербург, Россия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В. В. Вахонеев, старший научный сотрудник
группы подводной археологии Института
истории материальной культуры РАН,
кандидат исторических наук, г. Севастополь,
Республика Крым, Россия

Г. П. Головчанский, доцент кафедры истории
и археологии Пермского государственного
национального исследовательского университета,
кандидат исторических наук, г. Пермь, Россия

Г. А. Гребенщикова, доктор исторических наук,
Академик РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Д. П. Зверев, начальник кафедры физиологии
подводного плавания Военно-медицинской
академии им. С. М. Кирова, кандидат медицинских
наук, профессор, г. Санкт-Петербург, Россия

А. Н. Мазуркевич, старший научный
сотрудник отдела археологии Восточной
Европы и Сибири Государственного
Эрмитажа, г. Санкт-Петербург, Россия

Е. В. Мырмина, художник-реставратор
высшей категории Всероссийского
художественного научно-реставрационного
центра им. акад. И. Э. Грабаря (Москва),
член Союза художников России, член Союза
реставраторов России, г. Москва, Россия

С. В. Ольховский, заведующий Центром
подводного археологического наследия
Института археологии РАН, г. Москва, Россия

А. М. Павин, заведующий лабораторией систем
технического зрения Института проблем морских
технологий Дальневосточного отделения РАН,
кандидат технических наук, г. Владивосток, Россия

А. А. Тарасенко, генеральный конструктор
научно-производственного центра «Южный»
АО «Обуховское», кандидат технических наук,
г. Геленджик, Россия

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

М. В. Ковальчук, декан физического факультета
СПбГУ, заведующий кафедрой ядерно-
физических методов исследования, президент
НИЦ «Курчатовский институт», доктор физико-
математических наук, профессор, член-
корреспондент РАН, г. Москва, Россия

А. А. Мясников, доктор медицинских наук,
профессор кафедры физиологии подводного
плавания Военно-медицинской академии
им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия

Р. Ш. Нехай, директор ФГБУ «Центральный
военно-морской музей имени императора Петра
Великого» Министерства обороны РФ, кандидат
политических наук, г. Санкт-Петербург, Россия

Г. А. Фокин, генеральный директор ООО «Газпром
трансгаз» — Санкт-Петербург, доктор
технических наук, г. Санкт-Петербург, Россия

ВЫПУСКАЮЩИЙ РЕДАКТОР:

И. А. Аксенова, руководитель научно-
просветительского направления
АНО «ЦПИ РГО», г. Санкт-Петербург, Россия

**ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР, ТЕХНИЧЕСКИЙ
РЕДАКТОР:**

Т. В. Синицына, АНО «ЦПИ РГО», г. Москва, Россия

ПЕРЕВОДЧИК, КОРРЕКТОР АНГЛ.:

Б. Д. Ф. Йоффе-Эйслер, г. Санкт-Петербург,
Россия — г. Лондон, Соединенное Королевство
Великобритании и Северной Ирландии

ДИЗАЙН, ВЕРСТКА:

А. В. Уколова, АНО «ЦПИ РГО»,
г. Санкт-Петербург, Россия

ФОТОГРАФИЯ НА ОБЛОЖКЕ:

Павел Кошкин, архив ЦПИ РГО.

ISSN 2949-3838 (Print)

История издания журнала

Префикс DOI

Копирайт

Условия распространения материалов

Учредитель и издатель

Периодичность

Сайт

Адрес учредителя и издателя

E-mail

Телефон

Распространение

Формат

Тираж

Отпечатано в типографии «АМ-Медиа»

Подписано в печать: 17.07.2026

ISSN 3033-7976 (Online)

Издаётся с 2023 г.

10.26175

© Оформление, составление, редактирование. Гидрокосмос, 2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции

Автономная некоммерческая организация «Центр подводных
исследований Русского географического общества» (<https://urc-rgs.ru>)

Журнал финансируется за счёт средств учредителя

2 раза в год

<https://гидрокосмос.рф>

191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3., Лит. А.

hydrocosmos@urc-rgs.ru

+7 812 327-45-05

Распространяется бесплатно

60x90/8

200 экз.

197082, Санкт-Петербург, Камышовая ул., 34, корп. 2

E-mail: saenko@am-media.spb.ru тел.: +7 921 848-24-23

Дата выхода в свет: 07.08.2026



HYDROCOSMOC

Russian scientific journal on underwater research

Hydrocosmoc. 2026. Vol. 4. No. 1.

The **MISSION** of the journal is to provide a platform for integrating the efforts of practitioners and theorists in the Russian underwater sector in order to discuss current scientific issues related to underwater research and engineering, the study and preservation of underwater cultural heritage, and natural objects.

The **AIM** of the journal is to provide Russian — and English-speaking readers in Russia and abroad with open-access, up-to-date information on the theory

and methodology of underwater research and issues of maritime archaeology, including conservation and restoration of objects recovered from water and preservation of cultural heritage sites, as well as technical, medical, organizational, and legal aspects of underwater archaeological work.

Hydrocosmos publishes original research articles, review papers, translations of international scholarship, expert commentaries, informational materials, and photographic documentation.



EDITOR-IN-CHIEF:

Sergey G. Fokin, executive director of Autonomous Nonprofit Organisation "Underwater Research Centre of the Russian Geographical Society", St. Petersburg, Russia

SCIENTIFIC EDITOR:

Dmitry V. Nikuschenko, St. Petersburg State Marine Technical University, doctor of technical sciences, professor, St. Petersburg, Russia

SCIENTIFIC ADVISER:

Kirill B. Nazarenko, Institute of History of St. Petersburg State University, Doctor of History, Professor, St. Petersburg, Russia

EDITORIAL BOARD:

Viktor V. Vakhoneev, Senior Research Fellow, Underwater Archeology Group, Institute for the History of Material Culture of the Russian Academy of Sciences, PhD (History), Sevastopol, Crimea, Russia

Grigoriy P. Golovchanskiy, Associate Professor of the Department of History and Archaeology of Perm State National Research University, PhD (History), Perm, Russia

Galina A. Grebenshikova, Doctor of History, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, St. Petersburg, Russia

Dmitry P. Zverev, Head of Department of Physiology of Scuba Diving at S. M. Kirov Military Medical Academy, PhD (Medicine), Professor, St. Petersburg, Russia

Andrey N. Mazurkevich, Senior Researcher at the Department of Archaeology of Eastern Europe and Siberia of the State Hermitage Museum, St. Petersburg, Russia

Eugenia V. Mymrina, artist-restorer of the highest category of the Grabar Art Conservation Center, member of the Russian Union of Artists, member of the Russian Union of Restorers, Moscow, Russia

Sergey V. Olkhovsky, Head of the Centre for Underwater Archaeological Heritage under the Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Alexander M. Pavin, Leading researcher, head of the Computer vision Lab. Institute of Marine Technology Problems, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, PhD (Technical Sciences), Vladivostok, Russia

Andrey A. Tarasenko, general Designer of the Yuzhny Research and Production Center, Obukhovskiy Factory, PhD (Technical Sciences), Gelendzhik, Russia

EDITORIAL COUNCIL:

Mikhail V. Kovalchuk, President of National Research Centre "Kurchatov Institute", Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Alexey A. Myasnikov, Doctor of Medicine, Professor of Department of Physiology of Scuba Diving at S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

Ruslan Sh. Nekhai, Director of Federal state budget-funded institution "Emperor Peter the Great Central Naval Museum" of the Ministry of Defence of the Russian Federation, PhD (Political Science), St. Petersburg, Russia

Georgy A. Fokin, Director General of Gazprom Transgaz, LLC — St. Petersburg, Doctor of Technical Sciences, St. Petersburg, Russia

EXECUTIVE EDITOR:

Irina A. Aksenova, Autonomous Nonprofit Organisation "Underwater Research Centre of the Russian Geographical Society", St. Petersburg, Russia

LITERARY EDITOR, PROOFREADER:

Tatiana V. Sinitsina, Autonomous Nonprofit Organisation "Underwater Research Centre of the Russian Geographical Society", Moscow, Russia

TRANSLATOR, PROOFREADER ENGLISH:

Bella D. Joffe-Eisler, St. Petersburg, Russia — London, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

DESIGN, LAYOUT:

Anna V. Ukolova, Autonomous Nonprofit Organisation "Underwater Research Centre of the Russian Geographical Society", St. Petersburg, Russia

COVER PHOTO:

Pavel Koshkin, URC RGS' archive.

ISSN 2949-3838 (Print)

Founded

DOI Prefix

Copyright

Distribution

Founder and Publisher

Frequency

Website

Postal address

E-mail

Phone

Subscription

Format

Circulation

Printed at the printed house AM-Media

Signed for publication: 17.07.2026

ISSN 3033-7976 (Online)

The journal has been published since 2023

10.26175

© Compilation, design, editing. Hydrocosmos, 2026

Content is distributed under Creative Commons Attribution 4.0 License

Views expressed in the journal are those of the authors and do not necessarily represent those of the editorial team

Autonomous Nonprofit Organisation "Underwater Research Centre of the Russian Geographical Society" (<https://urc-rgs.ru>)

The "Hydrocosmos" is funded by the founder

Semi-annually

<https://hydrocosmos.ru>

3-A Zakharyevskaya Street, St. Petersburg, 191123, Russia

hydrocosmos@urc-rgs.ru

+7 812 327 45 05

Free distribution

60x90/8

200 copies

Kamyshovaya St., 34, bldg. 2, St. Petersburg, 197082, Russia

E-mail: saenko@am-media.spb.ru tel.: +7 921 848 24 23

Publication date: 07.08.2026





КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Уважаемые читатели!

Приветствую вас на страницах тринадцатого выпуска журнала «Гидрокосмос». Надеюсь, что ассоциации, связанные с этим числом, не повлияют ни на качество публикуемых материалов, ни на дальнейшую судьбу нашего издания.

Следует признать, что текущая ситуация в мире создаёт дополнительные вызовы для прикладных научных дисциплин, в том числе для подводной археологии и смежных областей подводных исследований. Происходит не только значительное отвлечение ресурсов на решение государственных задач в стране, но и доступ к морским акваториям далеко не всегда открыт для гражданских специалистов. В таких условиях особенно отрадно видеть в этом номере статьи, посвящённые самым разным сферам подводных исследований. Читатель найдёт оригинальные статьи и научные обзоры по музейно-выставочной работе, техническим аспектам подводных работ и водолазной медицине. Отдельная благодарность авторам из Крыма, которые подготовили материалы и продолжают работать в сложнейших условиях.

Команда ЦПИ РГО также продолжает свою деятельность. Летом 2026 года совместно с фортом Константин мы открываем Музей истории залива в Кронштадте. Продолжается сотрудничество с другими научными центрами и музеями по исследованию поднятых артефактов. Так, в настоящее время лаборатория палеогеномики Европейского университета в Санкт-Петербурге проводит ДНК-анализ черепа моряка, поднятого со шведского канонерского баркаса, погибшего в 1790 году.

Выражаю глубокую благодарность коллегам и единомышленникам — всем, кто продолжает работать в море в нынешних условиях, делится новыми знаниями и пополняет музейные фонды России.

Всем научных успехов!

Сергей Георгиевич Фокин,
исполнительный директор АНО «ЦПИ РГО»,
главный редактор журнала «Гидрокосмос»



Подводная художественная съёмка
затонувших судов в Финском заливе
во время поисковой экспедиции 2026 года.
Архив ЦПИ РГО

* Фотографии А. Носик.

СОДЕРЖАНИЕ

АПРИОРИ

- 12 Дневные сигналы в петровском флоте
Назаренко К. Б.

АРХЕОЛОГИЯ

- 20 Обнаружение и обследование затонувших судов
Таллинского прорыва на дне Финского залива. Часть 1
Иванов М. С.

- 49 Музеи подводной археологии: тематический обзор
Горбунов П. А., Архангельский Е. Н.

- 64 Парики с любекского судна «Архангел Рафаил»:
результаты первичного исследования
Прохоров Р. Ю., Герц Э. В.

- 72 Зарубежный опыт применения донной электротомографии
в подводной археологии
Букатов А. А., Вахонеев В. В., Глазунов В. В., Задорожный-Ремарчук Е. Е.

ТЕХНИКА / ТЕХНОЛОГИИ

- 87 Развитие гидроакустической системы Zima2:
реализация режима длинной базы (LBL) с использованием
штатных маяков-ответчиков

Дикарев А. В., Дмитриев С. М., Кубкин В. А., Василенко А. В.

ВОДОЛАЗНОЕ ДЕЛО

- 105 Количественная оценка кислородной интоксикации
центральной нервной системы: ОБЗОР

Ярков А. М., Бычков С. А.

РЕПОРТАЖ

- 122 Палеогенетика в сотрудничестве
с подводной археологией

Евтюков Р. Р.

- 126 Курс на неизведанное: завершён сезон 2026 года
проекта «Океанавтика»

CONTENTS

A PRIORI

- 12 Day Signals in Peter the Great's Navy
K. B. Nazarenko

ARCHAEOLOGY

- 20 Discovery and Exploration of the Tallinn Breakthrough Shipwrecks on the Floor of the Gulf of Finland. Part 1
M. S. Ivanov
- 49 Museums of Underwater Archaeology: A Thematic Review
P. A. Gorbunov, E. N. Arxangel'skij
- 64 Wigs from the Lübeck Vessel *Archangel Raphael*: Results of a Preliminary Study
R. Y. Proxorov, E. V. Gercz
- 72 Applications of Underwater Electrical Resistivity Tomography in Underwater Archaeology: International Experience
A. A. Bukatov, V. V. Vakhoneev, V. V. Glazunov, E. E. Zadorozhnyi-Remarchuk

TECHNOLOGY / TECHNOLOGIES

87 Development of the Zima2 Hydroacoustic System: Implementation of a Long Baseline (LBL) Mode Using Standard Transponder Beacons

A. V. Dikarev, S. M. Dmitriev, V. A. Kubkin, A. V. Vasilenko

DIVING REGULATIONS

105 Quantitative Assessment of Central Nervous System Oxygen Toxicity: A Review

A. M. Yarkov, S. A. By`chkov

REPORTAGE

122 Paleogenetics in collaboration with Underwater Archaeology

R. R. Evtyukov

126 Course into the Unknown: the 2026 Season of the Oceanautics Project Concludes

АПРИОРИ | A PRIORI

Экспертная статья | Expert article

DOI: <https://doi.org/10.26175/URC.2026.88.73.001>

УДК 94(47)



Дневные сигналы в петровском флоте

К. Б. Назаренко ✉

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия

✉ k.nazarenko@spbu.ru

Аннотация

До сих пор распространены неверные представления о российском дневном сигналопроизводстве XVIII века и о его роли в морских баталиях того времени. Статья представляет собой краткий обзор истории появления морских сигналов в парусном флоте Петра I, то есть на раннем этапе развития этого явления. Согласно архивным документам, в начале XVIII века российские корабли имели фиксированные позывные знаки. Моряки также использовали генеральные и боевые сигналы, которые подавали с помощью флагов из флагдука пяти цветов. На борту были и флаги, указывающие страну и ведомство, должностные вымпелы, флаги и гюйсы других государств. Сигналы подавались поднятием определённого флага или манёвром парусами, а также их комбинацией. Русская дневная флажная система сигналопроизводства петровского времени стояла вровень с современными ей аналогичными европейскими системами. Она была заимствована Петром в Великобритании или Голландии, адаптирована царём и его военноморским окружением для успешного управления флотом в Северной войне. Вероятно, без серьёзных изменений она сохранилась до начала екатерининского правления.

Ключевые слова

сигналопроизводство, парусно-гребной флот, Пётр Великий, история флота, морские флаги, морские вымпелы, дневная флажная система

Для цитирования

Назаренко К. Б. Дневные сигналы в петровском флоте. *Гидрокосмос*. 2026;4(1):12–19. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.88.73.001>

Day Signals in Peter the Great's Navy

Kirill B. Nazarenko ✉

Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

✉ k.nazarenko@spbu.ru

Abstract

Misconceptions concerning the Russian daytime naval signaling system of the 18th century and its role in naval engagements remain widespread. This article provides a concise overview of the emergence and development of daytime signaling in the sailing fleet of Peter the Great, focusing on its formative stage. Archival sources demonstrate that, by the beginning of the 18th century, Russian naval vessels employed fixed identifying signals (call signs).

Sailors also used general and tactical signals conveyed by means of flags made from bunting in five different colors. Ships additionally carried national and service flags, commissioning pennants, rank pennants, and the flags and jacks of foreign states. Signals were transmitted by hoisting specific flags, by maneuvers under sail, or by combinations of both methods. The Russian daytime flag-signaling system of the Petrine era was fully comparable to contemporary European signaling systems. It was most likely adopted by Peter the Great from Great Britain or the Netherlands and subsequently adapted by the tsar and his naval advisers to facilitate effective command and control of the fleet during the Great Northern War. With only minor modifications, this system appears to have remained in use until the beginning of the reign of Catherine the Great.

Keywords naval signaling, sailing and rowing fleet, Peter the Great, naval history, maritime flags, naval pennants, daytime flag-signaling system

For citation Nazarenko K. B. Day Signals in Peter the Great's Navy. *Hydrocosmos*. 2026;4(1):12–19. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.88.73.001>

Прежде всего оговоримся, что речь в данной статье будет идти о развитии дневных (то есть не ночных и не для условий плохой видимости) флажных сигналов, подаваемых путём поднятия флага определённого цвета и рисунка (то есть речь не о флажковом семафоре, не о световых сигналах прожектором, основанных на азбуке Морзе, не о звуковых сигналах и не о сигналах цветными фонарями).

К сожалению, широко распространены фантастические (если не сказать — бредовые) представления о сигналопроизводстве в XVIII веке, в частности в петровскую эпоху. Приведём яркий пример. В популярном очерке о биографии контр-адмирала Д. С. Калмыкова встречаем такой пассаж после рассказа о неудачных действиях эскадры К. Крюйса в 1713 году:

«Следствие установило, что поднятый Крюйсом на „Риге“ сигнал „Курс ведёт к опасности“, предупреждавший остальные корабли эскадры о находящейся впереди мели, был прочитан Авраамом Рейсом как сигнал прекращения погони... Оказалось, что адмирал Крюйс поднимал сигнальные флаги согласно своду голландскому, англичанин же капитан-командор Рейс читал эти сигналы по своду британскому» [1].

Такая ситуация могла бы быть возможна во второй половине XIX века или в XX веке, но никак не в XVIII веке, поскольку в те времена не существовало технической возможности для такого рода недоразумения. Научный разбор этого казуса можно найти в статье Т. П. Мазур [2].

Говоря о флажном сигналопроизводстве в парусную эпоху необходимо выделить три этапа развития этого явления:

1. Ранний (до середины XVIII в.) — традиционные сигналы, идущие из средневековья, постепенно дополняемые новыми. Флаги и вымпелы не имеют ни буквенных, ни цифровых значений. Количество флагов и вымпелов исчисляется десятками. Кроме рисунка и комбинаций флагов и вымпелов, смысловым элементом служило также место поднятия флага на корабле, поднятие определённых парусов, пушечные выстрелы. Количество сигналов невелико: не превышает 100 (имеются ввиду корабельные сигналы без дублирующих их галерных сигналов).
2. Переходный (середина XVIII в. — середина XIX в.) — попытки создать с нуля рациональную систему сигналопроизводства, полностью отказавшись от систем первого этапа. Некоторым флагам и вымпелам присваиваются цифровые значения (0–9, иногда 0–12). Количество сигналов исчисляется сотнями, затем, по мере усовершенствования системы, доходит до трёх тысяч. Происходит отказ от использования в качестве смысловых элементов всего, кроме рисунка самих флагов.
3. Современный (с середины XIX в.) — флагам и вымпелам присваиваются буквенные и цифровые (0–9) значения. Количество теоретически возможных сигналов исчисляется десятками тысяч.

Впервые такая система была введена как Международный свод сигналов в 1857 году Британской торговой палатой, в 1931–1934 годах значительно усовершенствована и утверждена рядом международных конвенций. Именно к этому этапу относится как современный Международный свод сигналов, так и военно-морской свод сигналов, принятый в ВМФ РФ.

Первым подходом к третьему этапу развития системы сигналопроизводства стала система, изобретённая на рубеже XVIII–XIX веков капитаном (позднее адмиралом) британского флота Х.-М. Попхэмом (его фамилия иногда передаётся как Пофэм, Попгем, Попхем, в оригинале — Home Riggs Popham, 1762–1820) [3]. Она была принята в некоторых эскадрах британского флота в 1803 году (в частности, Г. Нельсон использовал её при Трафальгаре), но окончательно утверждена для всего флота в 1816 году. Однако она имела ряд важных отличий от современной. Прежде всего, в ней не было присвоено флагам буквенных значений, а отдельные буквы передавались комбинацией двух флагов¹.

Следует подчеркнуть, что изучение сигналопроизводства имеет особое значение для изучения военно-морской истории до середины XVIII века, в рамках первого этапа развития сигналопроизводства. Эту идею высказал британский исследователь Б. Танстолл (1900–1970), который предложил изучение боевых сигналов в качестве инструмента исследования представлений о морской тактике XVII — начала XIX века² [4; 5]. Поскольку адмиралы не имели возможности передать любой сигнал, они были вынуждены управлять эскадрами с помощью небольшого количества (до 30) заранее заданных сигналов, которые представляли собой боевое распоряжение, манёвр. Поэтому анализ этих сигналов (фактически боевых распоряжений) позволяет судить о тактике и о возможностях управления эскадрой. Это тем более важно, что флотоводцы того времени, как правило, не оставили не только трактатов

по военно-морскому искусству (единственным автором такого трактата был священник П. Гост³), но и рассуждений о нем в своей переписке или мемуарах.

Творчество флотоводцев, в частности, заключалось в том, чтобы придумать наиболее полный перечень сигналов на все случаи боя, которые позволяли бы им доносить своё решение до подчинённых с максимальной точностью, ясностью и гибкостью. В британском флоте адмиралы, командовавшие эскадрами и флотами, разрабатывали собственные сигналы, дополнявшие официальные. Проблема собственных сигналов адмиралов русского флота XVIII века является практически неисследованной, однако в екатерининское время они, безусловно, были⁴. Существовали ли они в первой половине XVIII века — вопрос открытый. Однако «Морской устав» подразумевал наличие позывных у каждого судна во флоте. Например:

«когда Адмирал пожелает, чтобы некоторой рядовой корабль якорь свой отсек... то надлежит тот знак учинить, которой чинится с капитаном того корабля о призывании его...»⁵.

Очевидно, что позывные должны были определяться в начале летней кампании для каждого судна распоряжением флагмана.

Говоря о сигналах, принятых в русском флоте, ни в коем случае не следует

¹ [Popham H. R.] *Telegraphic Signals or Marine Vocabulary 1803. Parts I, II.* National Maritime Museum. SIG/B/82; Ec/61; NM 75.

² В наиболее полном виде эта идея сформулирована в его посмертной работе, подготовленной к печати Н. Трейси (Tracy N.): Tunstall B. *Naval Warfare in the Age of Sail: The Evolution of Fighting Tactics, 1650–1815.* London: Conway Maritime Press, 1990. Русский перевод: Танстолл Б. *Морская война в век паруса. 1650–1815. Сражения великих адмиралов.* М.: Эксмо, 2005.

³ Гост П. *Искусство военных флотов, или Сочинение о морских эволюциях, содержащее в себе полезные правила для флагманов, капитанов и офицеров, с приобщением примеров, взятых из знатнейших происшествий на море за пятьдесят лет, изданное иезуитом Павлом Гостом, профессором математики Королевского училища в Тулоне, напечатано в Лионе 1697 году.* С французского перевел Иван Голенищев-Кутузов. В Санктпетербурге: печатано при Морском шляхетном кадетском корпусе, 1764. [12], 424 с.

⁴ См., напр.: Сигнальная книжка 1794 г. *Эволюция для отряда трех судов. Сигналы в красках.* Рукопись с собственноручными замечками маркиза де Траверсе // Российский государственный архив Военно-Морского Флота (РГАВМФ). Ф. 315. Оп. 1. Д. 183; Генеральная сигнальная книга корабельного флота 1791 г. адмирала Чичагова. Сигналы в красках. Рукопись // РГАВМФ. Ф. 315. Оп. 1. Д. 201; Генеральные сигналы: дневные, ночные и туманные гребного флота, исправленные для кампании 1791 г. под главным начальством господина адмирала его светлости принца Нассау-Зиген. Печатные // РГАВМФ. Ф. 315. Оп. 1. Д. 206.

⁵ Морской устав. СПб., 1763. С. 169.

ограничиваться «Морским уставом»⁶ или другими уставными документами⁷. Следует тщательно изучить отдельные издания сигналов: как широко известные, например так называемые «сигналы графа Апраксина»⁸, так и не привлекавшие внимание исследователей. Кстати, укажем на то, что название «сигналы графа Апраксина» является недоразумением. Дело в том, что на одном из экземпляров печатного издания «Генералные сигналы надзираемые в российском карабелном флоте, Его Величества, на российском и галанском языке» есть рукописная пометка «Графа Апраксина», сделанная, судя по почерку, во второй половине XIX века. Этот экземпляр выложен на сайте Национальной электронной библиотеки и поэтому привлёк внимание исследователей⁹, хотя роль Ф. М. Апраксина в выработке этих сигналов следует (по меньшей мере) уточнить.

Говоря о сигналах, не привлекавших должного внимания исследователей, укажем на несколько типов изданий. Прежде всего, это «Генералные сигналы» для корабельного флота¹⁰. Кроме того, существовали гравированные издания, изображавшие сигналы графически [6]. Позднее именно эти сигналы были перенесены в «Устав морской» (издания 1763 г.), но от них следует отличать

«Боевые сигналы»¹¹, которые в «Устав морской» (издания 1763 г.) включены не были, вероятно по соображениям секретности. Подчеркнём две особенности нормативных документов XVIII века, на которые мы уже обращали внимание в наших публикациях. Прежде всего, гриф «напечатан повелением царского величества» или «его императорского величества» означал, что данное издание является официальным уставным документом и должно рассматриваться историками именно так [7, с. 941]. Во-вторых, наряду с печатными руководствами и наставлениями бытовали рукописные, поскольку книжная печать была дорогой, а типографское оборудование — редким, а также ради сохранения секретности [7, с. 930–931]. Более того, нельзя исключать и длительного бытования устной передачи важной информации. В частности, система действий прислуги артиллерийского орудия в русском флоте существовала в такой передаче не менее 30 лет (с 1718 по конец 40-х годов XVIII века) [8, с. 311]. Поэтому, реконструируя систему сигналопроизводства XVIII века, следует обратиться к поиску рукописных сигнальных сводов.

Генеральные сигналы описывали следующие ситуации:

- постановки на якорь и снятия с якоря,
- движения под парусами,
- вызов адмиралов, капитанов или офицеров на флагманский корабль,
- действия гребных и вспомогательных судов,
- салюты,
- буксировку,
- сигналы, делаемые капитанами отдельных кораблей,
- управление эскадрами в походе.

⁶ Сигналы корабельные. Сигналы галерные // Устав Морской о всем, что касается доброму управлению в бытности флота на море. СПб., 1720. С. 168–212.

⁷ Указ по галерам о порядке морской службы. 8 мая 1696 г. // Письма и бумаги Петра Великого. Т. I. С. 66–67; Сигналы во время плавания по Дону. Кон. Апреля 1699 г. // Письма и бумаги Петра Великого. Т. I. С. 281–283.

⁸ Генералные сигналы надзираемые в российском карабелном флоте, Его Величества, на российском и галанском языке. СПб.: Санктпетербургская типография, 1720. 48 с.

⁹ Генеральные сигналы надзираемые в Российском карабелном флоте, Его Величества, на российском и галанском языке // Национальная электронная библиотека [Эл. ресурс]. URL: https://viewer.rusneb.ru/ru/000200_000018_RU_NLR_A1_PETRI_811?page=5&rotate=0&theme=white (посл. посещение: 01.07.2026).

¹⁰ Вероятно, неполный список изданий: Generale zeeynen, omme geolserveert te worden by de Vloot van zyne groot-magtigste czaarse majesteyt. Amsterdam: Johannes Kannevet, 1704 (на голл. языке); Ibid. Moscou, 1710 (на голл. языке); Генералные сигналы, надзираемые во флоте его царского величества. М., 1708; То же. М., 1710; То же (с параллельным текстом на итальянском языке). М., 1715; То же. СПб., 1720 (с параллельным текстом на голландском языке).

¹¹ Вероятно, неполный список изданий: Генеральные сигналы, надзираемые во флоте во время бою. Напечатаны повелением царского величества на российском и галанском языке. СПб., 1716; Генеральные сигналы, надзираемые во флоте, во время бою. Напечатаны повелением царского величества на российском и галанском языке. СПб., 1719.

Боевые сигналы были посвящены боевым манёврам кораблей, построенных в кильватерную колонну.

Пока мы будем опираться только на печатные сигнальные своды. Дадим им характеристику. В русской системе сигналопроизводства использовались флаги, изготовленные из флагдука (неплотной, в отличие от сукна, шерстяной материи с прямым переплетением нитей). Выбор шерсти как материала для флажной материи объяснялся тем, что используемые в XVIII веке органические красители были нестойкими и держались лучше всего на шерстяной ткани, а на льняной или пеньковой держались совсем плохо [9, с. 70]. Выпускался флагдук пяти цветов: белый, чёрный, синий, красный, жёлтый. Однако для сигнальных флагов чёрный не использовался, поскольку мог быть легко перепутан с синим.

Согласно «Морскому уставу», в корабельном флоте использовалось 54 сигнальных флага (прямоугольной формы), 8 флагов, означавших государственную или ведомственную принадлежность (в России), 2 должностных вымпела, 14 вымпелов¹². Кроме того, на кораблях имелись государственные и военные флаги и гюйсы морских держав, встреча с кораблями которых была наиболее вероятна (Великобритании, Франции, Голландии, Швеции, Дании). Таким образом, общее количество флагов на каждом корабле доходило до 70, а вымпелов — до 16. Для галерного флота устав предусматривал 28 сигнальных флагов (с косицами) и 9 флагов с косицами, означавших государственную или ведомственную принадлежность (в России)¹³, всего 37 флагов.

Рисунок сигнальных флагов был достаточно лаконичен, что диктовалось удобством их распознавания и изготовления. Рассмотрим основные формы рисунка сигнальных флагов.

1. Одноцветный флаг.
2. Флаг с 2 горизонтальными полосами разных цветов.
3. Флаг с 3 горизонтальными полосами разных цветов.

4. Двухцветный флаг с 6 горизонтальными полосами.
5. Флаг с 3 вертикальными полосами разных цветов.
6. Флаг с прямым крестом.
7. Флаг с косым крестом.
8. Флаг с овалом.
9. Двухцветный шахматный флаг с 9 квадратами.
10. Двухцветный шахматный флаг с 4 квадратами.
11. Двухцветный флаг из 4 треугольников.
12. Флаг с мальтийским крестом (только в одном варианте).
13. Флаг с иерусалимским крестом (только в одном варианте).

Некоторые комбинации встречаются для всех цветов (одноцветные флаги), другие — только для некоторых. Вероятно, это свидетельствует об отборе наиболее хорошо различаемых сочетаний.

Сами сигналы могли даваться несколькими способами.

Поднятием определённого флага, например:

«Когда Адмирал похочет, дабы передние и луфвардские (находящиеся на ветре. — К. Н.)... корабли перво поворотили, надлежит ему кейзерс флаг с флагштока с форстенга распустить...».

Таким образом, значение имел не только рисунок флага, но и место его поднятия: если адмирал желал, чтобы первыми поворачивали корабли, находящиеся позади него или под ветром, он должен был поднять тот же кейзерс-флаг (гюйс), но с флагштока на крьюс-стенгге. Обычно такие сигналы сопровождался одним выстрелом из пушки для привлечения внимания¹⁴.

¹² Морской устав. СПб., 1763. С. 214–215.

¹³ Там же. С. 213.

¹⁴ Морской устав. СПб., 1763. С. 170.

Другим способом подачи сигнала были манёвры парусами. Например:

«Когда Адмирал похочет, чтобы во флоте якори свои отрубили... надлежит выстрелить дважды и распустить оба свои марселя...».

Эти сигналы также, как правило, сопровождались пушечными выстрелами¹⁵.

Эти два способа могли комбинироваться. Например:

«Когда Адмирал похочет, дабы корабля, которой флот ведет... парусы поднимать и опущать или бы еще парусов прибавить, или оные подобрать, тогда надлежит ему красной флаг с белым прямым крестом под своим флагом с грот стенга распустить и един раз выстрелить... а потом Адмиралу поднимать и опущать, прибавливать или подобрать тех парусов, которые похочет дабы передний корабль то же учинил»¹⁶.

Мы полагаем, что русские корабельные сигналы (как генеральные, так и боевые) имели британское происхождение. Об этом писал П. А. Кротов, который ввёл в научный оборот тексты «Описание ординования,

или положения, каравана морского аглинской монеры как в стоянии, так и в походе» и «Ординанс, или положение, армады, то есть каравана московского» [10, с. 294–300; 11, с. 715–719; 12, с. 667–670]. Однако этот вывод требует дальнейшего обоснования.

Что касается французских и голландских сигналов, то они были известны Петру Великому. Об этом свидетельствует то, что их русские переводы находятся в собрании бумаг императора в Библиотеке Академии наук¹⁷, однако вопрос об их влиянии на русскую систему флажного сигналопроизводства требует дальнейшего изучения.

Подводя итоги, отметим, что русская дневная флажная система сигналопроизводства петровского времени стояла вровень с современными ей аналогичными европейскими системами, была заимствована Петром (вероятно, в Великобритании или Голландии, возможно, с какими-то французскими элементами), творчески переработана самим царём и его военно-морским окружением и позволяла управлять флотом в условиях Северной войны. Вероятно, без серьёзных изменений она сохранилась до начала екатерининского правления.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование не имело спонсорской поддержки.

FUNDING

The study was carried out without additional funding.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare that there is no conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каланов Н. Легенды и правда о «табачном капитане» — адмирале Калмыкове. М.: Горизонт, 2021. 30 с. ISBN: 978-5-906858-82-5
2. Мазур Т. П. Вице-адмирал К. Крюйс в морских кампаниях 1712 и 1713 гг. и суд над ним // Сборник материалов Шестой ежегодной международной научной конференции «Санкт-Петербург и страны Северной Европы». СПб.: РХГА, 2005. С. 10–22.
3. Reiter J. Quicksilver Captain: The Improbable Life of Sir Home Popham. Warwick, Helion & Company, 2024, 356 p.
4. Tunstall B. Naval Warfare in the Age of Sail: The Evolution of Fighting Tactics, 1650–1815. London, Conway Maritime Press, 1990. ISBN: 978-0851775449

¹⁵ Морской устав. СПб., 1763. С. 168.

¹⁶ Там же. С. 172.

¹⁷ Перевод голландских сигналов 1667 г.: Сборник морских уставов. 1692 г. // Собрание Петра I. Рукописный фонд Библиотеки Академии наук. П I Б 31. Л. 28–46; Перевод французских сигналов 1694 г.: Генеральные сигналы на флоте. Турвиль А.-И., де. 1720-е гг. // Там же. П I Б 36.

5. Танстолл Б. Морская война в век паруса. 1650–1815. Сражения великих адмиралов. М.: Эксмо, 2005. 440 с. ISBN: 5-699-08512-2
6. Ермакова М. Е. Новые сведения о гравированных корабельных сигналах петровского времени // Румянцевские чтения: материалы Международной научной конференции (10–12 апреля 2007). М.: Пашков дом, 2007. С. 118–121.
7. Назаренко К. Б. Шведские корни русской морской артиллерийской экзерциции петровского времени // Вестник Санкт-Петербургского университета. История. 2023. Т. 68. № 4. С. 927–942. DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu02.2023.408>
8. Назаренко К. Б. Русская морская артиллерийская экзерциция петровского времени // Петербургский исторический журнал. 2023. № 4 (40). С. 309–319. DOI: https://doi.org/10.51255/2311-603X_2023_4_309
9. Назаренко К. Б. Русский морской костюм от Петра Великого до Елизаветы Петровны. М.: Фонд «История Отечества», Яуза, 2022. 319 с. ISBN: 978-5-87849-247-8
10. Кротов П. А. К вопросу об источниках Морского устава Петра I : (Неизвестные уставные флотские положения 1694 и 1699 г.) // Петербург и Россия. СПб.: Петровский фонд, 1997. С. 287–300.
11. Кротов П. А. Российский флот на Балтике при Петре Великом: дисс. докт. истор. наук: 07.00.02. СПб., 1999. 840 с.
12. Кротов П. А. Российский флот на Балтике при Петре Великом. СПб.: Историческая иллюстрация, 2017. 742 с.

REFERENCES

1. Kalanov N. *Legendy` i pravda o "tabachnom kapitane" — admirale Kalmy`kove* [Legends and the Truth about the "Tobacco Captain" — Admiral Kalmykov]. Moscow, Gorizont, 2021, 30 p. (In Russ.) ISBN: 978-5-906858-82-5
2. Mazur T. P. *Vice-admiral K. Kryujs v morskix kampaniyax 1712 i 1713 gg. i sud nad nim* [Vice-Admiral K. Kruys in the Naval Campaigns of 1712 and 1713 and his Trial]. *Sbornik materialov Shestoj ezhegodnoj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Sankt-Peterburg i strany` Severnoj Evropy`"* [Collection of Materials of the Sixth Annual International Scientific Conference "St. Petersburg and the Countries of Northern Europe"]. St. Petersburg, Russian Academy of Arts, 2005, pp. 10–22. (In Russ.)
3. Reiter J. Quicksilver Captain: The Improbable Life of Sir Home Popham. Warwick, Helion & Company, 2024, 356 p
4. Tunstall B. *Naval Warfare in the Age of Sail: The Evolution of Fighting Tactics, 1650–1815*. London, Conway Maritime Press, 1990. ISBN: 978-0851775449
5. Tanstoll B. *Morskaya vojna v vek parusa. 1650–1815. Srazheniya velikix admiralov* [Naval Warfare in the Age of Sail: The Evolution of Fighting Tactics, 1650–1815]. Moscow, Eksmo, 2005, 440 p. (In Russ.) ISBN: 5-699-08512-2
6. Ermakova M. E. *Novy`e svedeniya o gravirovanny`x korabel`ny`x signalax petrovskogo vremeni* [New Information on Engraved Ship Signals of the Peter the Great Era]. *Rumyantsevskie chteniya: materialy` Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (10–12 aprelya 2007)* [Rumyantsev Readings: International Materials of the Scientific Conference (April 10–12, 2007)]. Moscow, Pashkov dom Publ., 2007, pp. 118–121. (In Russ.)
7. Nazarenko K. B. *Shvedskie korni russkoj morskoy artillerijskoj e`kzercicii petrovskogo vremeni* [Swedish Roots of Russian Naval Artillery Exercises of the Peter the Great era]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Istoriya* [Bulletin of St. Petersburg University. History]. 2023, vol. 68, no. 4, pp. 927–942. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu02.2023.408>
8. Nazarenko K. B. *Russkaya morskaya artillerijskaya e`kzerciciya petrovskogo vremeni* [Russian Naval Artillery Exercise of Petrine Time]. *Peterburgskij istoricheskij zhurnal* [St. Petersburg Historical Journal]. 2023, no. 4(40), pp. 309–319. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.51255/2311-603X_2023_4_309
9. Nazarenko K. B. *Russkij morskoy kostyum ot Petra Velikogo do Elizavety` Petrovny`* [Russian Naval Costume from Peter the Great to Elizabeth Petrovna]. Moscow, Fond "Istoriya Otechestva", Yauza, 2022, 319 p. (In Russ.) ISBN: 978-5-87849-247-8
10. Krotov P. A. *K voprosu ob istochnikax Morskogo ustava Petra I : (Neizvestny`e ustavny`e flotskie polozheniya 1694 i 1699 g.)* [On the Issue of the Sources of the Naval Regulations of Peter I: (Unknown Statutory Naval Provisions of 1694 and 1699)]. *Peterburg i Rossiya* [Petersburg and Russia]. St. Petersburg, Petrovskij fond, 1997, pp. 287–300. (In Russ.)
11. Krotov P. A. *Rossijskij flot na Baltike pri Petre Velikom: diss. dokt. istor. nauk: 07.00.02* [Russian Fleet in the Baltic under Peter the Great: Diss. Doctoral in History: 07.00.02]. St. Petersburg, 1999, 840 p. (In Russ.)
12. Krotov P. A. *Rossijskij flot na Baltike pri Petre Velikom* [Russian Fleet in the Baltic under Peter the Great]. St. Petersburg, Istoricheskaya illyustraciya, 2017, 742 p.

ВКЛАД АВТОРОВ

Автор несёт полную ответственность за все этапы работы, включая дизайн исследования, сбор данных, анализ и написание текста.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Назаренко Кирилл Борисович, доктор исторических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет (199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9); e-mail: k.nazarenko@spbu.ru

AUTHORS' CONTRIBUTION

The author confirms sole responsibility for the study conception and design, data collection, analysis and interpretation of results, and manuscript preparation.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kirill Borisovich Nazarenko, Doctor of Historical Sciences, Professor, Saint-Petersburg State University (13B Universitetskaya Emb., St Petersburg, 199034, Russia); e-mail: k.nazarenko@spbu.ru

Поступила в редакцию 01.05.2026
Принята к публикации 10.06.2026

Received 01.05.2026
Accepted 10.06.2026

АРХЕОЛОГИЯ | ARCHAEOLOGY

Оригинальная статья | Original paper

DOI: <https://doi.org/10.26175/URC.2026.51.34.002>

УДК 902.034+94(100) "1939/1945"



Обнаружение и обследование затонувших судов Таллинского прорыва на дне Финского залива. Часть 1

М. С. Иванов ✉

Разведывательно-водолазная команда (РВК), г. Санкт-Петербург, Россия

✉ ivanov_m_1987@mail.ru

Аннотация

В статье из двух частей описывается ход и результаты поисковых работ, проводившихся с конца 1980-х годов и до наших дней подводными исследователями из разных стран в районе гибели судов и кораблей Таллинского прорыва (перехода). Таллинский прорыв, или, как он ещё называется в историографии, Таллинский переход, в основной массе своих событий происходил в период 28–30 августа 1941 года. В ходе прорыва из окружённого немецкими войсками Таллина в Кронштадт эвакуировался костяк корабельного состава Краснознамённого Балтийского флота (КБФ), а также на массе мобилизованных гражданских судов в основном прибалтийских пароходств эвакуировались сухопутные войска, оборонявшие город, и мирные жители Таллина, не желавшие оставаться в немецкой оккупации. Данная морская операция является крупнейшей по количеству человеческих жертв трагедией Русского флота, а по количеству затонувших судов и кораблей — это один из крупнейших комплексов объектов морской военной истории. В результате подводных исследований и архивных работ, описанных в статье, удалось впервые со значительной достоверностью реконструировать ход тех трагических событий и установить точные места и обстоятельства гибели более чем 20 судов с тысячами людей на них.

В первой части статьи будут рассмотрены поисково-исследовательские работы и обнаруженные объекты в иностранных водах, на территории Эстонии и Финляндии.

Ключевые слова

подводные экспедиции, история боевых действий, Балтийский флот, Великая Отечественная война, погибшие корабли

Для цитирования

Иванов М. С. Обнаружение и обследование затонувших судов Таллинского прорыва на дне Финского залива. Часть 1. *Гидрокосмос*. 2026;4(1):20–48. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.51.34.002>

Discovery and Exploration of the Tallinn Breakthrough Shipwrecks on the Floor of the Gulf of Finland. Part 1

Mixail S. Ivanov ✉

Underwater Exploration Team (UWEX), St. Petersburg, Russia

✉ ivanov_m_1987@mail.ru

Abstract

This two-part article describes the course and results of search operations conducted from the late 1980s to the present day by underwater researchers from various countries in the area where vessels and warships of the Tallinn Breakthrough (Soviet evacuation of Tallinn) were lost. The Tallinn Breakthrough, also referred to in historiography as the Tallinn Crossing, primarily took place between August 28 and 30, 1941. During the operation, the core forces of the Red Banner Baltic Fleet were evacuated from Tallinn, which was encircled by German troops, to Kronstadt. At the same time, ground forces defending the city and civilians unwilling to remain under German occupation were evacuated aboard numerous mobilized civilian vessels, mainly belonging to Baltic shipping companies.

This naval operation became the greatest tragedy in the history of the Russian Navy in terms of human casualties and one of the largest complexes of maritime military heritage sites in terms of the number of sunken vessels and warships. As a result of the underwater investigations and archival research described in the article, it became possible for the first time to reconstruct these tragic events with a high degree of reliability and to establish the precise locations and circumstances of the loss of more than 20 vessels carrying thousands of people.

Part 1 of the article examines the search and research operations and the discovered wreck sites located in foreign waters, specifically within the territories of Estonia and Finland.

Keywords

underwater expeditions, military history, Red Banner Baltic Fleet, Great Patriotic War, lost ships

For citation

Ivanov M. S. Discovery and Exploration of the Tallinn Breakthrough Shipwrecks on the Floor of the Gulf of Finland. Part 1. *Hydrocosmos*. 2026;4(1):20–48. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.51.34.002>

ВВЕДЕНИЕ

В год 85-летия начала Великой Отечественной войны хочется рассказать об истории изучения одной из крупнейших трагедий того тяжелейшего для СССР 1941 года. Таллинский прорыв Балтийского флота из окружённого войсками вермахта Таллина в Кронштадт и тогда ещё не окружённый Ленинград был одной из крупнейших операций советского ВМФ за всё время войны. Однако закончилась эта операция, начавшаяся 28 августа 1941 года, крупнейшими в истории русского флота людскими потерями — более 15 тысяч погибших. При этом было утрачено 62 выпела из 225 вышедших в море (см. рис. 1).

Данная статья не ставит перед собой задачи подробного описания хода Таллинского прорыва или исторических предпосылок этих событий. Наиболее полно всё это описано в монографии российского историка Радия Анатольевича Зубкова «Таллинский прорыв Краснознамённого Балтийского флота...» [1], которая легла

в основу планирования подводных экспедиций как Разведывательно-водолазной команды, так и иностранных исследователей. Особо надо отметить, что труд Р. А. Зубкова помимо детальной проработки этой темы в качестве приложения содержит уникальный материал для историков и исследователей: более 1300 копий архивных документов по Таллинскому прорыву, в том числе впервые введённые в научный оборот радиошифrogramмы между кораблями КБФ. Все эти материалы во многом стали основой выдающихся результатов подводных экспедиций 2021 года. Остаётся только искренне сожалеть, что скончавшийся в декабре 2020 года Радий Анатольевич не стал свидетелем большинства описанных в его работе находок и открытий.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОДВОДНЫЕ НАХОДКИ

Условно места гибели судов и кораблей Таллинского прорыва можно разделить на два района. Основной по количеству жертв — это район севернее мыса Юмinda.

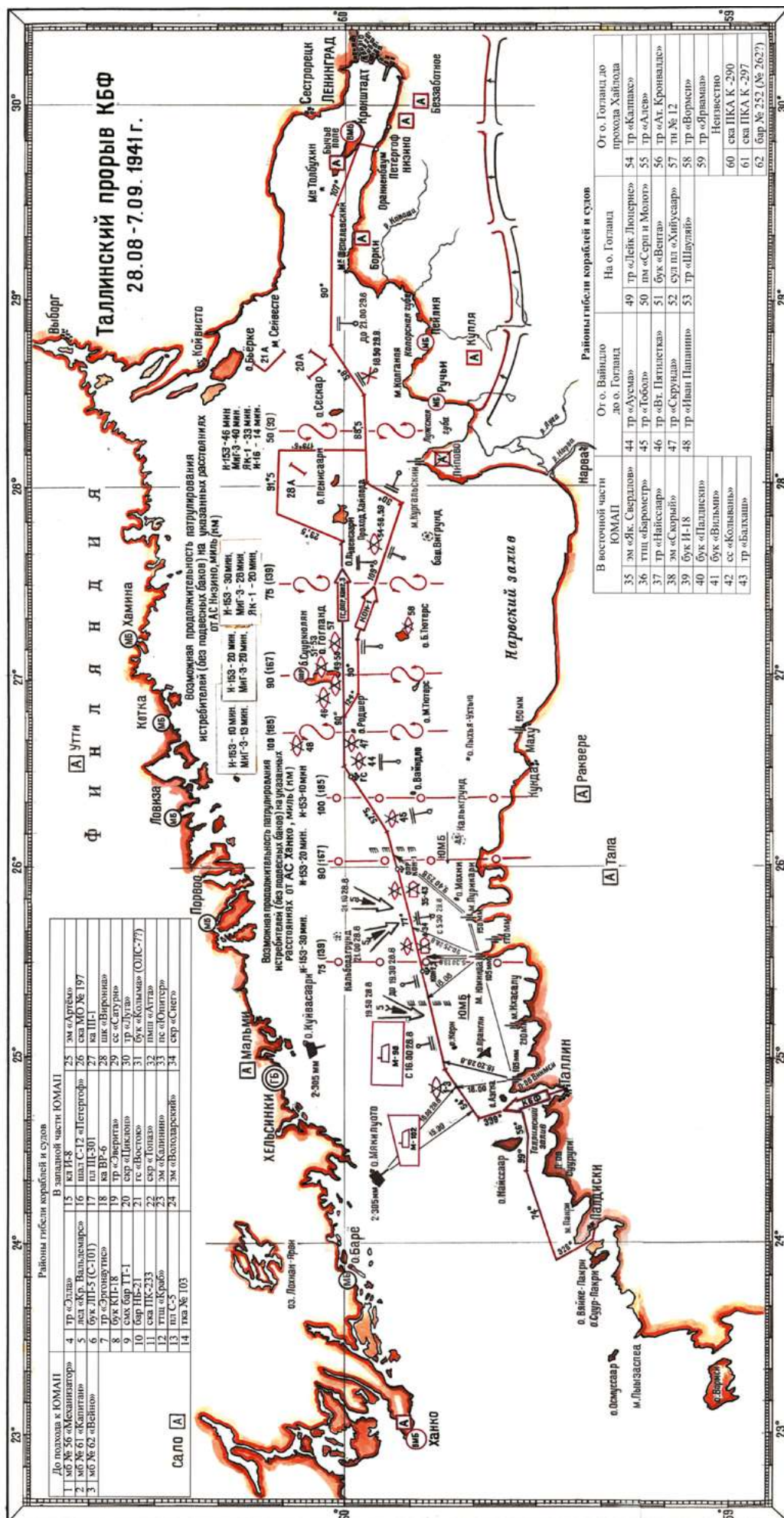


Рис. 1. Схема Таллинского прорыва из книги Зубкова Р. А. «Таллинский прорыв Краснознамённого Балтийского флота (август — сентябрь 1941 г.).

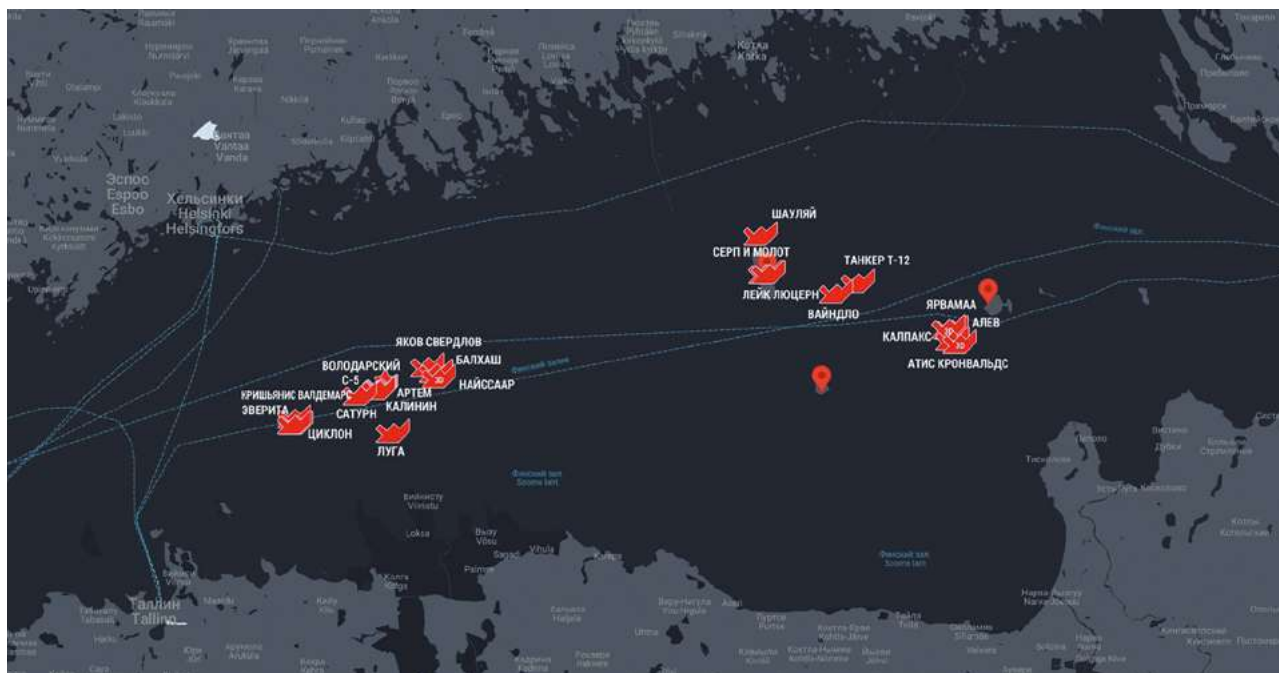


Рис. 2. Схема расположения обнаруженных объектов Таллинского прорыва (с сайта <https://poklonexpedition.com>)

Fig. 2. Diagram showing the locations of discovered Tallinn Breakthrough wrecks (from <https://poklonexpedition.com>)

Там находилось одноимённое германо-финское минное заграждение, которое суда Таллинского прорыва форсировали с вечера 28 августа и до утра 29 августа. Второй район — это район массовой гибели судов между островами Гогланд, Мощный и Большой Тютерс. Там днём 29 августа суда, миновавшие минные поля, подверглись ударам немецкой авиации. В наше время первый район находится в территориальных и эксклюзивных экономических водах Эстонии. Второй район от острова Родшер и восточнее является российскими территориальными водами. В рамках первой части статьи мы рассмотрим в основном район минного заграждения «Юминда» и обнаруженные там погибшие корабли Таллинского прорыва (см. рис. 2).

После Великой Отечественной войны каких-то целенаправленных поисков погибших судов и кораблей Таллинского прорыва не проводилось. Связано это было с тем, что почти все жертвы прорыва затонули на больших глубинах, кроме нескольких судов, которые выбросились или были дотащены буксирами к берегу острова Гогланд, и к их судьбе мы вернёмся позже. Основная масса погибших в тех событиях кораблей не представляла опасности для судоходства и иной хозяйственной деятельности из-за глубины залегания.

В начале 90-х впервые на морских картах начали указываться значки «затонувший корабль» в районе севернее мыса Юминда. Судя по всему, эти объекты были обнаружены при разведке маршрута оптоволоконного кабеля Россия — Дания, так как значки на карте обозначены вдоль линии этого кабеля.

Надо отметить, что грандиозность этой трагедии всегда привлекала историков и исследователей из разных стран вокруг Финского залива, однако естественные препятствия в виде большой удалённости поисковых районов от берега и значительных глубин (местами более 100 метров) долгое время не давали возможности организовать планомерные подводные исследования. И только в 21 веке развитие и доступность оборудования для гидроакустического обследования морского дна, а также развитие любительского технического дайвинга позволили наконец начать приоткрывать тайны погибших судов Таллинского прорыва. Значительным прогрессом в данном вопросе стали также действия властей Эстонии в 2004–2011 годах по ковровой гидрографической съёмке своих вод для выявления опасных объектов и более рационального использования своей акватории в хозяйственных целях. Несколько гидрографических экспедиций выявили более 50 затонувших объектов в районе бывшего минного заграждения «Юминда».

Не все они, конечно, могли относиться к событиям 28–29 августа 1941 года, так как на этом же минном заграждении погибли корабли, эвакуировавшие военно-морскую базу Ханко осенью 1941 года, и погибли многие суда от естественных причин в период до и после ВОВ.

К сожалению, в техническое задание эстонских гидрографических экспедиций не входило обследование и идентификация обнаруженных затонувших кораблей, а только их обнаружение и грубая классификация. Впервые разобраться с этими находками с исторической точки зрения попытался эстонский подводный археолог Велло Мясс из Морского музея Эстонии. Он на исследовательском судне *Maie* проводил дообследования обнаруженных объектов гидролокатором бокового обзора. Основными целями его поисковых работ были суда, значимые для истории Эстонии: например, грузопассажирское судно «Вирония» и подводная лодка «Калев». Ход этих работ и результаты описаны в двух монографиях Велло Мясса [2; 3]. Однако значительные глубины в районе минного поля «Юминда» (80–100 м) не давали эстонским исследователям при имеющихся у них в распоряжении технических средствах проводить водолазное обследование находок. Поэтому идентификация зачастую сильно разрушенных и фрагментированных подводных объектов делалась на основе субъективной оценки изображений с гидролокатора и на основе сопоставления координат и имевшихся на тот момент исторических данных о ходе Таллинского прорыва и местах гибели конкретных судов в ходе тех событий. Из данной статьи наглядно будет видно, как редко таким образом получалось достоверно идентифицировать найденные объекты.

Водолазное обследование найденных объектов стали проводить у «Юминды» только после 2010 года силами дайверов-любителей и энтузиастов-историков, в основном из России в лице Разведывательно-водолазной команды (РВК) и Финляндии в лице команд *Divers of the Dark* и *SubZone*. Пик этих исследований пришёлся на 2021 год, когда Разведывательно-водолазная команда совместно с *SubZone* и при поддержке Эстонского комитета по охране памятников проводили эстонский этап экспедиции «180 миль до Ленинграда» — поисково-мемориальных мероприятий, посвящённых 80-летию Таллинского прорыва. Ознакомиться с результатами этих работ можно на сайте проекта «Поклон кораблям

Великой Победы»¹, также они во многом стали основой для этой статьи. После 2021 года доступ российских исследователей в Эстонию стал невозможен, а финские и эстонские исследователи районом «Юминды» больше так активно не занимались. Поэтому в период с 2022 года по начало 2026 года в иностранных водах Финского залива было найдено лишь одно новое судно, которое участвовало в Таллинском прорыве.

Отдельно стоит отметить этический аспект подводных работ на кораблях, погибших в Таллинском прорыве. Почти все они являются местами массовой гибели людей, и в ходе подводных работ этот фактор всегда учитывался. Подводные исследователи работали с максимальной осторожностью, стараясь не прикасаться к подводным объектам, только фиксируя на камеру находки. Помимо подводной съёмки, по просьбе потомков участников прорыва со дна недалеко от борта погибших кораблей брался грунт, а в российских водах с некоторых обнаруженных судов были подняты судовые колокола для создаваемого в Кронштадте мемориала «Голоса погибших кораблей», посвящённого погибшим в море кораблям и их экипажам. В ходе работ в Эстонии на борту исследовательского судна всегда присутствовал представитель их комитета по охране памятников. Майли Ройо фиксировала все результаты работ и заносила их в соответствующие национальные реестры. О находках судов в российских водах по линии Русского географического общества сообщалось в профильные комитеты Министерства обороны России.

Всего на данный момент в водах Эстонии обнаружены и точно идентифицированы 12 затонувших участников Таллинского прорыва и ещё 2 судна обнаружены в финских водах. При этом в эстонских водах севернее мыса Юминда есть ещё более десяти обнаруженных объектов, которые не были обследованы дайверами и идентифицированы, но которые на основе полученных сонограмм с большой вероятностью являются объектами Таллинского прорыва. Поэтому есть надежда, что при изменении международной обстановки получится возобновить работы в том районе и завершить начатые исследования.

¹ Виртуальный музей «Поклон кораблям Великой Победы» [Эл. ресурс]. URL: <https://poklonexpedition.com> (посл. посещение: 12.04.2026).

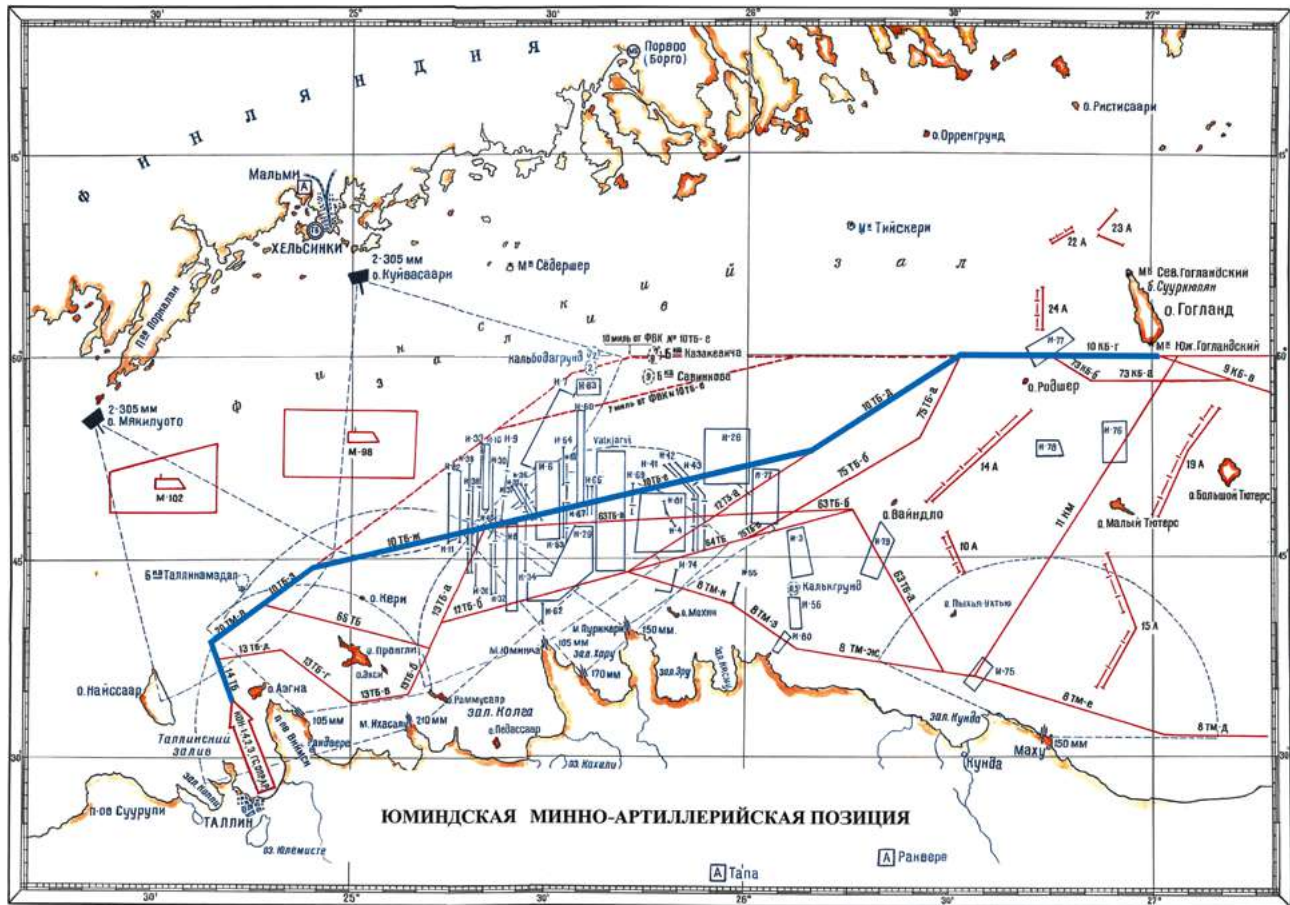


Рис. 3. Схема маршрута движения конвоев через минное заграждение «Юминда»

28–29 августа 1941 года из книги Зубкова Р. А. «Таллинский прорыв Краснознамённого Балтийского флота (август — сентябрь 1941 г.). События, оценки, уроки»

Fig. 3. Diagram of convoy routes through the Juminda minefield on August 28–29, 1941, adapted from R. A. Zubkov, *The Tallinn Breakthrough of the Red Banner Baltic Fleet (August — September 1941): Events, Assessments, Lessons*

Описание идентифицированных объектов будет идти с запада на восток, по ходу движения кораблей при прорыве. Это также во многом соответствует хронологии гибели тех или иных кораблей относительно друг друга (см. рис. 3).

Первый район массовой гибели кораблей расположен прямо на **западной границе минного заграждения «Юминда»**. Тут находились две минные линии — немецкая D.21 (И-38 по советской нумерации), состоявшая из мин ЕМС (до 300 кг вес заряда), стоявших с минным интервалом 123 м, и финская линия F.27 (И-82), состоявшая из русских мин образца 1912 года (100 кг вес заряда), стоявших с минным интервалом 122 м. Согласно плану постановки, эти вытянутые с севера на юг минные линии должны были располагаться последовательно с запада на восток с расстоянием около мили

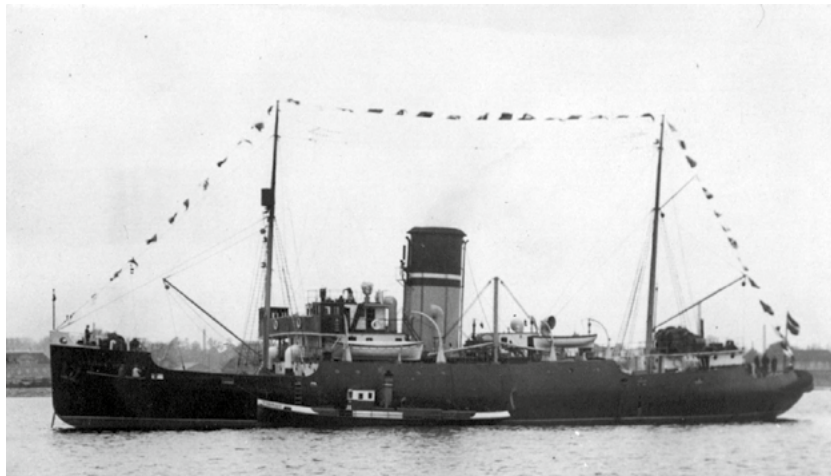
между ними. Однако в этом районе обнаружено гидроакустической аппаратурой (ГБО) до 10 затонувших объектов, лежащих практически ровно на одной вытянутой с севера на юг линии, что может говорить о том, что обе минные линии, выставленные с разницей в неделю, были поставлены практически в одном месте, придав этому району повышенную минную плотность. Из обнаруженных в этом районе объектов пока обследованы дайверами и точно идентифицированы около половины. Три из этих кораблей относятся к Таллинскому прорыву.

1. Ледокол «Кришьянис Валдемарс» (см. рис. 4).

Ледокол «Кришьянис Валдемарс» назван в честь видного латвийского общественного деятеля XIX века. Построен в 1925 году в Великобритании фирмой Beardmore в Глазго.

Рис. 4. Ледокол
«Кришьянис Валдемарс»
(Из открытых источников)

Fig. 4. Icebreaker
Krišjānis Valdemārs
(From open sources)



Являлся гордостью и флагманом латвийского гражданского флота. Использовался для проводки судов в замерзающем Рижском порту, а также для эскорта президента и членов правительства во время зарубежных визитов. После присоединения Латвии в 1940 году судно было национализировано СССР. Ледокол имел водоизмещение 2800 т и длину 60 метров.

В ходе Таллинского прорыва ледокол под командованием капитана Логинова С. М. входил в состав конвоя № 1, в котором находились штабные и вспомогательные суда КБФ и эвакуировались многие вспомогательные службы штаба флота, в том числе политотдел. Около 18 часов 28 августа транспорты конвоя № 1 стали подходить к западной границе минного заграждения «Юминда», где была повышенная плотность минных постановок. По трагическому стечению обстоятельств именно в этот момент был совершён первый удар вражеской авиации по идущим в море судам. Шедшие до этого за тральщиками в плотной колонне транспорты стали маневрировать, уклоняясь от бомб, но при этом выходя за пределы протраленного фарватера. Первым подрывался на mine санитарный транспорт «Элла». На помощь этой самой первой жертве предстоящей трагедии поспешил ледокол «Кришьянис Валдемарс», и тут же подрывался на mine сам. Огромный ледокол очень быстро затонул, вертикально уйдя под воду носом вперёд. Погибла большая часть экипажа и пассажиров ледокола, в числе которых было много литераторов, служивших в политотделе КБФ и писавших для фронтовых газет. Среди погибших был видный поэт и военный журналист Юрий Инге. Всего, по данным Р. А. Зубкова [1, с. 354, 358], погибло 87 пассажиров и 50 членов экипажа ледокола.

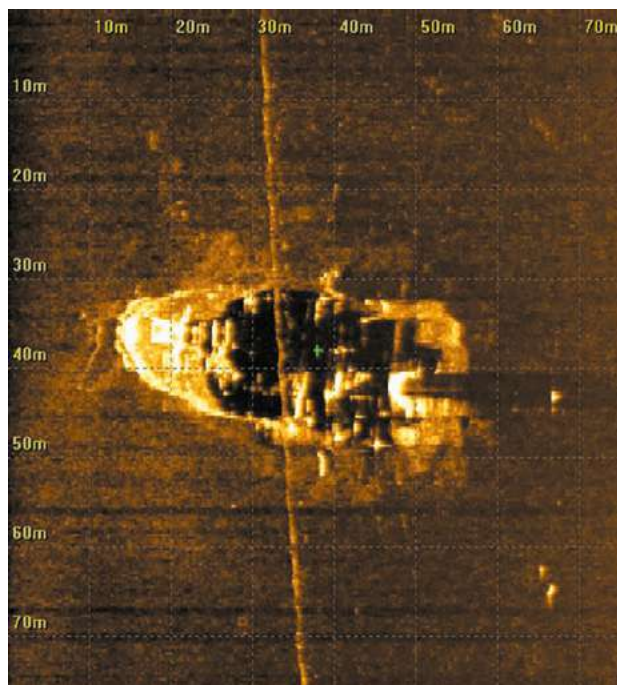


Рис. 5. Сонограмма «Кришьянис Валдемарс»
(SubZone)

Fig. 5. Sonogram of Krišjānis Valdemārs (SubZone)

Ледокол «Кришьянис Валдемарс» лежит на глубине около 90 метров (см. рис. 5), глубоко зарывшись носом в ил. Осмотру доступна типичная ледокольная корма судна, имеющая характерные для «Кришьяниса Валдемарса» конструктивные особенности: буксирный упор «ласточкин хвост» и массивную буксирную лебёдку на кормовой надстройке (см. рис. 6). В 2011 году эстонскому подводному археологу Велло Мяссу удалось идентифицировать найденный ещё в 2008 году остов затонувшего ледокола «Кришьянис Валдемарс» при помощи съёмки с ТНПА [3, с. 26–31]. 7 июля 2021 года Разведывательно-водолазная

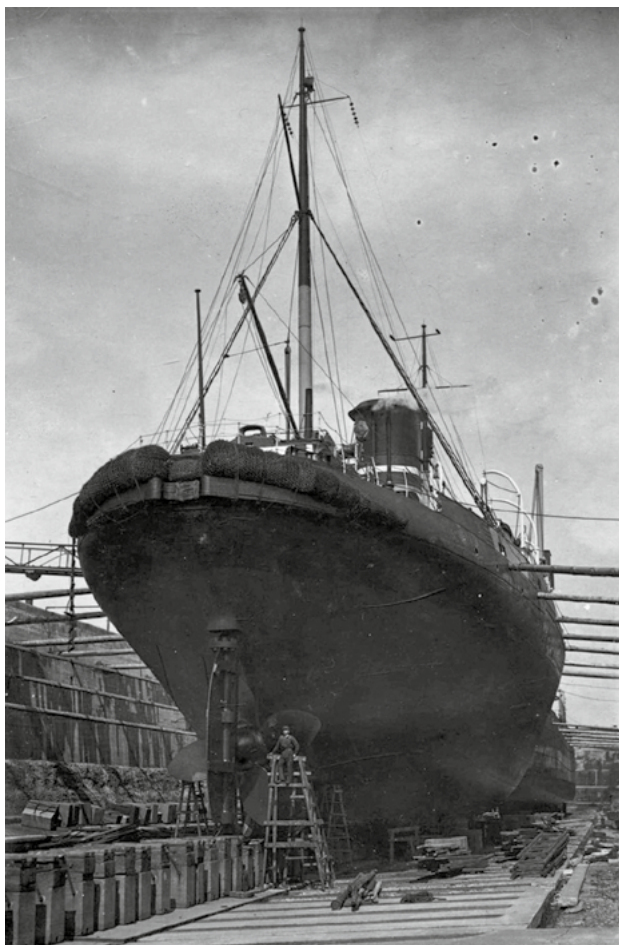


Рис. 6. Характерные обводы ледокола «Кришьянис Валдемарс» (Из открытых источников)

Fig. 6. Distinctive hull lines of icebreaker Krišjānis Valdemārs (From open sources)

команда совместно с латвийскими дайверами обследовала корпус и произвела осмотр и видеосъемку всех характерных конструктивных деталей ледокола, подтвердив его идентификацию. По просьбе общества потомков «Память Таллинского прорыва» при погружении был взят грунт с места гибели ледокола, который был передан родственникам погибших.

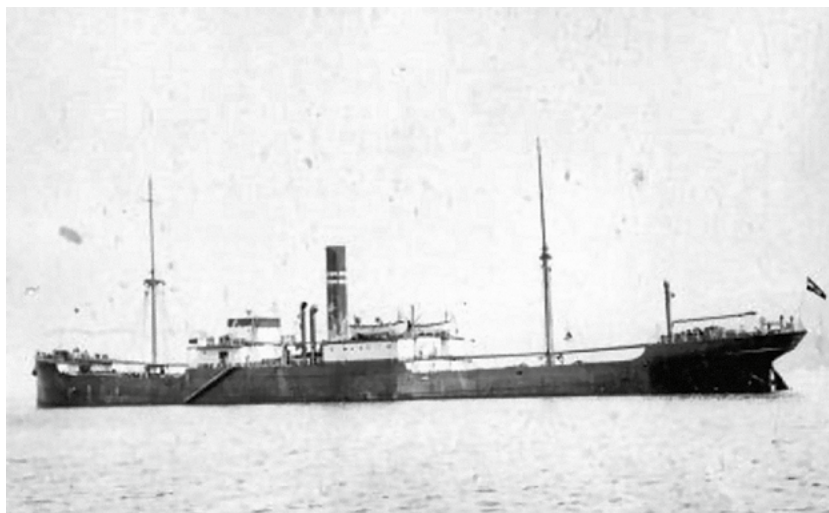
2. Транспортное судно ВТ-545 «Эверита» (см. рис. 7).

Латвийский пароход английской постройки 1917 года, носивший первоначально название *Ithelaris*. С 1932 года пароход был в составе латвийского гражданского флота. Судно имело грузоподъемность 3251 брт и длину по Ллойд 102,1 метра.

Входивший в конвой № 3 транспорт «Эверита», капитаном которого был Янис Шпоре, должен был эвакуировать гарнизон острова Найссаар. Загрузка судна в маленькой

гавани острова затянулась и была закончена только утром 28 августа. Точное число людей, погруженных на борт, неизвестно, но, вероятно, плановая загрузка на 1550 человек была превышена. Из-за сильного прижимного ветра «Эверита» не могла выйти из гавани острова без помощи буксира. Поэтому загруженное судно смогло начать переход только во второй половине дня, когда остальные суда с Таллинского рейда в составе конвоев уже ушли на восток. Следовавшая в одиночку «Эверита» смогла догнать основную массу транспортов только поздно вечером, уже на западной границе минного заграждения. Наступившая к тому моменту темнота не позволила оставшемуся транспорту точно попасть в брешь ранее протраченного фарватера, и, уклонившись к югу от оси фарватера примерно на милю, около 22 часов 28 августа «Эверита» подорвалась носом на mine. Судно переломилось в районе носовых трюмов и затонуло почти мгновенно. Более полутора тысяч человек оказались совершенно одни в ночном море,

Рис. 7. Транспорт «Эверита»
(Из открытых источников)
Fig. 7. Transport vessel Everita
(From open sources)



при этом все остальные конвои уже ушли дальше на восток, и оказать помощь людям с погибшего транспорта было некому. На помощь попытался прийти сторожевой корабль «Циклон», который в ходе выполнения задач, порученных арьергарду, задержался с уходом на восток и оказался неподалёку в момент гибели «Эвериты». Сторожевой корабль вошёл в гущу обломков погибшего транспорта и начал подбирать плавающих людей. Однако через несколько минут нахождения в плотном минном заграждении сторожевик сам наткнулся на мину и, переломившись пополам, затонул практически со всем экипажем. Лишь несколько человек из участников этой трагедии будут спасены к утру случайными катерами.

Корпус «Эвериты» лежит на глубине 106 метров, виден перелом судна в районе первого носового трюма, корма высоко задрана над грунтом (см. рис. 8). Судно было обнаружено Велло Мяссом в 2008 году и предварительно идентифицировано им как штабное судно «Вирония» [3, с. 68–73], однако провести полноценный осмотр объекта он не смог из-за большой глубины и большого количества рыбацких сетей, которыми покрыто почти все судно. При этом его предположение, что найденное судно является «Виронией», крупнейшим и одним из самых значимых судов Эстонии, было закреплено и активно культивировалось в научно-популярной литературе. РВК в 2021 году в ходе проекта «180 миль до Ленинграда» смогла погрузиться и провести видеосъёмку кормовой части судна с целью его идентификации. Из-за большой глубины залегания и сероводородного слоя на дне судно почти не корродировало.

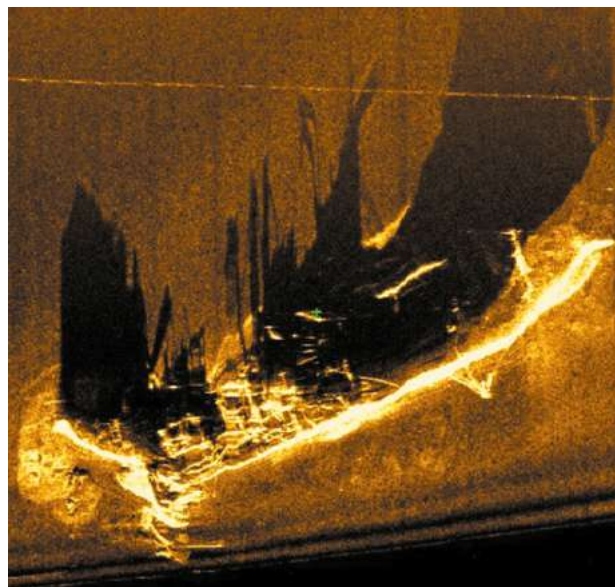


Рис. 8. Сонограмма транспорта «Эверита»
(SubZone)
Fig. 8. Sonogram of transport vessel Everita
(SubZone)

Хорошо были видны останки эвакуируемых красноармейцев, их стрелковое вооружение, установленные на корме зенитные пулемёты Максима.

Идентификация парохода была сделана после сравнения характерных особенностей архитектуры судна, деталей рангоута и рулевого управления, которые заметны на довоенных фотографиях «Эвериты», предоставленных латвийским морским музеем. По данным Р.А. Зубкова [1, с. 358], «Эверита» — это четвёртая по количеству человеческих потерь жертва Таллинского прорыва. По меньшей мере 1550 человек погибло вместе с этим судном.

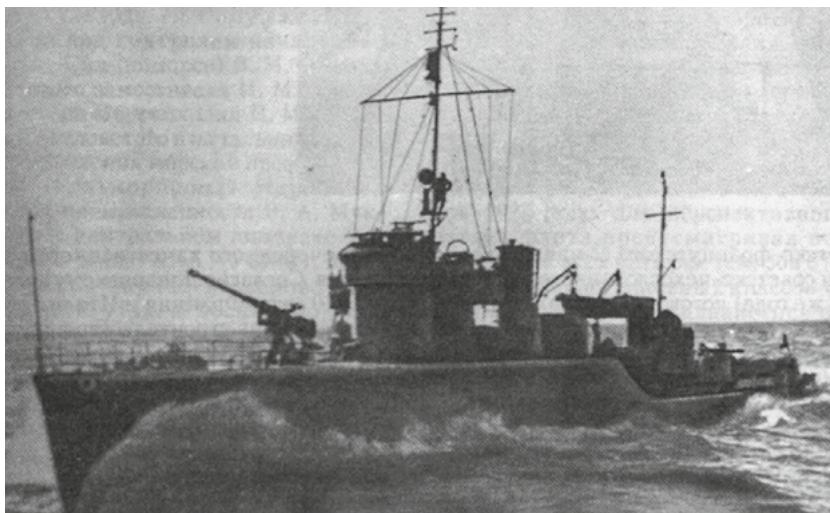


Рис. 9. Предположительно, СКР «Циклон» (Из открытых источников)

Fig. 9. Presumably the patrol ship Tsiklon (From open sources)

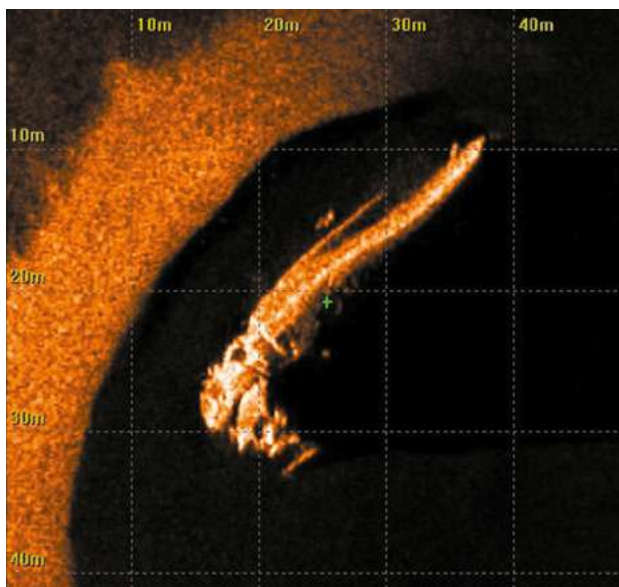


Рис. 10. Сонограмма носа СКР «Циклон» (SubZone)

Fig. 10. Sonogram of the bow section of patrol ship Tsiklon (SubZone)

3. Сторожевой корабль «Циклон» (см. рис. 9).

Сторожевой корабль был построен в Ленинграде на заводе № 190 (им. Жданова, бывшая Северная верфь), вступил в строй в 1932 году. Был одним из первых крупных военных кораблей, спроектированных и построенных в Советском Союзе, и относился к сторожевым кораблям проекта 2 «Ураган». Имел водоизмещение 670 т и длину 71,5 метра, нёс основное вооружение в виде двух 102-миллиметровых орудий и одного трёхтрубного торпедного аппарата 450 мм.

В ходе Таллинского прорыва «Циклон» вместе с ещё двумя другими однотипными сторожевиками входил в состав арьергарда. Их задача была после отхода последнего конвоя судов заминировать подходы к порту и, взяв на борт последних защитников города, следовать позади караванов судов в Кронштадт в охранении главных сил арьергарда, состоявших из трёх эсминцев типа «Новик».

Примерно в 22 часа 28 августа догонявший транспортные конвои арьергард стал свидетелем гибели на mine транспорта «Эверита». «Циклон» под командованием старшего лейтенанта Росиева М. А. бросился на помощь гибнущему в темноте судну. Он вошёл в гущу обломков и стал принимать на борт людей, находящихся в воде. Однако вскоре и сам «Циклон» в темноте сдрейфовал на мину, взрыв которой разорвал сторожевик пополам. Экипаж «Циклона» погиб почти в полном составе. Точных данных о количестве погибших на борту нет, однако известно, что был спасён тяжело раненный и контуженный командир корабля.

Обломки разорванного пополам «Циклона» были обнаружены аппаратурой ГБО в ходе совместных поисковых работ финской команды SubZone и РВК в 2019 году. Обнаруженные обломки судна лежали всего в паре сотен метров от остова «Эвериты» на глубине 97 метров и поначалу были приняты за разорванную пополам подводную лодку М-98, пропавшую без вести западнее «Юминды» в ноябре 1941 года. В 2021 году дайверы РВК в ходе экспедиции «180 миль до Ленинграда» осмотрели самый крупный и чёткий из обнаруженных обломков, который в результате оказался носом «Циклона» (см. рис. 10).

Он лежит кверху килем, вдавленный в грунт. Видны характерные для этого проекта кораблей форштевень, якоря, иллюминаторы полубака и край носовой палубы. Нос «Циклона» оторван примерно до уровня дымовой трубы. Место взрыва мины представляет собой нагромождение исковерканного железа. Точная идентификация сделана на основе архивных документов, из которых следует, что из двух кораблей этого типа в ходе прорыва только «Циклон» погиб до полуночи 28 августа.

Изучение результатов исследовательских работ на западной кромке «Юминды» наглядно показывает, насколько незаменимо в изучении подводных находок проведение визуального осмотра водолазами или очень качественными ТНПА. Ведь без проведения водолазного осмотра только ледокол «Кристьянис Валдемарс» удалось правильно идентифицировать на основе соответствия места обнаружения историческим координатам и по характерному для этого класса судов строению, которое можно было различить на сонограммах. А в случае с довольно типовым по своему строению судном «Эверита», а тем более с разорванным на части и лежащим оверкиль «Циклоном», о гибели которых к тому же не осталось практически никаких документальных свидетельств, только погружение к объектам и их детальная видеосъемка позволили их идентифицировать и точно понять, где и при каких обстоятельствах ночью 28 августа 1941 года погибли эти корабли и с ними более полутора тысяч человек.

Следующим рассмотрим **центральную часть минного заграждения «Юминда»**. Фарватер через минное заграждение от западного до восточного края имел длину около 17 миль. В этом районе к моменту начала прорыва уже было выставлено более 1700 мин, однако по своей минной плотности этот район был очень неоднородным, так как в течение лета через выставленные немцами и финнами минные линии было проведено за тральщиками множество конвоев, поэтому минное заграждение уже имело множество прореженных брешей. Сначала немцы и финны усиливали минное заграждение, просто наращивая его новыми минными линиями с запада и востока, но во второй половине августа немцы стали делать в центре «Юминды» минные «заплатки» из 20–30 мин ЕМС, которые выставлялись катерами-тральщиками типа «Раумбот». Эти катера из-за своей малой осадки могли относительно безопасно двигаться по уже выставленным минным линиям и ставить свои мины в местах, которые немцы считали необходимым

усилить. Поэтому к 28 августа 1941 года центральная часть «Юминды» представляла собой «лоскутное одеяло» из больших протраленных коридоров, остатков минных линий, выставленных в начале лета, и множества свежевывставленных коротких минных линий. В этом районе по историческим данным погибло наибольшее количество кораблей, однако из-за большой площади района и полной неразберихи, которая происходила в море ночью 29 августа, удалось найти и идентифицировать всего шесть погибших участников Таллинского прорыва.

1. Спасательное судно «Сатурн» (см. рис. 11, 12).

Одно из двух спасательных судов, специально построенных перед войной для нужд аварийно-спасательных служб КБФ.



Рис. 11. Нос спасательного судна «Сатурн» (Из открытых источников)

Fig. 11. Bow of rescue vessel Saturn (From open sources)



Рис. 12. Корма спасательного судна «Нептун» или «Сатурн» (Из открытых источников)

Fig. 12. Bow of rescue vessel Saturn Stern of rescue vessel Neptun or Saturn (From open sources)

Построено в 1940 году в Ленинграде на заводе № 194 (им. Марти, бывшие Адмиралтейские верфи) и при водоизмещении 1679 т имело длину 68,7 метра. На момент гибели было вооружено 45-миллиметровыми орудиями. Командовал спасательным судном Субботин Е. С. «Сатурн» шёл головным судном конвоя № 4.

Около 20 часов 30 минут 28 августа «Сатурн» подрывался на финской минной линии F.18 (И-6), состоявшей в основном из английских мин S/E (вес заряда 150 кг) и русских мин образца 1912 года (вес заряда 100 кг), выставленных с интервалом всего 60 метров. В момент подрыва на mine спасательное судно оказывало помощь бездвиженному штабному кораблю «Вирония», буксируя его через минное заграждение. «Сатурн» при этом сам имел на борту 800 пассажиров, эвакуируемых из Таллина. Малый вес заряда мин на этой линии не нанёс судну фатальных повреждений, и, отдав буксирный конец, повреждённый «Сатурн» сам стал ждать помощи. Однако между полночью и 3 часами спасательное судно затонуло, вероятно снова подрывавшись на mine. Согласно данным Р. А. Зубкова, погибли 485 пассажиров и 3 моряка из состава команды [1, с. 354, 358].

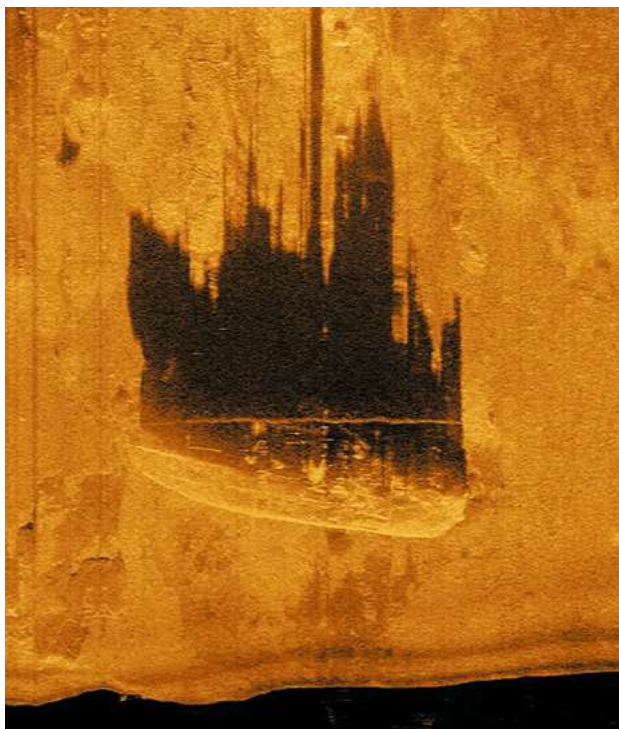


Рис. 13. Сонограмма СС «Сатурн» (SubZone)
Fig. 13. Sonogram of rescue vessel Saturn (SubZone)

Обнаруженное эстонскими гидрографами в 2008 году судно было обследовано и идентифицировано в 2018 году финскими дайверами из команды SubZone (см. рис. 13). «Сатурн» лежит на глубине 65 м на каменистой банке и полностью доступен для осмотра. Подрыв на mine произошёл со стороны носа. Судя по видимой деформации корпуса, судно стремительно погружалось и ударилось носом о грунт. «Сатурн» идентифицирован по его уникальным конструктивным особенностям, таким как носовой крамбол с лебёдкой, кормовой якорь, водяные пушки для тушения пожаров и так далее (см. рис. 14, 15). «Сатурн» был специализированным судном, которое отличалось от всех остальных погибших судов Таллинского прорыва, и его идентификация по характерным элементам конструкции однозначно точная.

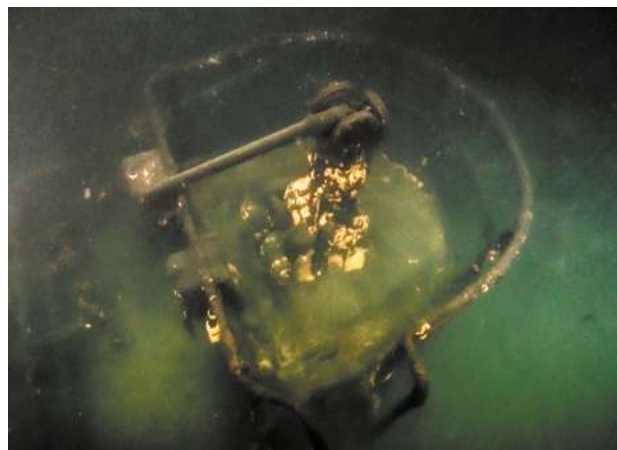
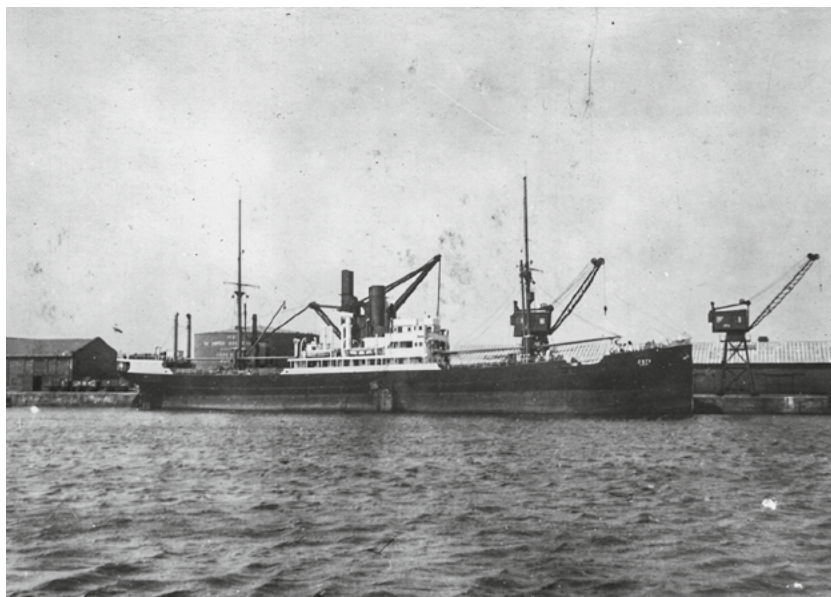


Рис. 14. Подводное фото СС «Сатурн». Водяная пушка (SubZone)
Fig. 14. Underwater photograph of rescue vessel Saturn. Fire monitor (SubZone)



Рис. 15. Подводное фото СС «Сатурн». 45-мм орудие 21-K (SubZone)
Fig. 15. Underwater photograph of rescue vessel Saturn. 45 mm 21-K gun (SubZone)

Рис. 16. Транспорт «Луга»
(Из открытых источников)
Fig. 16. Transport vessel Luga
(From open sources)



2. Санитарный транспорт ВТ-518 «Луга» (см. рис. 16).

Транспорт «Луга» был грузопассажирским рефрижераторным теплоходом, построенным в Германии в 1922 году и получившим название Irmgard. В 1932 году судно было приобретено СССР и вошло в состав Балтийского пароходства Совторгфлота под названием «Луга». Грузовместимость теплохода была 2391 брт, а длина по Ллойд — 90,3 метра.

В ходе Таллинского прорыва «Луга» входила в состав конвоя № 3 и, по имеющимся данным, имела на борту по меньшей мере 1430 пассажиров, из которых более 1200 раненых. Находясь уже в центре «Юминды», судно подорвалось около 22 часов 30 минут 28 августа на малоомощной английской или русской мине финской минной линии F.18 (И-6). Небольшой заряд мины, подорвавшейся прямо под носом судна, не смог нанести крупному современному теплоходу фатальных повреждений, но при этом на переполненном людьми судне погибло 20 пассажиров и 1 матрос из экипажа [1, с. 354, 358]. Несмотря на сложные условия, с тяжело повреждённого судна быстро удалось организовать эвакуацию, и пассажиры перешли на транспорт «Скрунда», который присоединился к эвакуации в Таллине в последний момент и следовал в составе конвоя без пассажиров. Однако буксировка судна не была начата, так как капитан судна Миронов В. М. доложил о безнадежном состоянии повреждённой «Луги». Несмотря на такую оценку, после рассвета 29 августа было обнаружено, что «Луга»

не затонула ночью, а, подгоняемая северным ветром, быстро дрейфует к занятому немцами мысу Юминда. Не имея возможности организовать буксировку судна и чтобы оно не досталось противнику, было принято решение его затопить. Для этого в 6 утра к правому борту теплохода подошёл катер МО-502 и в районе ватерлинии подвесил 3 подрывных заряда и глубинную бомбу. После взрыва судно накренилось на правый борт и наконец стало медленно тонуть, однако момента гибели «Луги» никто не наблюдал.

Впервые «Луга» была обнаружена эстонскими гидрографами в 2009 году и отснята аппаратурой ГБО. Однако тогда она была ошибочно идентифицирована Велло Мяссом как транспорт «Леени», погибший в августе 1941 года, ещё до Таллинского прорыва. И только в июне 2021 года после обследования судна финскими дайверами из команды SubZone «Лугу» удалось точно идентифицировать. Судно лежит на дне сильно южнее фарватера форсирования «Юминды» 28 августа, но как раз там, куда и должно было сдрейфовать повреждённое судно к утру 29 августа. «Луга» лежит на глубине 83 метра, с сильным креном на правый борт. Осмотру хорошо доступны надстройка и полуют транспорта. Идентификация судна проведена по сравнению элементов конструкции и исторических фотографий «Луги», которые не оставляют никаких сомнений в идентификации. За ночь и утро повреждённое судно успело сдрейфовать почти на 4 мили к югу от фарватера и находилось всего в 4 милях от эстонского берега.

3. Подводная лодка С-5 (см. рис. 17).

Подводная лодка типа «С» IX-бис серии была построена в Ленинграде на заводе № 189 (Балтийский завод) и вошла в состав флота в 1939 году. По типу она считалась одной из лучших советских подводных лодок на начало войны. С-5 имела 844 т надводного и 1077 т подводного водоизмещения и длину 77,7 метра. Лодка была вооружена по одному орудью калибра 100 мм и 45 мм и имела на борту 6 торпедных аппаратов и 12 торпед калибра 533 мм. Командовал лодкой капитан-лейтенант Бащенко А. А.

В ходе Таллинского прорыва лодка шла в составе отряда главных сил флота в кильватере флагмана — крейсера «Киров». Помимо экипажа, лодка имела на борту большое количество пассажиров, в основном офицеров-подводников из штаба 1-й бригады подводных лодок КБФ, в том числе командира и комиссара бригады. Около 20 часов 28 августа лодка подорвалась на плавучей мине ЕМС немецкой минной линии D.29 (И-66), которая была выставлена немецкими катерами «Раумботами» накануне прорыва. Мина была, вероятно, подсечена базовыми тральщиками, шедшими впереди главных сил флота. Крейсер «Киров» смог уклониться от этой мины, но едва виднеющуюся на поверхности мину на лодке заметили лишь в 50 метрах от носа, и, несмотря на резкий поворот направо, столкновения не удалось избежать. Огромной силы взрыв переломил лодку пополам, и через 40 секунд она скрылась под водой с дифферентом на нос. К месту гибели тут же подошли катера, но спасти смогли только 10 человек из числа тех, кто был в момент взрыва на верхней палубе и был сброшен за борт взрывной волной. Среди спасённых, однако, были командир и комиссар С-5 и командир и комиссар 1-й бригады ПЛ КБФ. Точное количество погибших на С-5 неизвестно. По последним подсчётам, с лодкой погибло 34 члена её экипажа и не менее 7 штабных офицеров-подводников².

С-5 была обнаружена и обследована русско-финской экспедицией в 2012 году в рамках проекта «Поклон кораблям Великой Победы». Лодка лежит на глубине 82 метра, примерно в исторических координатах гибели.

² С-5. Подводная лодка IX-бис серии. Великая Отечественная война под водой. [Эл. ресурс]. URL: <http://www.sovboat.ru/ship/s5.php3> (посл. посещение: 12.04.2026).

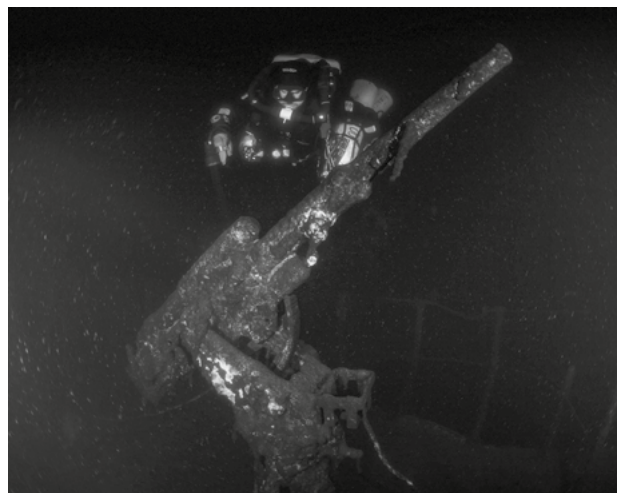


Рис. 17. Подводное фото ПЛ С-5. 45-мм орудие 21-К (Сами Пааккаринен)
Fig. 17. Underwater photograph of submarine S-5. 45 mm 21-K gun (Sami Paakkariinen)



Рис. 18. Подводное фото ПЛ С-5. Литеры на рубке (Сами Пааккаринен)
Fig. 18. Underwater photograph of submarine S-5. Hull markings on the conning tower (Sami Paakkariinen)

Подрыв на мине ЕМС переломил лодку пополам перед рубкой. Кормовая часть лодки и рубка полностью целы. На бортах рубки были обнаружены латунные литеры «С-5», по которым лодка однозначно идентифицирована (см. рис. 18). От носовой части лодки видна только оторванная носовая оконечность, лежащая перед корпусом лодки и задранная вверх. Носовое 100-миллиметровое орудие и палуба вокруг него разорваны и лежат обломками, частично погрузившись в грунт (см. рис. 19).

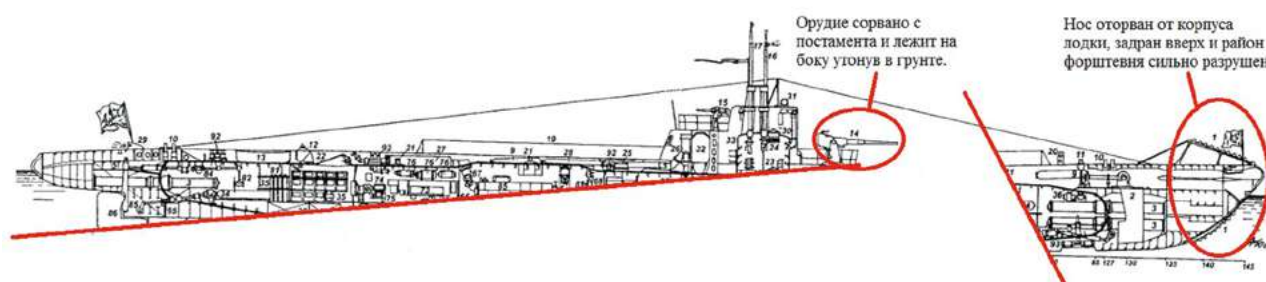


Рис. 19. Схема повреждения корпуса подводной лодки С-5

Fig. 19. Diagram of hull damage to submarine S-5

Отдельного описания стоит главная трагедия, произошедшая в центральной части «Юминды» — гибель в полном составе основных сил арьергарда.

4. Эсминцы «Калинин», «Артём» и «Володарский».

Эсминцы «Артём» (см. рис. 20) под командованием капитан-лейтенанта (по другим данным — старшего лейтенанта) Сея А. Б. и «Володарский» (см. рис. 21) под командованием капитана 2 ранга Фалина Н. В. относились к «Новикам» типа «Орфей» и при длине 98 метров имели полное водоизмещение 1700 т. Основным вооружением этих эсминцев были четыре 102-миллиметровых орудия и три трёхтрубных торпедных аппарата калибра 450 мм. Флагман арьергарда «Калинин» (см. рис. 22) под командованием капитана 3 ранга Стасова П. Б. относился к увеличенным «Новикам» типа «Изяслав» и при длине 107 метров имел полное водоизмещение 2200 т. После модернизации к началу ВОВ был вооружён пятью 102-миллиметровыми орудиями и двумя трёхтрубными торпедными аппаратами калибра 450 мм. На борту «Артёма» находился штаб 3-го дивизиона эсминцев КБФ вместе с командиром, капитаном 3 ранга Сидоровым Л. Н., который сам в прошлом был командиром «Артёма». На борту «Калинина» находился со штабом командир сил арьергарда, контр-адмирал Ралль Ю. Ф. Помимо моряков, на борту трёх эсминцев было около 600 человек эвакуируемых.

28 августа задач у арьергарда было много. После ухода на восток кораблей и судов с рейда Таллина сторожевые корабли из состава арьергарда должны были заминировать все входы в Таллинский порт, а эсминцы должны были артиллерийским огнём прикрывать их и сдерживать немецкие войска,

которые уже вышли к берегу моря и стали обстреливать прямой наводкой уходящие в море суда. Катера арьергарда подбирали на борт последних защитников города, ушедших в море на подручных средствах и лодках. Выполнив все поставленные задачи в районе Таллина, после 17 часов 30 минут эсминцы и сторожевики пошли на восток вслед за ушедшими ранее конвоями, прикрывая их от возможного преследования противника.

Однако, так как порядок движения транспортных конвоев на «Юминде» был нарушен большим количеством мин, тормозивших работу тральщиков, после 23 часов 28 августа транспортные суда, сгрудившиеся в центре минного заграждения, стали вставать на якоря, вынудив корабли арьергарда обходить их, покидая при этом протраленную полосу. Эти вынужденные манёвры привели к тому, что в течение часа после 23 часов один за другим на минах подорвались все три «Новика». Вначале подорвался на mine, вероятно зацепленной параваном, флагман арьергарда «Калинин», но несмотря на полученные повреждения, остался на плаву. Два других эсминца встали на якоря, чтобы самим не подорваться на минах в темноте, но вскоре, когда стало понятно, что «Калинин» скоро затонет, «Володарскому» было приказано подойти к флагману и принять с него людей. Но только тронувшись с места, «Володарский» подорвался на mine и, переломившись на две части, быстро затонул. На помощь «Володарскому» бросился «Артём», но тоже почти сразу подорвался на mine и также, переломившись пополам, стремительно затонул. Последним, продержавшись на плаву около часа, утонул и повреждённый «Калинин». В условиях ночи и переполненности катеров уже спасёнными с других кораблей людьми катера МО и тральщики смогли спасти только несколько десятков человек с трёх затонувших кораблей.



Рис. 20. Эсминец «Артём»
(Из открытых источников)
Fig. 20. Destroyer Artem
(From open sources)

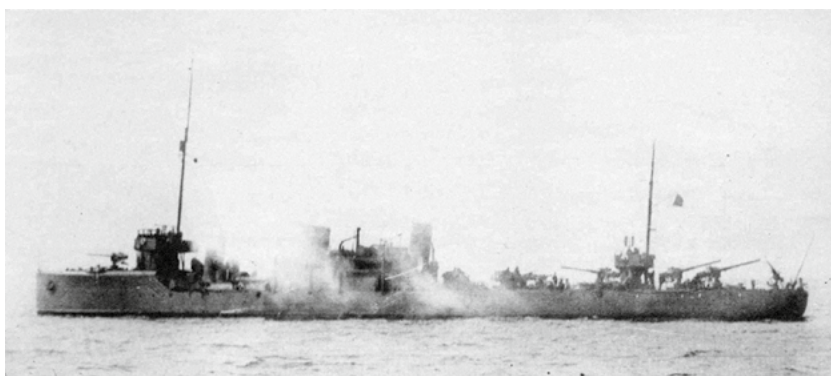


Рис. 21. Эсминец
«Володарский» (Из открытых
источников)
Fig. 21. Destroyer Volodarsky

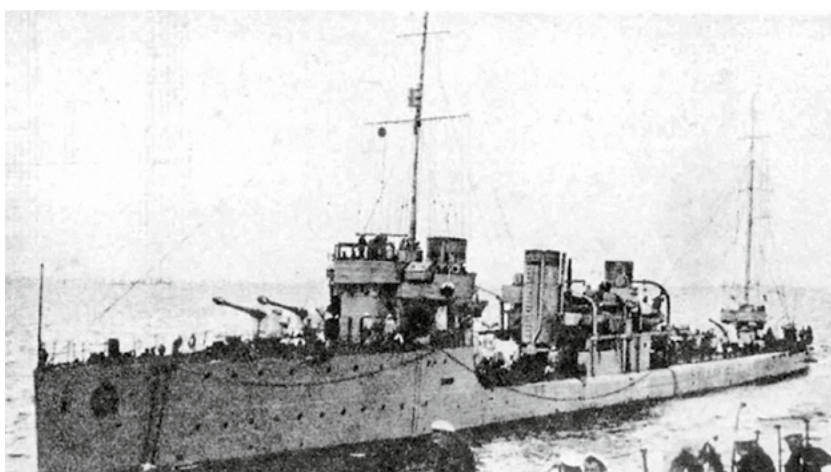


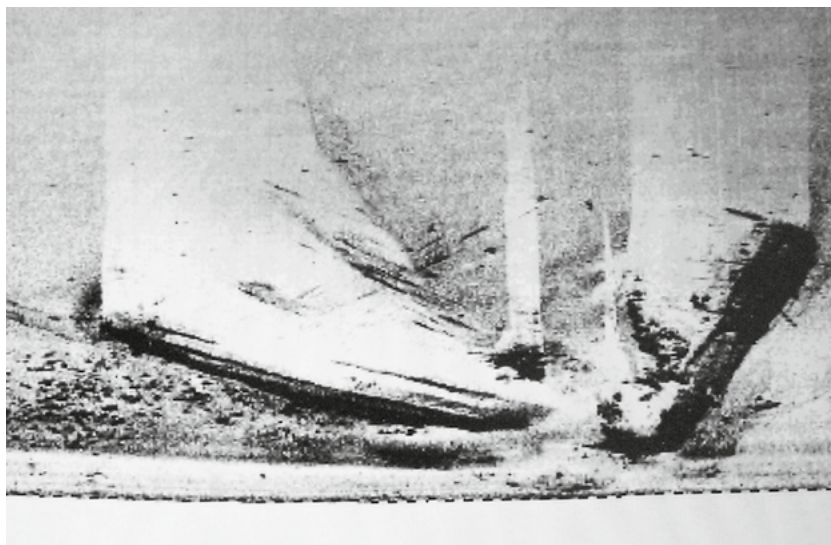
Рис. 22. Эсминец «Калинин»
(Из открытых источников)
Fig. 22. Destroyer Kalinin
(From open sources)

Количество погибших не поддаётся точному подсчёту из-за сложности учёта погруженных в последний момент эвакуации пассажиров и учёта спасённых, бывших из разных структур и родов войск. Экипажи и пассажиры «Артёма» и «Володарского» погибли почти в полном составе. На «Володарском», например, погибло все командование корабля,

а на «Артёме» — весь штаб 3-го дивизиона эсминцев. Больше всего спасённых было с «Калинина», с которого сняли более 50 человек, включая раненого контр-адмирала Ралля и членов его штаба. Опираясь на документы, в данном эпизоде можно считать погибшими около 400 моряков и до 500 пассажиров [1, с. 354, 358].

Рис. 23. Сонограмма
ЭМ «Артём» (Велло Мясс)

Fig. 23. Sonogram of destroyer
Artem (Vello Mäss)



Погибшие эсминцы лежат рядом друг с другом, значительно западнее от известных исторических координат их гибели. По имеющимся архивным данным о координатах немецких и финских минных постановок в годы ВОВ, в месте обнаружения эсминцев арьергарда вообще не должно было находиться никаких мин. Ближайшие к этому месту минные линии были немецкие: D.10 (И-60) с минным интервалом 77 метров и D.24 (И-64) с минным интервалом 167 метров, состоявшие из мощных мин ЕМС. Очевидно, одна или обе эти минные линии были выставлены с ошибкой в координатах и создали в этом месте повышенную минную плотность.

Все три погибших корабля были обнаружены эстонскими гидрографами ещё в начале 2000-х. Но узнать в разорванных и лежащих частично оверкиль объектах эсминцы типа «Новик» они не смогли. Велло Мясс даже идентифицировал эсминец «Артём» как подводную лодку Л-2, погибшую в ноябре 1941 года (см. рис. 23, 24), а «Калинин» какое-то время считался подводной лодкой С-5. Ясность в ситуации появилась только когда сначала «Артём», а затем «Калинин» были обследованы и идентифицированы дайверами из Финляндии (Divers of the Dark) и России (РВК) соответственно в 2015 и 2018 годах.

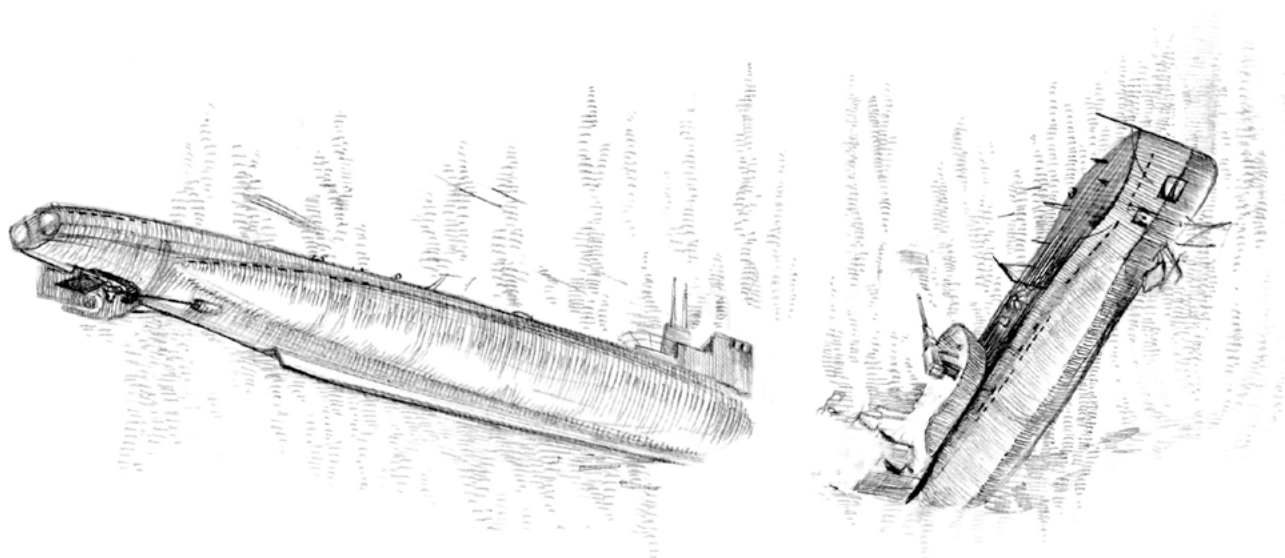


Рис. 24. Рисунок на основе сонограммы ЭМ «Артём», изображающий ПЛ Л-2 (Роман Маткевич)

Fig. 24. Drawing based on the sonogram of destroyer Artem, depicting submarine L-2 (Roman Matkevich)

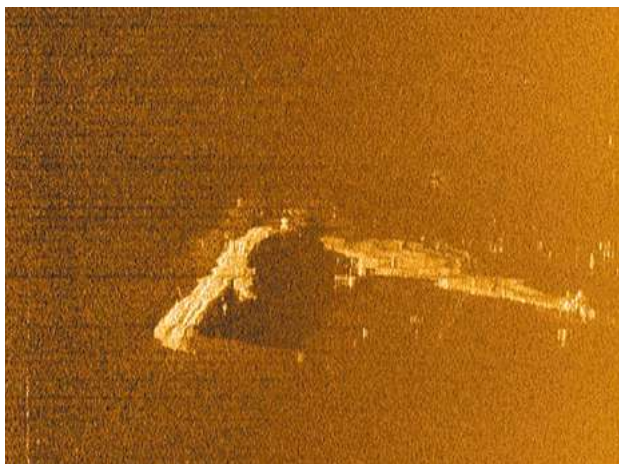


Рис. 25. Сонограмма ЭМ «Артём» (SubZone)
Fig. 25. Sonogram of destroyer Artem (SubZone)

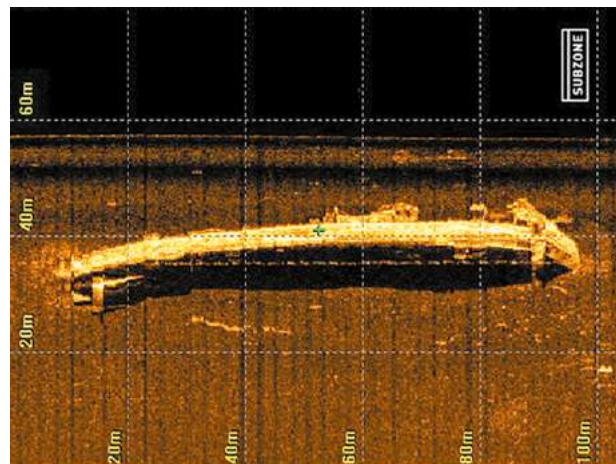


Рис. 26. Сонограмма ЭМ «Калинин» (SubZone)
Fig. 26. Sonogram of destroyer Kalinin (SubZone)

На «Володарский» дайверы не погружались, и он идентифицирован по сонограммам и по расположению на грунте между двумя точно идентифицированными «Новиками».

«Артём» лежит на глубине 86 метров, разорван пополам, кормовая часть лежит кверху килем, а носовая — на левом боку и задрана вверх (см. рис. 25). На носу доступен осмотру мостик корабля с сохранившимися органами управления и дальномером. А также 102-миллиметровое орудие, якоря в клюзах и бронзовая звезда на борту в районе форштевня. На лежащей кверху килем корме осмотру доступны только винты и руль. Но на транце почти у самого грунта были обнаружены бронзовые гербы в виде звезды

с серпом и молотом и название корабля, что даёт абсолютно точную идентификацию.

«Калинин» лежит на грунте на левом борту на глубине 88 метров, погрузившись в ил на половину ширины корпуса (см. рис. 26). Корпус его относительно цел, кроме повреждений в носу от взрыва мины и на корме от взорвавшихся при погружении под воду глубинных бомб. Характерные для эсминцев серии «Калинина» два орудия на баке осмотру недоступны, так как ослабленный после подрыва на mine нос корабля при ударе о грунт надломился сильнее, чем остальной корпус, и погрузился в ил. При осмотре кормы (см. рис. 27) и транца не обнаружено названия корабля, так как эта часть корпуса

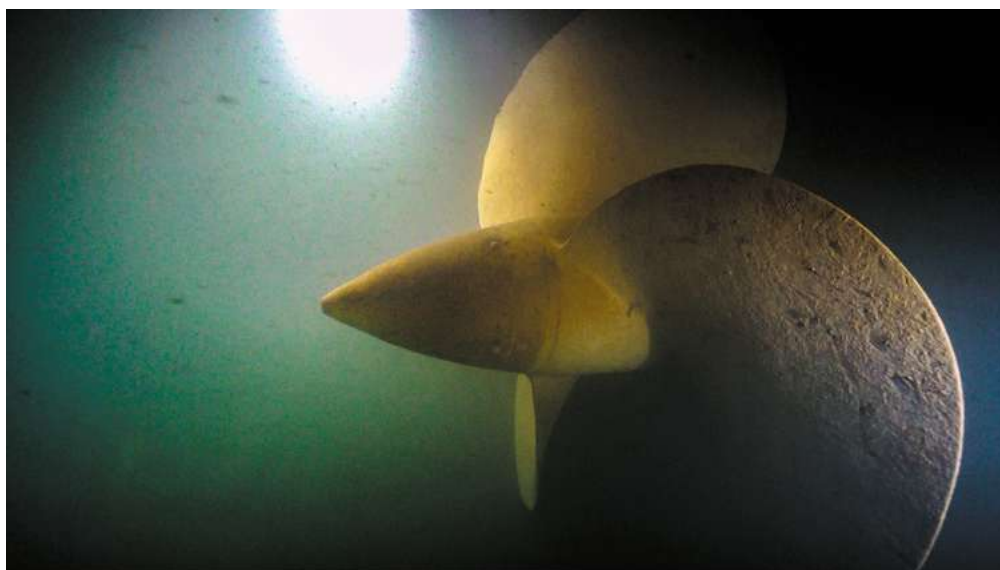


Рис. 27. Подводное фото ЭМ «Калинин». Винт (SubZone)
Fig. 27. Underwater photograph of destroyer Kalinin. Propeller (SubZone)

сильно повреждена, очевидно, из-за взрыва на кормовой палубе эсминца своих глубинных бомб. Идентифицирован «Калинин» по характерным особенностям палубы и борта в районе торпедных аппаратов. А также по совпадению повреждений и места гибели относительно двух других эсминцев с историческим описанием.

«Володарский» лежит в непосредственной близости от «Артёма», разорван пополам с большим разбросом обломков (см. рис. 28). Корпус сильно разрушен, вероятно, детонацией части боекомплекта. Водолазного осмотра не проводилось.

Как видно из приведённых выше описаний поисково-исследовательских работ, центральная часть «Юминды» является наиболее сложной для работы. В первую очередь, это большой район поиска протяженностью 17 миль. И несмотря на наличие сейчас всех документов обеих сторон о минных постановках и проведённых тральных работах, мы точно не знаем, где в день Таллинского прорыва стояли мины, так как они ставились с большими навигационными ошибками. И тральщики работали с такими же большими навигационными погрешностями. Это исключает возможность точечного поиска, и приходится сканировать большие площади дна в поисках реального места гибели кораблей. Сложность в определении поисковых квадратов усугубляется ещё и тем, что с точки зрения всей истории Таллинского прорыва ночь с 28 на 29 августа является самым «белым пятном». Потому что к этому моменту транспорты и корабли сопровождения всех конвоев уже перемешались между собой и, потеряв централизованное управление, не понимали ни своего истинного местоположения, ни того, какие корабли движутся рядом с ними, а какие уже погибли. Поэтому имеющиеся документы этого периода не помогают, а скорее запутывают исследователей. Вот почему эсминцы арьергарда, погибшие совсем не там, где должны были по документам, долгие годы принимались эстонскими исследователями за подводные лодки. Транспорт «Луга» был перепутан с погибшей ранее «Леени», а за «Лугу» исследователи более 10 лет принимали затонувший при эвакуации гарнизона Ханко транспорт «Андрей Жданов». И, как уже акцентировалось ранее, только водолазное обследование позволило точно идентифицировать эти объекты и по итогу правильно определить места и обстоятельства гибели более полутора тысяч человек.

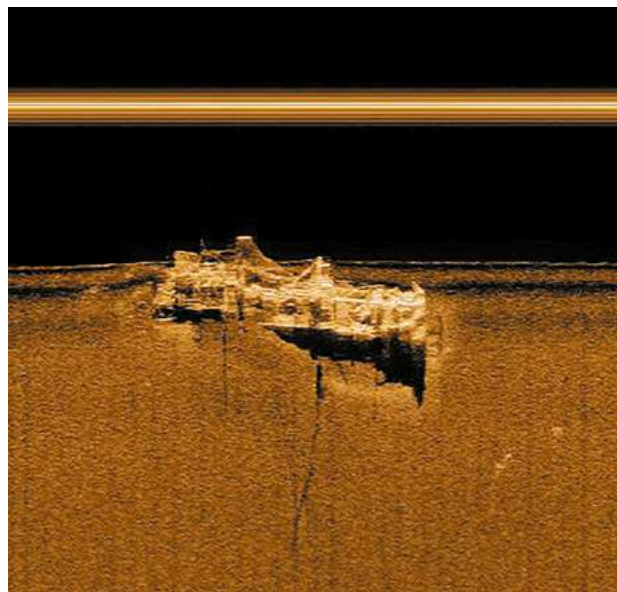


Рис. 28. Сонограмма кормы ЭМ «Володарский» (SubZone)

Fig. 28. Sonogram of the stern section of destroyer Volodarsky (SubZone)

Последним районом концентрации затонувших объектов в эстонских водах является **восточный край «Юминды»**. Там находилась всего одна немецкая минная линия D.27 (И-42), состоявшая из мин EMC, выставленных с переменным интервалом 115–175 метров и прикрытая с двух сторон рядами минных защитников. Казалось бы, всего одна линия с довольно большим минным интервалом не должна была стать серьёзным препятствием. Однако эта минная линия была выставлена накануне прорыва, поэтому в ней не было никаких прорезанных тральщиками брешей, а у тральных сил не было никаких данных о существовании этой линии. Поэтому жертвами этой минной линии стали как корабли отряда главных сил флота, которые прошли через неё вечером 28 августа, так и транспортные суда конвоев, которые форсировали эти мины утром 29 августа.

В этом районе гидроакустическим поиском было обнаружено 5 объектов практически ровно на линии минной постановки. Три из этих объектов были обследованы и идентифицированы, и все они оказались жертвами из состава Таллинского прорыва.

1. Эсминец «Яков Свердлов» (см. рис. 29).

Первоначальное имя этого эсминца было «Новик». И это, пожалуй, самый знаменитый из погибших в Таллинском прорыве кораблей.

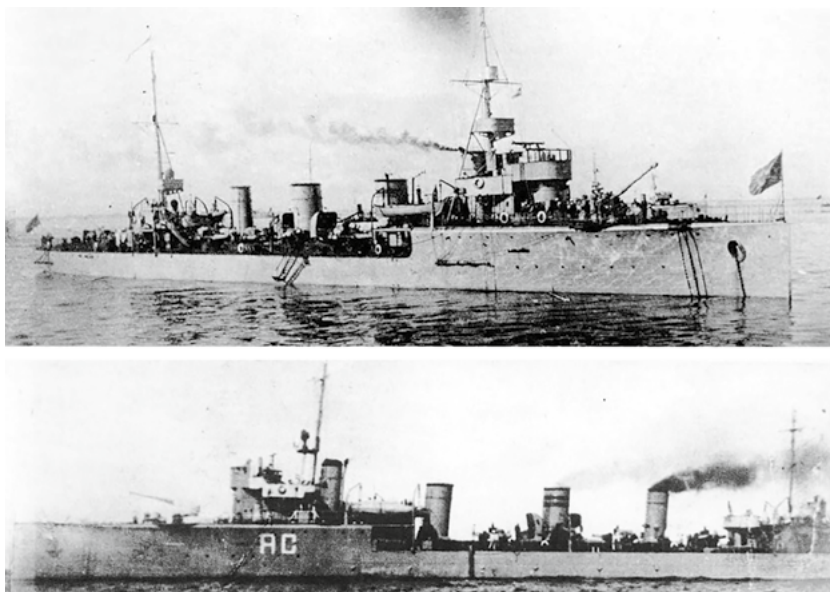


Рис. 29. Эсминец «Яков Свердлов» в разных модернизациях (Из открытых источников)

Fig. 29. Destroyer Yakov Sverdlov in various modernization configurations (From open sources)

Построенный в 1913 году на Путиловском заводе Санкт-Петербурга эсминец стал родоначальником целого класса отечественных эминцев, которые все стали классифицироваться «Новиками». Головной «Новик» в момент постройки был самым скоростным кораблём в мире, развив на испытаниях скорость 37,7 узла. Прославившийся в годы Первой мировой войны корабль к началу ВОВ был уже на вспомогательных ролях как учебный корабль ВВМУ им. Фрунзе, однако после начала войны эсминец был возвращён в боевой состав флота. К 1941 году дважды проходивший модернизацию эсминец имел при полном водоизмещении почти 2000 т длину 102,4 метра и нёс основное вооружение из четырёх 102-миллиметровых орудий и трёх трёхтрубных торпедных аппаратов калибра 450 мм. Командовал кораблём капитан 2 ранга Спиридонов А. М.

В Таллинском прорыве «Яков Свердлов» входил в состав отряда главных сил и шёл в охранении флагмана отряда (крейсера «Киров»), находясь в самой опасной зоне слева от крейсера, прикрывая его со стороны моря. Около 20 часов 50 минут 28 августа в центральной части эминца произошёл взрыв, который переломил корпус пополам, и эсминец в течение нескольких минут затонул. К счастью, рядом находились катера МО, которые смогли подобрать из воды 112 человек из состава экипажа и пассажиров. Погибли, по имеющимся данным, 116 человек [1, с. 354, 358]. Так как перед гибелью «Якова Свердлова» с него якобы наблюдали перископ подводной лодки и след торпеды, долгое

время считалось, что эсминец был потоплен торпедой вражеской подводной лодки, прикрыв собой крейсер «Киров». Однако эту версию однозначно опровергает обнаружение погибшего эминца ровно на минной линии, а также отсутствие в документах противника каких-либо данных о подводных лодках в этом районе и их действиях против судов Таллинского прорыва.

Эсминец был обнаружен и обследован в 2018 году в ходе совместной работы РВК и финской команды SubZone. Обнаружить «Яков Свердлов» помогли данные из немецких архивных документов, в которых удалось обнаружить запись о том, как немецкие корабли в последние дни мая 1943 года бомбили глубинными бомбами место выхода на поверхность топлива. Немцы считали, что бомбят советскую подводную лодку. Однако после обнаружения командой РВК в рамках проекта «Поклон кораблям Великой Победы» всех погибших в тот период советских подводных лодок (сначала в 2016 году Щ-408 [4, с. 610–612] у острова Вайндло, а затем в 2017 году Щ-406 [4, с. 602–605] у острова Большой Тюттерс), стало ясно, что атаке, вероятно, подвергся корпус какого-то затонувшего ранее корабля с жидким топливом. Зная на тот момент район гибели эминцев арьергарда, стало понятно, что бомбардировкам тогда, скорее всего, подвергся погибший в 1941 году «Яков Свердлов».

Эсминец лежит на глубине 76 метров, недалеко от точки гибели, указанной в советских исторических документах. Корабль разломан

на две части, между которыми расстояние около 10 метров, корма находится в правильном положении, а нос кверху килем, воткнувшись в грунт под углом (см. рис. 30). Дайверы осмотрели кормовую часть корабля, на ней обнаружены характерные три 102-миллиметровых орудия с задранными вверх стволами. На кормовой надстройке (см. рис. 31) рядом с запасным постом управления находится одно из трёх 37-миллиметровых зенитных орудий, которые установили на эсминец в ходе последней модернизации. На транце эсминца были обнаружены бронзовые герб СССР и название корабля (см. рис. 32), полностью подтвердившие, что обнаруженный корабль — это «Яков Свердлов».

2. Транспортное судно ВТ-584 «Найссаар» (см. рис. 33).

«Найссаар» был пароходом, построенным в Англии в 1911 году и получившим название Fort Castle. В 1933 году судно было куплено эстонской судоходной компанией и, получив своё новое имя, до начала войны входило в эстонский торговый флот. При вместимости 1893 брт оно имело длину по Ллойд 84,6 метра. Капитаном судна был Вольдемар Калью. Это судно является самой загадочной жертвой Таллинского прорыва, так как от своего выхода из гавани Таллина и до гибели оно не оставило никаких документальных свидетельств.

Входивший в конвой № 2 «Найссаар» должен был принять на борт согласно планам загрузки 1500 человек из состава стрелковых частей, защищавших Таллин. Сколько по факту было принято на борт людей и какие грузы, доподлинно неизвестно. Судно было последним крупным транспортом, уходившим из порта, поэтому, вероятно, на него пытались попасть все, кто ещё оставался в городе и по какой-то причине не попал на предписанное ему судно. Дальнейшая судьба транспорта оставалась загадкой 80 лет, породив массу версий и легенд. Разные списки и справочники о потерях судов и кораблей СССР указывали разное: что судно погибло или 28, или 29 августа то ли от ударов авиации, то ли от мин, при этом не давая никаких ссылок на источник информации. В своей книге Р. А. Зубков, приведя все известные версии, указал, что «для рассмотрения других версий гибели отсутствует документальная база» [1, с. 229, 230].

По полученным от эстонских представителей устным данным, судно было обнаружено эстонскими гидрографами ещё

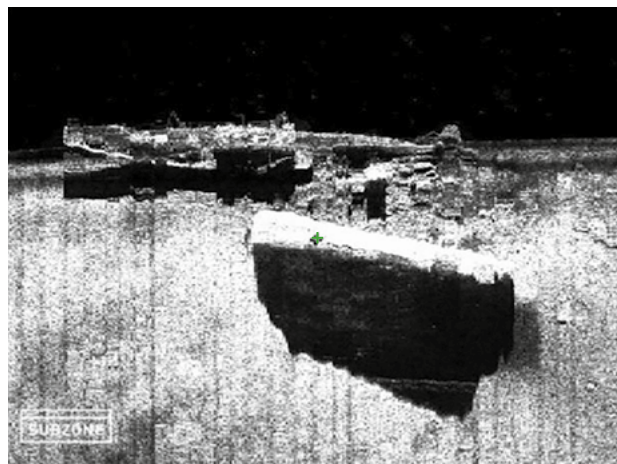


Рис. 30. Сонограмма ЭМ «Яков Свердлов» (SubZone)

Fig. 30. Sonogram of destroyer Yakov Sverdlov (SubZone)



Рис. 31. Подводное фото ЭМ «Яков Свердлов». Запасной мостик (Разведывательно-водолазная команда)

Fig. 31. Underwater photograph of destroyer Yakov Sverdlov. Auxiliary bridge (UWEX)



Рис. 32. Подводное фото ЭМ «Яков Свердлов». Название и герб (Разведывательно-водолазная команда)

Fig. 32. Underwater photograph of destroyer Yakov Sverdlov. Nameplate and state emblem (UWEX)

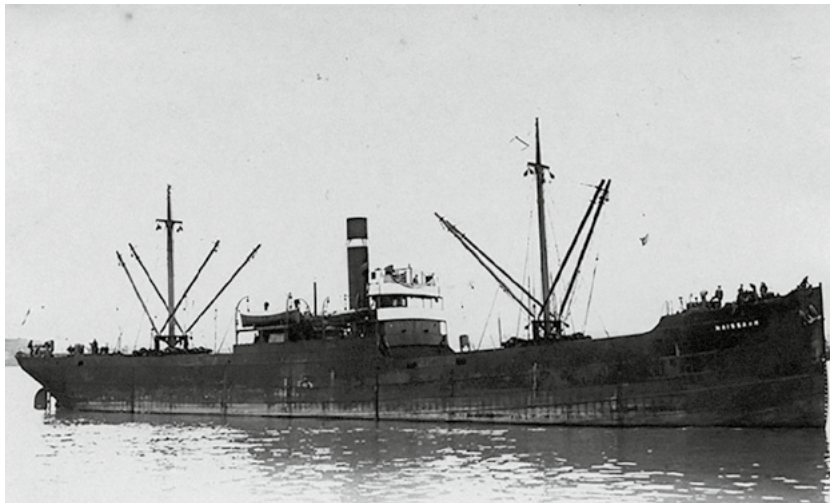


Рис. 33. Транспорт «Найссаар» (Из открытых источников)

Fig. 33. Transport vessel Naissaar (From open sources)

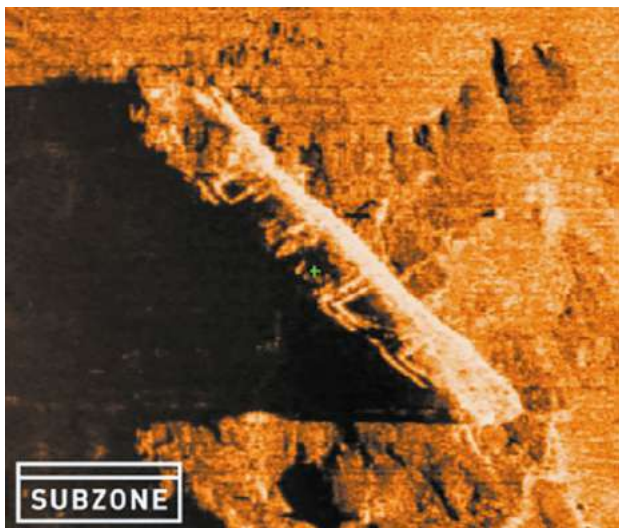


Рис. 34. Сонограмма транспорта «Найссаар» (SubZone)

Fig. 34. Sonogram of transport vessel Naissaar (SubZone)

в начале 2000-х годов, но только в 2021 году было обследовано и точно идентифицировано российскими и латвийскими дайверами РВК в рамках эстонского этапа экспедиции «180 миль до Ленинграда». Обследование лежащего на глубине более 80 метров судна (см. рис. 34) прояснило наконец его судьбу и загадку гибели. «Найссаар» подрывался на минной линии D.27 на восточном краю «Юминды» утром 29 августа, между 8 и 9 часами. Взрыв мины ЕМС оторвал носовую оконечность судна, которое после этого затонуло практически мгновенно. Данных о спасённых с этого транспорта нет, вероятно, погибли все, кто был на борту. Судя по количеству обнаруженных на палубе человеческих останков, элементов стрелкового вооружения,

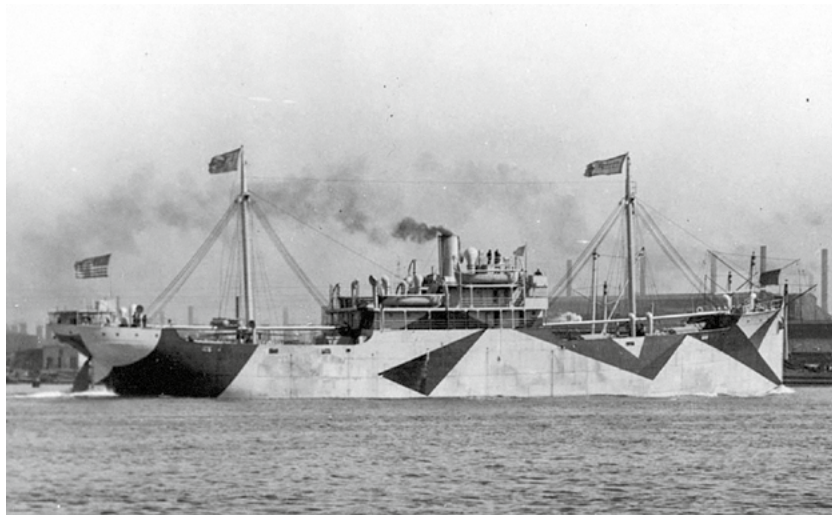
амуниции и боеприпасов, «Найссаар», вероятно, до последнего оставался в порту Таллина, принимая на борт отступающие стрелковые части Красной армии, и взял на борт значительно больше предполагаемых 1500 человек [1, с. 354, 358].

Так как не сохранилось никаких документальных свидетельств о гибели «Найссаара», и обнаружение этого судна на восточной кромке «Юминды» стало полной неожиданностью, остро встал вопрос с его идентификацией. К счастью, за годы нахождения судна в составе эстонского торгового флота было сделано множество подробных фотографий надстройки и палубы «Найссаара», которые удалось получить из Морского музея Эстонии. После изучения отснятого под водой видеоматериала и сравнения характерных особенностей кормы рэка удалось точно установить, что обнаруженное судно — это транспорт «Найссаар».

3. Транспортное судно ВТ-501 «Балхаш» (см. рис. 35).

На начало войны «Балхаш» был советским пароходом Балтийского пароходства. Построенный в Америке в 1918 году по военной программе Emergency Fleet Corporation он получил первое название War Trader. Однако Первая мировая война вскоре закончилась, и судно было продано торговому пароходству, получив имя Var Harbor. Судно успело недолго походить и под норвежским флагом, когда в 1933 году, будучи купленным СССР, стало «Балхашом». Грузовместимость судна была 2191 брт, длина по Ллойд — 80,6 метра. Капитаном являлся Демидов Александр Африканович.

Рис. 35. Однотипный с пароходом «Балхаш» транспорт Sag Harbor (Из открытых источников)
Fig. 35. Sag Harbor, sister ship of Balkhash (From open sources)



«Балхаш» является самым массовым местом гибели людей среди всех участников Таллинского прорыва и самой крупной подводной братской могилой в Финском заливе. По данным Р. А. Зубкова, транспорт «Балхаш» принял на борт до 3900 человек: это весь гарнизон города Палдиски вместе с гарнизонным госпиталем и семьями военнослужащих. По плану эвакуации [1, с. 124] блокированный гарнизон города Палдиски должны были вывезти три транспортных судна («Балхаш», «Аусма», «Кумари»), но из-за неразберихи в порт прибыл только «Балхаш», на который пришлось загрузить весь личный состав и гражданских пассажиров. Транспорт, входивший в конвой № 3, благополучно прошёл почти всё минное заграждение «Юминда» и погиб в 9 утра 29 августа на восточном краю «Юминды». На основании обнаруженных под водой деталей и воспоминаний одного из немногих спасшихся с «Балхаша» капитана 1 ранга Василия Павловича Джуржи, можно реконструировать гибель транспорта следующим образом: взрыв мины ЕМС произошёл в районе второго трюма, когда судно отворачивало в сторону, обнаружив прямо по курсу мину. «Балхаш» стал стремительно погружаться носом вперёд, продолжая совершать циркуляцию, образуя водоворот и опрокидываясь при этом на бок. Шансов на спасение у находившихся на борту практически не было. Погибло более 3800 человек, спасено по архивным данным всего 86 человек [1, с. 354, 358].

«Балхаш» лежит на глубине 96 метров. Нос судна глубоко зарылся в грунт, а корма под углом возвышается над грунтом более чем на 10 метров (см. рис. 36). На палубе и в трюмах обнаружено исключительно большое, относительно других осмотренных судов,

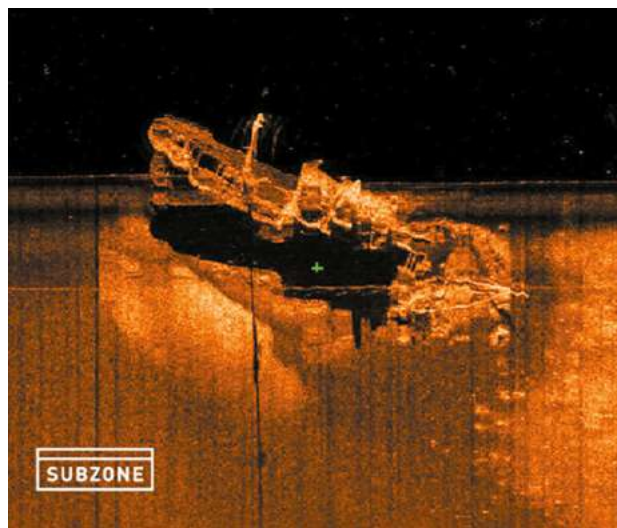


Рис. 36. Сонограмма транспорта «Балхаш» (SubZone)

Fig. 36. Sonogram of transport vessel Balkhash (SubZone)

количество останков пассажиров. По показаниям проводивших осмотр дайверов, среди них различимы по своим размерам и остаткам одежды останки женщин и детей.

Идентификация парохода была сложной, так как не сохранилось достоверных прижизненных фотографий «Балхаша». Однако, так как судно относилось к типу американских «массовых» военных транспортов по программе Emergency Fleet Corporation, которые строились во время Первой мировой войны по упрощённым однотипным проектам, удалось найти фотографию однотипного «Балхашу» судна, которое было построено по такому же проекту на одной с ним верфи и спущено на воду в один день.

Таблица. Характеристика ядер с объекта «Верккоматала 2»
Table. Characteristics of cores from the “Verkkomatala 2” site

	Всего погибло на «Юминде»	Найдено и идентифицировано	Процент обнаруженных
Всего кораблей	31	12	39 %
Эсминцы	5	4	80 %
Сторожевые корабли	2	1	50 %
Подводные лодки	2	1	50 %
Крупные суда спецназначения	4	2	50 %
Транспорты эвакуации	5	4	80 %

После сравнения с этими фотографиями характерных особенностей кормы и надстройки, заснятых дайверами на объекте, стало однозначно понятно, что это бывший американский War Trader, то есть «Балхаш».

Оценивая результаты исследовательских работ на восточном краю «Юминды», снова видна принципиальная важность водолазного осмотра объектов. Если «Якова Свердлова» можно было бы теоретически идентифицировать по сонограмме и сопоставлению места обнаружения с архивными координатами, то в случае «Балхаша» и в особенности «Найссаара» только водолазный осмотр с тщательной видеофиксацией деталей смог обеспечить правильную идентификацию.

По итогам работ оказалось, что на восточном краю «Юминды», несмотря на ограниченность этого района, находятся: эсминец «Яков Свердлов» — бывший «Новик», самый знаменитый корабль, погибший при прорыве; транспорт «Найссаар» — самый загадочный корабль, погибший при прорыве, о судьбе которого не было никаких документальных свидетельств; транспорт «Балхаш» — самый большой по количеству жертв корабль, погибший при прорыве.

Подводя итоги проведённых работ на минном заграждении «Юминда», на данный момент обнаружено и идентифицировано 12 кораблей Таллинского прорыва из 31, которые, согласно данным Р. А. Зубкова [1, с. 238], там погибли. В итоге найдено 39 % из возможного. Результат для столь сложной задачи

прекрасный, особенно принимая во внимание, что поисковые и водолазные работы проводились энтузиастами-любителями в открытом море на удалении более 8 миль от берега при глубинах моря от 65 до 106 метров. Ещё более значимыми результаты работы выглядят в контексте того, какие именно корабли были найдены с исторической и мемориальной точки зрения (см. табл.).

Финские воды

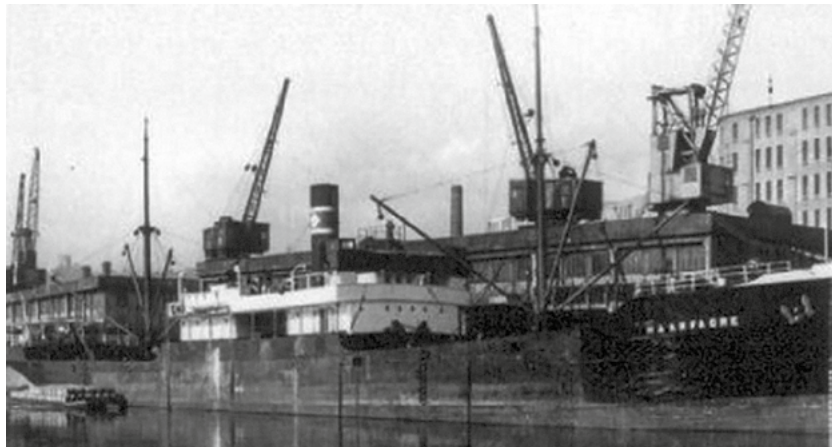
Маршрут Таллинского прорыва проходил в стороне от современных вод Финляндии, и поэтому в период массовой гибели судов 28 и 29 августа никто из них в этих водах не затонул. Однако 30 августа, когда задул юго-восточный ветер, два судна, которые во время налётов немецкой авиации днём 29 августа были сильно повреждены и оставлены экипажами в районе островов Родшер и Гогланд, стали дрейфовать в северном направлении и затонули в итоге в современных территориальных водах Финляндии. На данный момент оба этих судна найдены.

1. Транспортное судно ВТ-529 «Скрунда» (см. рис. 37).

Транспорт «Скрунда» был пароходом, построенным в Америке в 1918 году по военной программе Emergency Fleet Corporation и получившим имя War Platoon. После Первой мировой войны судно много раз меняло названия и флаги, пока в 1928 году не было куплено латвийской судоходной компанией с присвоением наименования «Скрунда».

Рис. 37. Транспорт «Скрунда»
(Из открытых источников)

Fig. 37. Transport vessel
Skrunda (From open sources)



Грузовместимость судна была 2414 брт и длина по Ллойд 91,1 метра. Капитаном на момент прорыва был Остапенко С. П.

«Скрунда» — один из «счастливых» участников Таллинского прорыва, потому что, согласно документам, на нём никто не погиб. Хотя изначально судно вообще не должно было принимать участие в прорыве. «Скрунда» должна была уйти 27 августа на Моонзундские острова и доставить туда продовольствие. Однако командование решило не отправлять судно в этот переход, по сути, без возможности вернуться и оставило его в Таллине. Таким образом, судно вышло 28 августа в составе конвоя № 3, не имея на борту эвакуируемых, но поздно ночью 28 августа «Скрунда» приняла на борт около 1400 пассажиров с санитарного транспорта «Луга», который подорвался на mine и медленно тонул севернее мыса Юминда. Приняв на борт спасённых с «Луги», «Скрунда» успешно смогла форсировать «Юминду», но утром 29 августа, когда судно уже подходило к острову Родшер и впереди был чётко виден Гогланд, начались налёты немецких бомбардировщиков Ju 88. От первых налётов около 9 утра «Скрунда» смогла увернуться, но в ходе следующего налёта в 12 часов 10 минут одна из немецких бомб упала у самого борта судна напротив машинного отделения, пробив в борту рванную пробоину и перебив паропровод. В результате началось затопление машинного отделения, пришлось спустить пар из котлов, чтобы не произошло их взрыва. «Скрунда» стала неуправляемой и лишилась хода. Буксировка судна не получалась из-за постоянных налётов немецкой авиации. Проходившие мимо два буксира лишь сняли с обездвиженной «Скрунды» 600 человек и благополучно доставили их в Кронштадт. Остальных вечером эвакуировали с тонущего судна тральщики и катера МО из отряда

прикрытия капитана 2 ранга Святова, пришедшие на помощь с Гогланда. Всего со «Скрунды» было спасено более 1400 человек. Капитан покинул судно последним. В документах фигурируют самые разнообразные версии, где и как судно погибло. Даже считалось, что оставленное судно село на мель у Родшера или было затоплено своим экипажем после того, как с судна были сняты все люди. Однако сейчас ясно, что повреждённое судно в полуприпотопленном состоянии ещё несколько часов дрейфовало от Родшера на запад и прошло около 10 миль в сторону Финляндии, затонув только в утром 30 августа.

Судно, лежащее на глубине 72 метра, обнаружили в 2005 году финские гидрографы. Однако местными исследователями из команды Badewanne оно было изначально неверно идентифицировано как погибший 12 ноября 1941 года транспорт «Андрей Жданов». Под этим именем оно находилось во всех реестрах более 15 лет. Правильно идентифицировать этот объект удалось только к весне 2022 года после тщательного анализа результатов экспедиций 2021 года проекта «180 миль до Ленинграда». Обнаружение российскими исследователями из РВК и «Фертоинга» в 2021 году у острова Мощный транспорта «Алев» подвигло финских исследователей из команды SubZone обследовать в эстонских водах судно, идентифицированное ранее Велло Мяссом как «Алев». Данное судно оказалось транспортом «Леени», погибшим в августе 1941 года. Далее финские исследователи стали проверять, какой же объект тогда лежит на месте обозначенного в эстонском реестре «Леени». После погружения к нему это оказалась «Луга», погибшая утром 29 августа после длительного дрейфа. После этого стали выяснять, что за судно тогда обозначено в эстонской базе данных как «Луга».



Рис. 38. Подводное фото транспорта «Скрунда». Компас на рубке (Divers of the Dark)

Fig. 38. Underwater photograph of transport vessel Skrunda. Compass on the bridge (Divers of the Dark)



Рис. 39. Подводное фото транспорта «Скрунда». Бочки с продовольствием (Divers of the Dark)

Fig. 39. Underwater photograph of transport vessel Skrunda. Food barrels (Divers of the Dark)

И там оказался как раз погибший в ноябре 1941 года «Андрей Жданов», который по финским данным лежит якобы у них. Общими усилиями удалось выяснить, что в 2005 году в финских водах была по факту обнаружена «Скрунда». Идентификация стала возможна после просмотра подводных видеосъёмок объекта 10–12 летней давности и сравнения их с имеющимися историческими фотографиями «Скрунды». Помимо визуального соответствия деталей корпуса и надстройки, по документам удалось рассчитать маршрут дрейфа «Скрунды» при розе ветров в ночь на 30 августа, и он как раз показывал дрейф судна в финские воды. Дополнительными признаками идентификации являются повреждения в корме у обнаруженного судна, которые соответствуют историческому описанию повреждений «Скрунды», и видимые на палубе ящики и бочки с продовольствием (см. рис. 38, 39).

Данная ситуация наглядно показывает, как легко одна неверная идентификация, сделанная на основе недостаточных архивных материалов, может создать «эффект домино» и привести к цепочке неверных идентификаций целого ряда объектов.

2. Транспортное судно ВТ-505 «Иван Папанин» (см. рис. 40).

Самая недавняя находка объекта Таллинского прорыва, обнаруженная буквально в ноябре 2025 года.

«Иван Папанин» был одним из самых крупных транспортов, участвующих в прорыве. Построен он был в Ленинграде на Северной верфи в 1933 году. Относился к типу судов-лесовозов «Волголес» — одному из первых

проектов гражданских судов, построенных в СССР. При грузовместимости 3974 брт судно имело полную длину 111,1 метра. Капитаном судна был Смирнов Александр Петрович.

Судно шло в составе конвоя № 1, хотя по изначальным планам оно было приписано к конвою № 2. На борту транспорта находилось около 3000 человек из состава ВВС КБФ, частей ПВО Таллина и стрелковых частей. Также в трюмах транспорта находилось оборудование и транспортные средства ВВС КБФ и частей ПВО. «Иван Папанин» благополучно преодолел минное заграждение «Юминда», но утром 29 августа с 8 часов судно начали атаковать немецкие бомбардировщики Ju 88. Первые бомбы попали в судно в 9 часов 45 минут при четвёртом налёте. Две бомбы попали в носовые трюмы, а пулёмётный обстрел с самолётов вывел из строя судоводительское оборудование на мостике и убил до 70 человек на палубе.

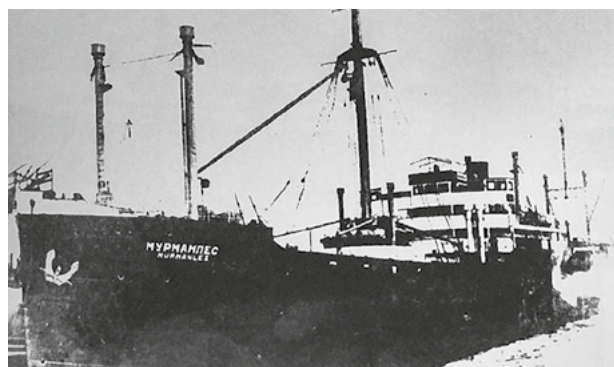


Рис. 40. Транспорт «Иван Папанин» под первым наименованием «Мурманлес»

Fig. 40. Transport vessel Ivan Papanin under its original name Murmansles

Экипаж и пассажиры героически принялись тушить возникшие пожары и исправлять полученные повреждения. Однако находившиеся в трюмах автомобиля с бензином и боеприпасами не давали возможности локализовать пожары, и вскоре нос судна полыхал. Находясь под постоянными налётами вражеской авиации и не имея возможности потушить пожар, капитан принял решение выброситься на берег острова Гогланд для спасения находившихся на борту людей. В 15 часов «Иван Папанин» пристал к береговой отмели Гогланда у южного маяка. Экипаж и пассажиры благополучно сошли на берег и ушли вглубь острова, а ночью 30 августа сменившимся юго-восточным ветром транспорт сняло с мели, и он начал дрейфовать на северо-запад в сторону финского берега. Далее, согласно советским документам, существует две версии гибели «Ивана Папанина». По одной из них катера и тральщики, вышедшие по приказу с Гогланда, подошли к горящему судну и, заложив подрывные заряды у ватерлинии, затопили его. По другим данным, судно добила в ходе очередного налёта немецкая авиация. В любом случае обе версии отмечают гибель транспорта во второй половине дня 30 августа в нескольких милях к западу от острова Гогланд.

Опираясь на эти две версии, летом 2021 года в ходе российского этапа экспедиции «180 миль до Ленинграда» поисковое судно компании «Фертоинг» осуществляло поиск «Ивана Папанина» в российских водах к западу от Гогланда. Однако, несмотря на продолжительные поиски, ничего не было обнаружено. Это заставило в последующем обратиться к альтернативным архивным источникам, с которыми не работал Р. А. Зубков и другие исследователи. И в документах ВМС Финляндии³ наконец удалось найти точные обстоятельства гибели «Ивана Папанина». Согласно финским данным, береговые посты зафиксировали после полудня 30 августа приближающееся к финскому берегу крупное горящее судно. К вечеру был даже отдан приказ взять судно на буксир и увести в финский порт, но, наблюдая, что судно продолжает сильно гореть и на его борту происходят периодические взрывы, это было сочтено слишком опасным. В итоге финны просто наблюдали, как судно догорает,

дрейфуя в море, пока в 3 часа 50 минут (4 часа 50 минут по московскому времени) оно окончательно не затонуло практически у кромки финских шхер, являясь, вероятно, последним погибшим судном Таллинского прорыва.

Изменившаяся с 2022 года международная обстановка не позволила провести поисковую экспедицию в Финляндии. Однако финский морской поисковик Тимо Лааксонен, получив от автора статьи вычисленные координаты поискового района, в ноябре 2025 года обнаружил гидролокатором ровно в том месте, куда указывали финские источники, корпус 110-метрового судна, лежащий на левом борту на глубине 30 метров (см. рис. 41). По своим размерам и видимой архитектуре надстроек и грузовых мачт судно точно соответствует типу «Волголес». Поэтому, несмотря на то, что водолазного осмотра пока не проводилось, идентификация объекта не вызывает сомнений (см. рис. 42).

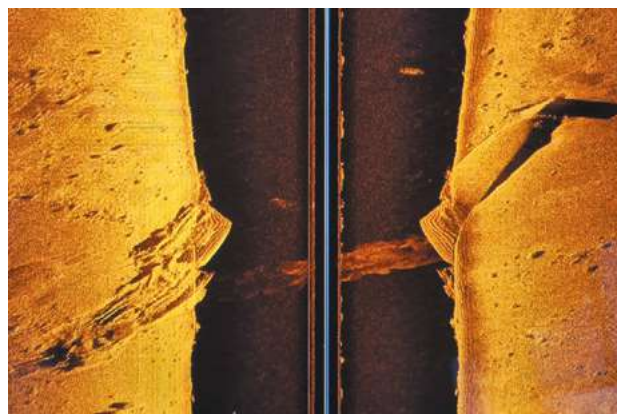


Рис. 41. Сонограмма транспорта «Иван Папанин» (Тимо Лааксонен)

Fig. 41. Sonogram of transport vessel Ivan Papanin (Timo Laaksonen)

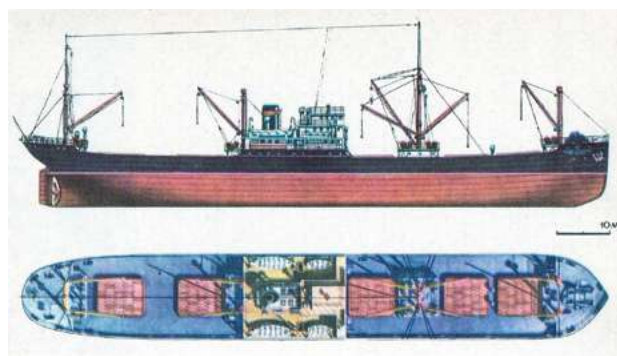


Рис. 42. Рисунок транспорта-лесовоза типа «Волголес» (Из открытых источников)

Fig. 42. Drawing of a Volgoles-class timber carrier vessel (From open sources)

³ Kansallisarkisto. 18708 Merivoimien esikunta, 10.6.1941–4.12.1941

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам находок в финских водах можно отметить, что все возможные суда Таллинского прорыва, которые волей ветра оказались в этом районе, теперь найдены. То, что архивные источники, с которыми работал Р. А. Зубков и другие исследователи, не давали информации о возможной гибели судов Таллинского прорыва в финских водах, сбивало с толку поисковиков, которые, опираясь на справочники и научные труды историков, даже не рассматривали возможность нахождения жертв Таллинского прорыва в этих водах.

На этом первая часть статьи, посвящённой Таллинскому прорыву, заканчивается.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование не имело спонсорской поддержки.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубков Р. А. Таллинский прорыв Краснознамённого Балтийского флота (август – сентябрь 1941 г.). События, оценки, уроки. СПб.: Гангут, 2021. 716 с. ISBN 978-5-85875-619-4
2. Vello Mäss Laevahukulood. Tallinn, Ilo, 2006, 272 p. ISBN-13 978-9985-57-818-6
3. Vello Mäss, Matkiewicz R. Lippude lehvides mere pohja!. Tallinn, TEA, 2010, 80 p. ISBN 978-9949-17-186-6
4. Морозов М. Э. Советские подводные лодки во Второй мировой войне. Летопись боевых походов. М.: Книжный мир, 2021. 736 с. ISBN 978-5-6047066-7-1

REFERENCES

1. Zubkov R. A. *Tallinskij proryv Krasnoznamennogo baltijskogo flota (avgust – sentyabr` 1941 g.). Sobytiya, ocenki, uroki* [The Tallinn Breakthrough of the Red Banner Baltic Fleet (August – September 1941). Events, Assessments, Lessons]. St. Petersburg, Gangut, 2021, 716 p. ISBN 978-5-85875-619-4 (In Russ.)
2. Vello Mäss Laevahukulood. Tallinn, Ilo, 2006, 272 p. ISBN-13 978-9985-57-818-6 (In Estonian)
3. Vello Mäss, Matkiewicz R. *Lippude lehvides mere pohja!*. Tallinn, TEA, 2010, 80 p. ISBN 978-9949-17-186-6 (In Estonian)
4. Morozov M. E. *Sovetskie podvodny'e lodki vo Vtoroj mirovoj vojne. Letopis' boevy'x poходов* [Soviet Submarines in World War II. Chronicle of Military Campaigns]. Moscow, Knizhny mir, 2021, 736 p. (In Russ.) ISBN 978-5-6047066-7-1

ВКЛАД АВТОРОВ

Автор несёт полную ответственность за все этапы работы, включая дизайн исследования, сбор данных, анализ и написание текста.

Промежуточные результаты работ в Эстонии и Финляндии представлены и описаны, а общие результаты работ во всех акваториях, включая таблицу с подробной информацией обо всех находках кораблей Таллинского прорыва, будут даны во второй части данной статьи. Это подведёт итоги всех международных исследовательских работ за почти 40 лет. Во второй части будут рассмотрены результаты поисковых работ в российских водах, где на данный момент обнаружены все погибшие суда Таллинского прорыва. Остаётся только надеяться, что изменение международной политической обстановки в обозримом будущем позволит достичь таких же результатов и в эстонских водах, где по-прежнему остаются не найденными десятки жертв Таллинского прорыва.

FUNDING

The study was carried out without additional funding.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare that there is no conflict of interests.

AUTHORS' CONTRIBUTION

The author confirms sole responsibility for the study conception and design, data collection, analysis and interpretation of results, and manuscript preparation.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Иванов Михаил Сергеевич, подводный исследователь-историк, Разведывательно-водолазная команда (РВК) (Россия, 193318, г. Санкт-Петербург, ул. Коллонтай, д. 15, к. 2, кв. 156); e-mail: ivanov_m_1987@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Mixail Sergeevich Ivanov, Underwater Explorer and Historian, Underwater Exploration Team (UWEX) (ul. Kollontaj, d. 15, k. 2, kv. 156, St. Petersburg, 193318, Russia); email: ivanov_m_1987@mail.ru

Поступила в редакцию 13.04.2026
Прошла рецензирование 11.05.2026
Принята к публикации 01.06.2026

Received 13.04.2026
Revised 11.05.2026
Accepted 01.06.2026

АРХЕОЛОГИЯ | ARCHAEOLOGY

Оригинальная статья | Original paper

DOI: <https://doi.org/10.26175/URC.2026.13.72.003>

УДК: 096.01+ 910:3



Музеи подводной археологии: тематический обзор

П. А. Горбунов ✉, Е. Н. Архангельский

АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества»,

г. Санкт-Петербург, Россия

✉ p.gorbunov@urc-rgs.ru

Аннотация

Статья посвящена обзору музеев подводной археологии, а также музеев, где существуют отдельные экспозиции или выставки по подводной археологии. Приводится тематический обзор как зарубежных, так и отечественных музеев. Региональные особенности представленных находок обусловлены химическим составом акваторий, где сохраняются лучше те или иные материалы. Среди общих подходов в экспонировании: создание эффекта погружения, демонстрация фото- и видеоматериалов подводных работ, размещение водолазных костюмов.

Ключевые слова

музей подводной археологии, морской музей, музеи-корабли, музейная экспозиция, подводные артефакты, экспонаты, кораблекрушения

Для цитирования

Горбунов П. А., Архангельский Е. Н. Музеи подводной археологии: тематический обзор. *Гидрокосмос*. 2026;4(1):49–63. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.13.72.003>

Museums of Underwater Archaeology: A Thematic Review

Pavel A. Gorbunov ✉, Evgenij N. Arxangel'skij

АНО "Underwater Research Center of the Russian Geographical Society", St. Petersburg, Russia

✉ p.gorbunov@urc-rgs.ru

Abstract

This article provides an overview of underwater archaeology museums, as well as museums with dedicated exhibits or displays on underwater archaeology. It provides a thematic overview of both international and domestic museums. Regional characteristics of the finds on display are determined by the chemical composition of the waters where certain materials are best preserved. Common approaches to exhibiting objects include creating an immersive experience, displaying photographs and videos of underwater work, and displaying diving suits.

Keywords

museum of underwater archaeology, maritime museum, museum ships, museum exhibition, underwater artifacts, exhibits, shipwrecks

For citation

Gorbunov P. A., Arxangel'skij E. N. Museums of Underwater Archaeology: A Thematic Review. *Hydrocosmos*. 2026;4(1):49–63. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.13.72.003>

ВВЕДЕНИЕ

Подводная археология в представлении многих людей по-прежнему овеяна ореолом морской романтики. Вопросы музеефикации подводного культурного наследия, а также вопросы экспонирования музейных предметов, полученных из-под воды, являются достаточно интересной темой. Одной из самых главных дилемм в этой сфере является приоритетность — какую методику следует выбрать. Поднять артефакт из воды на поверхность, отреставрировать и далее выставить в музее или оставить на месте нахождения (*in situ*), тщательно изучить, сделать трёхмерную модель, визуализировать.

С одной стороны, с развитием подводной археологии как области научного знания учёные сегодня всё чаще утверждают, что «море является не только великим разрушителем, но и великим хранителем», поэтому многие культурно-исторические артефакты имеют гораздо больше шансов выжить, будучи не поднятыми на сушу, а сохранёнными в морской воде [1, с. 4]. Данная идея даже закреплена в Конвенции ЮНЕСКО 2001 года об охране подводного культурного наследия¹, где прямо сказано, что приоритетным вариантом охраны подводного культурного наследия считается возможность его сохранения *in situ*, то есть в месте его обнаружения, в данном случае — на дне водоёма. Подобный подход подчёркивает важность исторического контекста, к которому относится объект подводного культурного наследия. Кроме того, объект, «вживлённый» в исторический ландшафт, воспринимается совершенно иначе, чем музейный предмет. Важным аргументом в пользу сохранения подводного объекта в месте его нахождения является наличие затопленных городов и остатков архитектурных сооружений. Это недвижимые объекты, и их поднятие на сушу связано с рисками непоправимого нарушения целостного природного и архитектурного ландшафта. Также в пользу метода *in situ* свидетельствуют и затонувшие старинные корабли, поднятые уже в XX веке на поверхность и подвергшиеся быстрому разрушению в связи с недостаточностью консервации и реставрации.

В настоящее время многими специалистами разрабатывается концепция подводных музеев. Считается, что подводное пространство отвечает всем музейным принципам репрезентативности. В целом можно сформулировать, что подводные музеи — это музеи, экспозиции которых развёрнуты непосредственно под водой, и осмотр которых предполагает использование подводного снаряжения или техники. Фактически во многих странах Средиземноморского региона подобные подводные музеи уже созданы и успешно функционируют. Хотя следует учитывать, что термины «подводный музей», «подводный археологический парк» или «подводный заповедник» пока ещё не имеют чёткой дефиниции и используются достаточно произвольно [1, с. 5].

С другой стороны, классические музеи, принимающие в свои фонды артефакты из-под воды, не сдают свои позиции и продолжают оставаться популярными в современном обществе.

Кроме того, в мире существуют целые музеи, посвящённые показу поднятых со дна кораблей и судов разных эпох. Они пользуются большой популярностью и отличаются высокими показателями посещаемости.

Если попытаться провести систематизацию и классификацию музеев, чья тематика в той или иной степени связана с морской историей, археологией и морской культурой, или же экспозиции насыщены историческими находками, извлечёнными из воды, то такие музеи можно попытаться классифицировать следующим образом:

1. Музеи (классические).

1. 1. Тематические музеи подводной археологии.

1. 2. Отдельные музейные экспозиции или выставки по подводной археологии в классических, краеведческих или историко-археологических музеях.

1. 3. Морские музеи, в экспозиции которых включены памятники подводного культурного наследия.

1. 4. Тематические музеи археологических кораблей (сюда можно отнести музеи одного корабля или группы кораблей, музеи-реплики кораблей).

¹ Конвенция об охране подводного культурного наследия // Организация Объединённых наций [Эл. ресурс]. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/underwater_heritage.shtml?ysclid=mnx6khd0a6399935237 (посл. посещение: 15.05.2026).

2. Подводные музеи и парки.

3. Виртуальные музеи и экспозиции.

ОБЗОР КЛАССИЧЕСКИХ МУЗЕЕВ

В настоящей статье мы более подробно остановимся на обзоре классических («земных») музеев, в частности подводной археологии, а также музеев с выделенными экспозициями по подводной археологии (то есть на описании первой и второй подгрупп из нашей классификации). Полноценный обзор Национальных морских музеев и Музеев археологических кораблей в настоящей статье проводится не будет, поскольку это потребует отдельной статьи. Мы лишь кратко перечислим такие музеи.

Музей подводной археологии в Бодруме (Турция), пожалуй, один из самых известных. Он расположен в средневековом замке Святого Петра, который был резиденцией рыцарей-госпитальеров, а сейчас является визитной карточкой города² (см. рис. 1).

Начало истории музея восходит ещё к далёкому 1953 году, когда рыбаки Бодрума, тогда ещё скромного портового городка, обнаружили в своих сетях античную статую IV века до н.э.

В 1958 году в Бодрум приезжает американский журналист Питер Трокмортон с целью сделать репортаж про ловцов губок и слышит истории местных рыбаков о старинном кораблекрушении у мыса Гелидония. Питер Трокмортон сообщает об этом профессору Робину Янгу, заведующему кафедрой археологии Пенсильванского университета. Янг, в свою очередь, информирует об этом одного из своих учеников, Джорджа Басса, который сегодня считается одним из «отцов-основателей» подводной археологии. Уже в 1960 году Дж. Басс и П. Трокмортон организовали подводные раскопки на месте древнего кораблекрушения эпохи бронзового века (около 1200 год до н.э.) у мыса Гелидония, находки оттуда и положили начало основанию Бодрумского музея подводной археологии. Кроме того, это открытие стало началом первых в истории научных подводных раскопок.



Рис. 1. Замок Святого Петра в Бодруме (Турция) (Из открытых источников)

Fig. 1. Castle of St. Peter, Bodrum (Turkey) (From open sources)

В 1962 году Джордж Басс вместе с первым подводным археологом Турции Огузом Альпёзенем основывают Бодрумский музей подводной археологии, первоначально занимавший только переоборудованный зал рыцарской столовой Бодрумского замка. Огуз Альпёзен занимал должность директора музея до 2005 года.

В последующие годы в этом регионе, неподалёку от подводного рифа, нашли ещё около 40 затонувших кораблей разных эпох. Поднятые артефакты дополнили коллекцию музея подводной археологии. В настоящее время музей занимает 15 залов замка, каждый из них посвящён какой-либо части коллекции затонувших кораблей и найденных на них грузов (см. рис. 2–4). Многие суда воссозданы в виде макетов. Облик некоторых удалось восстановить из собранных обломков. Фотографии иллюстрируют историю подводных экспедиций на дно Эгейского моря.



Рис. 2. Музей подводной археологии в Бодрумском замке (Из архива авторов)

Fig. 2. Bodrum Museum of Underwater Archaeology, Bodrum Castle (By authors)

² Bodrum museum [Эл. ресурс]. URL: <https://www.bodrum-museum.com> (посл. посещение: 10.04.2026).



Рис. 3, 4. Залы музея подводной археологии в Бодрумском замке (Из архива авторов)
Fig. 3–4. Exhibition halls of the Bodrum Museum of Underwater Archaeology (By authors)

Помимо вышеописанного кораблекрушения у мыса Гелидония, коллекция музея представлена и другими не менее интересными кораблями: кораблекрушение у острова Яссы Ада, римский торговый корабль, кораблекрушение в бухте Шейтан Дереси, кораблекрушение в гавани Серче (Мармарис), кораблекрушение у мыса Текташ (см. рис. 5, 6).

Кроме поднятых со дна моря кораблей, в музее экспонируется одна из лучших

на Средиземноморье коллекций греческих амфор (так называемый Парк амфор, см. рис. 7, 8), монеты и ювелирные изделия, найденные под водой и на суше, собрание греческих скульптур эпохи архаики и классики, в том числе та самая бронзовая статуя, попавшая в сети рыбаков в 1953 году. В «нумизматическом» зале отдельно рассказывается о технике чеканки монет, об их покупательной способности и реальной стоимости [2, с. 87].



Рис. 5, 6. Макеты затонувших кораблей в Бодрумском замке (Из архива авторов)
Fig. 5–6. Scale models of shipwrecks displayed in Bodrum Castle (By authors)



Рис. 7, 8. Парк амфор в Бодрумском замке (Из архива авторов)
Fig. 7–8. Amphora Park, Bodrum Castle (By authors)

В 2018 году музей закрыли на реконструкцию — замок пострадал при землетрясении 2017 года, произошедшем в Эгейском море. Реконструкция продолжалась около двух лет, после чего музей открыли для посещения, хотя работают ещё не все залы.

Национальный Музей подводной археологии в Картахене (Испания)³.

Для публики музей был открыт в 1982 году. Но до этого ещё в 1970-е годы здесь был создан Совет по подводным археологическим работам и Центр подводной археологии Картахены. После проведённой масштабной реконструкции с 2008 года музей расположен в современном футуристическом здании. Новое здание состоит из целого комплекса помещений. Общая площадь достигает 6 тыс. кв.м. (см. рис. 9, 10)



Рис. 9. Музей подводной археологии в Картахене (Испания) (Из архива авторов)

Fig. 9. National Museum of Underwater Archaeology, Cartagena (Spain) (By authors)

Основу экспозиции музея составляют находки, обнаруженные во время подводных археологических раскопок и датированные между VII в. до н.э. и XIX в. Наиболее примечательные из них — большая коллекция римских, финикийских, карфагенских амфор (см. рис. 11, 12) и собрание слоновьих бивней финикийского периода. Значительный интерес представляют останки финикийских кораблей VII в. до н.э., найденные при подводных раскопках в районе Playa de la Isla (Puerto de Mazarron). Реконструкцию такого судна можно увидеть в экспозиции. Изюминкой музея являются интерактивные экспонаты: работающий подводный подъёмник, лаборатория по очистке пролежавших тысячелетия под водой предметов и так далее. По сути, Музей подводной археологии в Картахене представляет собой научно-исследовательский центр, а его экспозиция нацелена на наглядную демонстрацию поэтапности становления подводной археологии как научной дисциплины и важности сохранения подводного культурного наследия [2, с. 87–88].



Рис. 10. Залы музея подводной археологии в Картахене (Из архива авторов)

Fig. 10. Exhibition halls of the National Museum of Underwater Archaeology, Cartagena (By authors)



Рис. 11, 12. Коллекция амфор в музее в Картахене (Из архива авторов)

Fig. 11–12. Collection of amphorae in the National Museum of Underwater Archaeology, Cartagena (By authors)

³ The National Museum of Underwater Archaeology [Эл. ресурс]. URL: <https://www.cultura.gob.es/mnarqua/en/home.html> (посл. посещение: 10.04.2026).

Морской археологический музей Ла-Маддалена (Италия). Экспозиция этого музея посвящена римскому кораблю, затонувшему около 120 г. до н.э. у острова Спарги (Spargi), в водах архипелага Маддалена. Она размещена в двух небольших комнатах. Значительную часть первого помещения занимает реконструкция сечения корпуса судна в натуральную величину с 202 амфорами внутри. Посетители видят систему укладки амфор в трюме античного корабля (см. рис. 13). Во втором большем по размеру помещении экспонируются подводные находки, обнаруженные в водах архипелага Маддалена в разное время, а также фотографии подводных раскопок и образцы различных типов амфор. Несмотря на относительно небольшую площадь музейной экспозиции и её скромность, данный музей уникален в своём роде. Именно при исследовании корабля, затонувшего у острова Спарги, профессором Нино Ламболя в 1958 году были заложены основы научных методов изучения останков затонувших кораблей, а именно использование координатной сетки для составления плана раскопок, метода фотомозаики и других [2, с. 88].

Среди других зарубежных музеев, которые можно отнести к данной группе, следует выделить **Музей дель-Рескато-Субмарин в Санто-Доминго (Доминиканская Республика)**, где можно увидеть богатейшую коллекцию оружия, посуды, драгоценностей и старинных монет, которые были найдены и подняты с затонувших испанских кораблей.

Из национальных морских музеев, в экспозиции которых включены памятники подводного культурного наследия, можно назвать **Национальный морской музей Кореи (Южная Корея)**, в залах которого выставлены предметы, найденные при раскопках затонувшего корабля (так называемого судна «Вандо») эпохи Корё (918–1392 годы), а также **Национальный морской музей Китая (Тяньцзинь)** и **Норвежский морской музей (Осло)**.

Тематические музеи археологических кораблей представлены в разных странах.

Музей корабля «Васа» в Стокгольме (Швеция) посвящён одному из самых известных кораблей в истории и является визитной карточкой Шведского королевства. Там представлен полностью сохранившийся корабль XVII века «Васа», который затонул в гавани Стокгольма 10 августа 1628 года во время



Рис. 13. Морской археологический музей Ла-Маддалена (Италия): макет — сечение корпуса судна с амфорами (Из архива авторов)
Fig. 13. Maritime Archaeological Museum of La Maddalena (Italy): full-scale reconstruction of a ship's hull cross-section with amphorae (By authors)

своего первого выхода в море. **Музей «Мэри Роуз» (Портсмут, Великобритания)** посвящён военному кораблю эпохи Генриха VIII, затонувшему 19 июля 1545 года. **Морской музей в Бремерхафене (Германия)**, основу экспозиции которого составляет когг 1380 года. **Берлинский технический музей (Германия)**, в котором выставлено средневековое судно, поднятое со дна реки Везер. В **Музее кораблей викингов в Осло (Норвегия)** выставлены знаменитые корабли викингов: Тюнский корабль, Гокстадский корабль и Осебергская ладья. Есть аналогичный **Музей кораблей викингов в Роскилле (Дания)**.

В настоящее время завершаются работы по консервации и реставрации ганзейского когга XIII века в **Таллине (Эстония)**. В **Нидерландах** реализуется проект по созданию в Лелистаде целого музейного комплекса, где будут демонстрироваться как средневековые голландские корабли и лодки, так и фрагменты, найденные после осушения части Зюйдерзее. Особый интерес представляет китайский музей судна XII века, известного как «Нинхай-2», которое демонстрируется в специальном бассейне [3, с. 50].

Что касается России, то у нас нет в прямом смысле музеев подводной археологии, по подобию бодрумского или картагенского. Однако в нашей стране можно найти достаточно интересные и вполне достойные музейные экспозиции по подводной археологии, существующие внутри классических исторических и краеведческих, а также морских музеев.



Рис. 14. Музей Мирового океана в Калининграде (Из архива авторов)

Fig. 14. Museum of the World Ocean, Kaliningrad (By authors)

Музей Мирового океана (Калининград) является примером отечественного морского музея, где существует экспозиция по подводной археологии⁴ (см. рис. 14).

Экспозиция с названием «Тайны затонувших кораблей» объединила подлинные предметы, поднятые за последние годы с морского дна, а именно: с потерпевшего крушение во второй половине XIX века в Балтийском море у посёлка Пальмникен (сейчас Янтарный) деревянного корабля; с каботажного судна райзекан типа «река — море» Балтийского региона конца XIX — начала XX века; с затонувшей в 1881 году у Земли Франца-Иосифа яхты «Эйра» английского полярного исследователя Бенджамина Ли Смита; с потерпевшего кораблекрушение в 1897 году малого броненосца Российского флота «Гангут»; с последней погибшей в Великую Отечественную войну советской подводной лодки С-4; с потопленных в 1945 году у Пиллау (сейчас г. Балтийск) немецкого ледокола «Поллукс» и артиллерийского тендера «Драхе» (см. рис. 15, 16). Центральными экспонатами здесь, несомненно, являются останки деревянного судна XIX века, найденные в янтарном карьере посёлка Янтарный. Это по-своему уникальный объект, прошедший консервацию после извлечения из янтарных отложений.

Данная экспозиция существует в рамках историко-культурного центра «Морское наследие», расположившегося в залах здания бывшей Кёнигсбергской государственной янтарной мануфактуры, в свою очередь, являющегося объектом культурного наследия (см. рис. 17).

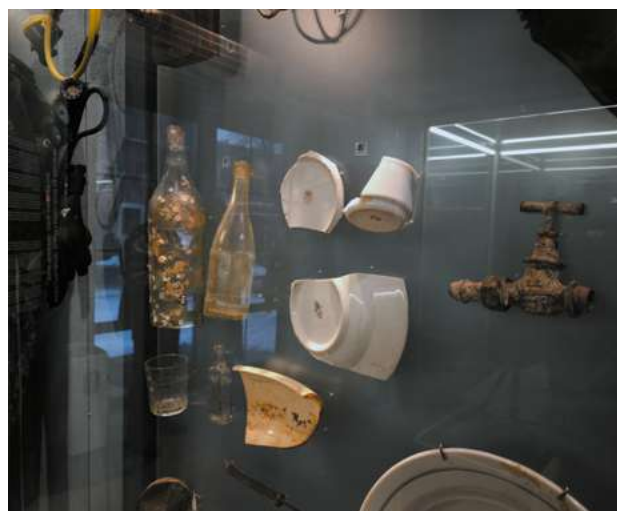


Рис. 15, 16. Экспозиция «Тайны затонувших кораблей» в Музее Мирового океана (Из архива авторов)

Fig. 15–16. Secrets of Sunken Ships exhibition at the Museum of the World Ocean (By authors)



Рис. 17. Здание бывшей янтарной мануфактуры в Калининграде (Из архива авторов)

Fig. 17. Former Königsberg State Amber Manufactory building, Kaliningrad (By authors)

⁴ Музей-заповедник «Музей Мирового океана» [Эл. Ресурс]. URL: <https://world-ocean.ru/yanarnaya-manufaktura> (посл. посещение: 10.04.2026).

Музей истории Кронштадта (Кронштадт)

фактически является историческим краеведческим музеем, у которого существует отдельная экспозиция по подводной археологии. Экспозиция пользуется повышенным интересом и постоянно пополняется новыми артефактами благодаря сотрудничеству с организациями, занимающимися подводными исследованиями в Финском заливе и передающими свои находки в этот музей. Экспозиция подводной археологии достаточно обширная и располагается в отдельном историческом здании — бывшей водонапорной башне⁵ (см. рис. 18). Здесь представлены артефакты, поднятые с затонувших кораблей: линейного корабля «Лондон», фрегата «Олег», броненосца «Гангут» и ряда других боевых кораблей и торговых судов. Представлены предметы вооружения, быта, посуда, обувь, инструменты и личные вещи моряков и пассажиров затонувших судов (см. рис. 19, 20). В одном из залов сегодня создана экспозиция из сохранившихся деревянных обломков корпуса линейного корабля «Лондон» начала XVIII в. (см. рис. 21, 22)

Музей подводной археологии в Выборгском замке (Выборг) по сути не отдельный самостоятельный музей, а экспозиция внутри известного музея-заповедника «Выборгский замок». Экспозиция под названием «Подводные тайны Балтики» была открыта в 1994 году первоначально в винном погребе Замкового острова. В 1997–98 годах переехала в комендантский дом Выборгского замка. С 2006 года экспозиция стала носить название «Подводная археология» и долгое время позиционировалась как «первый и единственный в России музей подводной археологии» (см. рис. 23). Экспозиция была построена на основе многолетней работы подводной экспедиции «Память Балтики» и включает артефакты с кораблей, затонувших в 1790 году во время Выборгского морского сражения Русско-шведской войны 1788–1790 годов [4, с. 415].

Коллекция подводных находок достаточно обширная.

Палубные пушки всех калибров кораблей шведского флота, участвовавших в Выборгском морском сражении. Коллекция боеприпасов шведских пушкарей.



Рис. 18. Музей истории Кронштадта. Экспозиция «Подводная археология» в здании бывшей водонапорной башни (Из архива авторов)

Fig. 18. Museum of the History of Kronstadt. The Underwater Archaeology exhibition in the former water tower building (By authors)



Рис. 19, 20. Экспозиция «Подводная археология» в залах Музея истории Кронштадта (Из архива авторов)

Fig. 19–20. Underwater Archaeology exhibition halls at the Museum of the History of Kronstadt (By authors)

⁵ Музей истории Кронштадта [Эл. ресурс]. URL: <https://visitkronshadt.ru/ekspozitsiya-podvodnaya-arkheologiya?ysclid=mnx865zj6t924066090> (посл. посещение: 10.04.2026).

Вооружение шведской абордажной партии. Носовая фигура 62-пушечного линейного корабля Hedvig Elisabeth Charlotta. Дубовые станки к корабельным пушкам. Коллекция красномедных шведских монет и две серебряные монеты с гербом короля Густава III. Якоря разных типов. Коллекция фрагментов корпуса и рангоута шведских кораблей, предметы корабельного такелажа и быта экипажей (см. рис. 24, 25).



Рис. 23. Музей-заповедник «Выборгский замок» (Из архива авторов)

Fig. 23. Vyborg Castle Museum-Reserve (By authors)



Рис. 21, 22. Экспозиция «Подводная археология» в залах Музея истории Кронштадта (Из архива авторов)

Fig. 21–22. Underwater Archaeology exhibition halls at the Museum of the History of Kronstadt (By authors)



Рис. 24, 25. Экспозиция «Подводная археология» в залах музея (до переезда) (Из архива авторов)

Fig. 24–25. Underwater Archaeology exhibition at Vyborg Castle (before relocation) (By authors)

С 2022 года, после завершения реставрации помещения Цейхгауза Выборгского замка, экспозиция подводной археологии переезжает туда (см. рис. 26, 27). Однако многие артефакты из коллекции подводных находок в настоящее время находятся на масштабной вторичной консервации и реставрации.

Музей Великого моста (Великий Новгород) является подразделением Новгородского музея-заповедника и располагается в доме караульной команды путей



Рис. 26, 27. Экспозиция «Подводная археология» в помещении Цейхгауза (Из архива авторов)
Fig. 26–27. Underwater Archaeology exhibition in the Zeughaus (Arsenal Building) of Vyborg Castle (By authors)



Рис. 28. Музей Великого моста в Великом Новгороде (Из архива авторов)
Fig. 28. Museum of the Great Bridge, Veliky Novgorod (By authors)

сообщения XIX века, который является объектом культурного наследия (см. рис. 28).

Остатки Великого Новгородского моста подводные археологи обнаружили на дне Волхова в 2018 году, хотя работы по его поиску велись ещё с 2005 года. С того времени со дна реки было поднято множество находок и собрана значительная коллекция артефактов ремесленного производства, торговли, общественно-политической деятельности. Среди находок несколько тысяч артефактов: церковная утварь и предметы быта, украшения, монеты и другие раритеты XII–XVII веков, а также остатки деревянных конструкций моста, которые датируются XII веком. Именно эти ценности и стали основой экспозиции Музея Великого моста⁶ (см. рис. 29, 30).



Рис. 29, 30. Экспозиция в залах Музея Великого моста (Из архива авторов)
Fig. 29–30. Exhibition halls of the Museum of the Great Bridge (By authors)

⁶ Музей Великого моста // Новгородский музей-заповедник [Эл. ресурс]. URL: <https://novgorodmuseum.ru/muzei/muzej-velikogo-mosta?ysclid=mnx92qnast785313876> (посл. посещение: 10.04.2026).

Отдельно можно выделить тематические выставки Центра подводных исследований РГО, которые периодически проводятся в различных музейных учреждениях и на которых экспонируются находки, поднятые с затонувших кораблей во время подводных экспедиций центра. Среди таких выставок широкую известность получили: выставка «Погружение в эпоху Петра Великого», проведённая в 2022–2023 годах в одном из бастионов Петропавловской крепости Музея истории Санкт-Петербурга (см. рис. 31), а также выставка «Гидрокосмос» в Большой Оранжерее музея-заповедника «Петергоф», проведённая в 2025 году.

Далее мы оставим северо-запад нашей страны и перейдём к обзору музеев, расположенных на юге.

Музей подводной археологии в Феодосии (Феодосия) просуществовал всего несколько лет, с 2013 года по 2020 год. Музей располагался в здании — объекте культурного наследия — бывшем особняке табачного магната Иосифа Стамболи, построенном в неомавританском стиле в начале XX в. Это здание является одной из визитных карточек Феодосии (см. рис. 32, 33).

Коллекция музея быстро пополнялась благодаря многочисленным подводно-археологическим экспедициям, проводившимся по всему побережью Крыма. Хронологически коллекция была представлена достаточно широко: начиная с древности — с VII в. до н.э. — и вплоть до XX в.

Одной из наиболее интересных и значимых была экспозиция, посвящённая Античности и исследованиям затопленного античного города Акра в Керченском проливе (см. рис. 34). Также традиционно широко были представлены экспонаты эпохи Средневековья. Большой интерес в музейной экспозиции представляла коллекция античных и средневековых амфор (см. рис. 35).

Кроме того, в музее экспонировались находки, поднятые с кораблекрушений XIX века, произошедших в акватории Крыма. Среди них пароход «Веста», выдержавший героический бой с турецким боевым кораблём, и пассажирский пароход «Генерал Коцебу», на котором была официальная делегация Российской империи во время открытия Суэцкого канала (см. рис. 36, 37).



Рис. 31. Выставка ЦПИ РГО «Погружение в эпоху Петра Великого» (Из архива авторов)

Fig. 31. Underwater Research Center of the Russian Geographical Society exhibition Immersion into the Era of Peter the Great (By authors)



Рис. 32. Музей подводной археологии в Феодосии в здании бывшего особняка Стамболи (Из архива авторов)

Fig. 32. Museum of Underwater Archaeology in Feodosia, housed in the former Stamboli Mansion (By authors)



Рис. 33. Залы музея подводной археологии в Феодосии (Из архива авторов)

Fig. 32. Exhibition halls of the Museum of Underwater Archaeology in Feodosia (By authors)



Рис. 34. Античная экспозиция в музее в Феодосии (Из архива авторов)

Fig. 34. Classical Antiquity exhibition in the Museum of Underwater Archaeology, Feodosia (By authors)



Рис. 35. Коллекция амфор в музее в Феодосии (Из архива авторов)

Fig. 35. Collection of amphorae in the Museum of Underwater Archaeology, Feodosia (By authors)



Рис. 36, 37. Экспозиция с кораблекрушений XIX в. в музее в Феодосии (Из архива авторов)

Fig. 36–37. Exhibition dedicated to nineteenth-century shipwrecks in the Museum of Underwater Archaeology, Feodosia (By authors)



Великая Отечественная война и XX в. тоже представлены в музее находками с затонувших кораблей и самолётов (см. рис. 38).

В 2020 году музей был реорганизован, а коллекция передана в соседний музей в Судак.

Музей-заповедник «Судакская крепость» (Судак). Подводная археология в Судакском регионе имеет свою богатую историю — уже с середины XX в. здесь, в Судакской бухте, проводились подводные археологические разведки и исследования. Какое-то время, с 2014 по 2017 год, в музее «Судакская крепость»



Рис. 38. Экспозиция с самолёта Великой Отечественной войны в музее в Феодосии (Из архива авторов)

Fig. 38. Exhibition featuring artifacts recovered from a World War II aircraft in the Museum of Underwater Archaeology, Feodosia (By authors)



Рис. 39. Музей-заповедник «Судакская крепость» (Из архива авторов)

Fig. 39. Sudak Fortress Museum-Reserve (By authors)

даже существовал отдел подводной археологии и проводилась ежегодная подводно-археологическая экспедиция. В 2021 году коллекция пополнилась подводными артефактами, переданными после реорганизации «Музея подводной археологии» в Феодосии.

Музей «Судакская крепость» периодически экспонирует подводные артефакты как в постоянных экспозициях, так и на временных выставках. Экспозиция размещается в разных помещениях музея-крепости, в том числе в цистернах, которые сооружались для хранения воды (см. рис. 39–41). В музее собрана целая коллекция с одного из самых известных кораблекрушений XIII в. — итальянского торгового судна, затонувшего в бухте посёлка Новый Свет после морского сражения.



Рис. 40, 41. Экспозиции по подводной археологии в залах музея «Судакская крепость» (Из архива авторов)

Fig. 40–41. Underwater archaeology exhibitions in the galleries of the Sudak Fortress Museum-Reserve (By authors)



Рис. 42. Предметы из коллекции поливной керамики с кораблекрушения XIII в. (Из архива авторов)

Fig. 42. Glazed ceramic vessels from the thirteenth-century shipwreck assemblage (By authors)

Особый интерес в этой коллекции занимает комплекс поливной глазурованной посуды, получивший широкую известность и ставший своего рода визитной карточкой памятника (см. рис. 42).

Можно перечислить ещё несколько музеев, в коллекциях которых есть подводные артефакты.

Музей-заповедник «Херсонес-Таврический» (Севастополь), в структуре которого существует отдел подводной археологии и функционирует ежегодная подводная экспедиция. Артефакты из-под воды экспонируются на временных выставках.

Восточно-Крымский музей-заповедник (Керчь), коллекция которого пополняется находками, в том числе поднятыми со дна Керченского пролива.

Музей-заповедник «Фанагория» (хутор Сенной Краснодарского края). Здесь проводится ежегодная археологическая экспедиция, в рамках которой существует подводный отряд. Коллекция музея пополняется многочисленными находками, полученными в том числе в ходе подводных исследований. Одной из самых известных находок является таран античного корабля царя Митридата VI Евпатора 63 г. до н.э.

Вероятно, можно было бы назвать и больше подобных музеев, в коллекциях которых есть находки, поднятые из-под воды. Однако авторы привели описание тех, в которых удалось побывать лично и с которыми они так или иначе были связаны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение стоит проанализировать региональные особенности коллекций музеев подводной археологии. Что касается музеев Средиземноморского, а также Причерноморского региона (если говорить про нашу страну), то львиную долю в их коллекциях занимает керамика: многочисленные амфоры, кувшины и сосуды самых разных типов. Во многом это объясняется тем, что в тёплых южных морях деревянные

корпуса старинных судов практически не сохраняются — дерево активно съедается моллюском-древоточцем (*teredo navalis*). В большей степени сохраняется лишь груз с этих кораблекрушений — в первую очередь амфоры. И здесь следует отдельно упомянуть об амфорах как о сложившемся символе подводной археологии [5, с. 8]. Само предназначение амфор — это использование в качестве транспортной тары при многочисленных перевозках в трюмах торговых судов. Амфора стала логотипом многих организаций, занимающихся подводной археологией. Керамика достаточно хорошо сохраняется и не нуждается в долговременной и дорогостоящей реставрации. Коллекции античных и средневековых амфор и другой керамики — самый распространённый контент в таких музеях. Зачастую амфоры для антуража даже экспонируют в морских обрастаниях.

Что касается находок на северо-западе, то холодные, слабосоленые и тёмные воды Балтийского моря, напротив, способствуют хорошей сохранности древесины. Именно на дне Балтики можно найти неплохо сохранившиеся деревянные корпуса различных судов. Поэтому символом подводной археологии здесь являются корабли XVII–XIX вв. Основу музейных коллекций составляют находки, поднятые с этих кораблекрушений, а также сами фрагменты корпусов, такелажа, рангоута.

Практически во всех музеях стараются передать антуражную атмосферу подводного погружения или же создать эффект присутствия на корабле. Экспозиции иллюстрируются подводными фотографиями и видеоматериалами процесса археологических работ под водой. Неизменным атрибутом любой такой экспозиции является наличие старого водолазного костюма со шлемом «трёхболтовкой», который из относительно недавно функционального снаряжения всё чаще становится музейным экспонатом.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование не имело спонсорской поддержки

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

FUNDING

The study was carried out without additional funding

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare that there is no conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Окорочков А. В. Организация подводных музеев, подводных исторических парков и заповедников как способа сохранения объектов подводного культурного наследия. М.: Институт Наследия, 2025. 34 с. DOI: <https://doi.org/10.34685/HI.2025.36.55.006>
2. Окорочков А. В., Бабекин Д. В. Подводное культурное наследие: изучение, сохранение, музеефикация. М.: Институт наследия, 2017. 308 с. ISBN 978-5-86443-219-8
3. Лукошков А. В. Подводные объекты историко-культурного наследия как источник пополнения музейных коллекций // Гидрокосмос. 2025. Т. 3, № 9–10. С. 48–66. DOI: <https://doi.org/10.26175/URC.2025.55.68.002>
4. Смирнов А. С., Фазлуллин С. М., Крипак С. В. Опыт вторичной консервации археологических предметов с места морского сражения 18 века на примере коллекции музея-заповедника «Выборгский замок» // Морские исследования и образование (MARESEDU-2021). Труды X Международной научно-практической конференции, Москва, 25–29 октября 2021 года. Том 3. Тверь: ПолиПРЕСС, 2021. С. 414–419
5. Вахонеев В. В. Морская археология : Учебник для вузов. Севастополь: СевГУ, 2020. 207 с.

REFERENCES

1. Okorokov A. V. *Organizaciya podvodny`x muzeev, podvodny`x istoricheskix parkov i zapovednikov kak sposoba soxraneniya ob`ektov podvodnogo kul`turnogo naslediya* [Organization of Underwater Museums, Underwater Historical Parks, and Reserves as a Way to Preserve Underwater Cultural Heritage Sites]. Moscow, Heritage Institute, 2025, 34 p. DOI: <https://doi.org/10.34685/HI.2025.36.55.006> (In Russ.)
2. Okorokov A. V., Babekin D. V. *Podvodnoe kul`turnoe nasledie: izuchenie, soxranenie, muzeifikaciya* [Underwater Cultural Heritage: Study, Preservation, Museumification]. Moscow, Heritage Institute, 2017, 308 p. (In Russ.)
3. Lukoshkov A. V. *Podvodny`e ob`ekty` istoriko-kul`turnogo naslediya kak istochnik popolneniya muzejny`x kolekcij* [Underwater Historical and Cultural Heritage Sites as a Source for Expanding Museum Collections]. *Gidrokosmos* [Hydrocosmos]. 2025, vol. 3, 1, no. 9–10, pp. 48–66. DOI: <https://doi.org/10.26175/URC.2025.55.68.002> (In Russ.)
4. Smirnov A. S., Fazlullin S. M., Kripak S. V. *Opy`t vtorichnoj konservacii arxeologicheskix predmetov s mesta morskogo srazheniya 18 veka na primere kolekcii muzeya-zapovednika "Vy`borgskij zamok"* [Experience of Secondary Conservation of Archaeological Objects From the Site of an 18th-century Naval Battle: the Example of the Collection of the Vyborg Castle Museum-Reserve]. *Morskie issledovaniya i obrazovanie* [Marine Research and Education]. *Trudy` X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Moskva, 25–29 oktyabrya 2021 goda* [Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference, Moscow, October 25–29, 2021]. Vol. 3. Tver, PoliPRESS, 2021, pp. 414–419. (In Russ.)
5. Vaxoneev V. V. *Morskaya arxeologiya* [Marine Archeology]. *Uchebnik dlya vuzov* [Textbook for Universities]. Sevastopol, Sevastopol State University Publ., 2020, 207 p. (In Russ.)

ВКЛАД АВТОРОВ

Горбунов П. А. — разработка концепции, методология, руководство исследованием.

Архангельский Е. Н. — проведение исследования, визуализация.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Gorbunov P. A. — conceptualization, methodology, supervision.

Arxangel'skij E. N. — investigation, visualization.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Горбунов Павел Андреевич, научный сотрудник АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А); e-mail: p.gorbunov@urc-rgs.ru

Архангельский Евгений Николаевич, водолаз-исследователь АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pavel Andreevich Gorbunov, Scientific Employee, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar'evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia); e-mail: p.gorbunov@urc-rgs.ru

Evgenij Nikolaevich Arxangel'skij, Research Diver, Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar'evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

Поступила в редакцию 05.03.2026
 Прошла рецензирование 14.05.2026
 Принята к публикации 01.06.2026

Received 05.03.2026
 Revised 14.05.2026
 Accepted 01.06.2026

АРХЕОЛОГИЯ | ARCHAEOLOGY

Оригинальная статья | Original paper

DOI: <https://doi.org/10.26175/URC.2026.17.72.004>

УДК 902.034



Парики с любекского судна «Архангел Рафаил»: результаты первичного исследования

Р. Ю. Прохоров¹ ✉, Э. В. Герц²

¹ АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества», г. Санкт-Петербург, Россия

² Школа-студия МХАТ, г. Москва, Россия

✉ romaprodive@rambler.ru

Аннотация

В 2020 году специалисты Центра подводных исследований Русского географического общества при изучении торгового судна XVIII века «Архангел Рафаил» (*Die Engel Rafail*) обнаружили два парика прекрасной сохранности. После очистки и первичной консервации находки были переданы на кафедру сценического костюма Школы-студии МХАТ для ремонта внутренней части, а также завивки и атрибуции. Исследование показало, что это аллонжевые мужские парики конца XVII — первой трети XVIII века из натурального человеческого волоса: шатен и рыжеватый (вероятно, окрашенный). Эти изделия были сшиты по индивидуальному заказу и сочетаются с найденным на «Архангеле Рафаиле» европейским кафтаном последней трети XVII века.

Ключевые слова

Архангел Рафаил, Финский залив, консервация, история костюма, мода барокко, аллонжевый парик

Для цитирования

Прохоров Р. Ю., Герц Э. В. Парики с любекского судна «Архангел Рафаил»: результаты первичного исследования. *Гидрокосмос*. 2026;4(1):64–71. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.17.72.004>

Wigs from the Lübeck Vessel *Archangel Raphael*: Results of a Preliminary Study

Roman Y. Proxorov¹ ✉, Emilia V. Gercz²

¹ ANO “Underwater Research Center of the Russian Geographical Society”, St. Petersburg, Russia

² Moscow Art Theatre School, Moscow, Russia

✉ romaprodive@rambler.ru

Abstract

In 2020, specialists from the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society discovered two exceptionally well-preserved wigs while investigating the eighteenth-century merchant vessel *Archangel Raphael* (*Die Engel Rafail*). Following cleaning and primary conservation, the artifacts were transferred to the Department of Stage Costume at the Moscow Art Theatre School–Studio for restoration of the internal structure, curling, and attribution. The study demonstrated that the finds are allonge wigs made of natural human hair, dating from the late seventeenth to the first third

of the eighteenth century. One wig is brown-haired, while the other is reddish in color, possibly dyed. The wigs were custom-made and are stylistically consistent with the European kaftan of the last third of the seventeenth century discovered aboard the *Archangel Raphael*.

Keywords

Archangel Raphael; Gulf of Finland; conservation; costume history; Baroque fashion; allonge wig

For citation

Proxorov R. Y., Gercz E. V. Wigs from the Lübeck Vessel *Archangel Raphael*: Results of a Preliminary Study. *Hydrocosmos*. 2026;4(1):64–71. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.17.72.004>

ВВЕДЕНИЕ

Подводная археология на территории Российской Федерации представляет собой ценнейший источник пополнения музейных коллекций предметами бытовой культуры прошлого, редко встречающимися в наземных археологических раскопах [1, с. 49]. Особенности водной среды в некоторых акваториях делают её уникальным естественным консервантом для материалов органического происхождения, что особенно важно в российском климате [2, с. 166]. К таким относится Финский залив, химический состав вод которого на протяжении нескольких столетий обеспечивает высокую сохранность органики: текстильных изделий, объектов из бумаги, шерстяных волокон и человеческого волоса [1, с. 50].

Среди наиболее значимых артефактов, обнаруженных в Балтийском море за годы его систематического исследования (с начала 2000-х годов), стоит отметить два мужских парика, поднятых в 2020 году с останков торгового судна «Архангел Рафаил» (*Die Engel Rafail*)¹. Подъём артефактов осуществлён специалистами Центра подводных исследований Русского географического общества (ЦПИ РГО). Артефакты представляют огромный интерес с точки зрения изучения истории материальной культуры и моды эпохи барокко, конца XVII — начала XVIII века.

Корпус затонувшего судна, длина которого составляет около 30 м, был впервые обнаружен в 2002 году в ходе гидроакустического исследования в проливе Бьёркезунд. В кормовой части судна были выявлены

целые и фрагментированные керамические изделия (посуда), позволившие предварительно датировать объект в пределах XVII–XVIII вв. Последующий анализ архивных документов Российского государственного архива Военно-Морского Флота дал основания идентифицировать объект как торговое судно «Архангел Рафаил» (*Die Engel Rafail*) из Любека, принадлежавшее купцу Герману Мейеру и затонувшее в проливе Бьёркезунд осенью 1724 года [3, с. 80–81]. Археологические раскопки на данном объекте были начаты в 2014 году и продолжались до 2020 года включительно². В указанный период с судна была поднята коллекция археологических находок, включающая предметы, использовавшиеся командой корабля (личные вещи, кухонная утварь, инструменты, элементы такелажа), а также бочки с зерном, салом, дёгтем и прочее [4, с. 70–72]. В полевом сезоне 2020 года в числе прочих артефактов с «Архангела Рафаила» были извлечены два парика.

Долговременной задачей исследования этих находок является их максимально точная атрибуция. Решение этой задачи сопряжено с рядом трудностей, обусловленных невозможностью однозначно установить принадлежность париков конкретным членам экипажа судна и историю «наземного» бытования этих предметов. Цель данной статьи — ввести в научный оборот информацию об указанных артефактах и представить результаты их первичной атрибуции. При этом авторы планируют подготовку последующих публикаций, содержащих более развёрнутые результаты комплексного изучения париков.

¹ Входит в «Перечень выявленных объектов культурного наследия Ленинградской области» (Акт № 53/Д от 14.04.2003) <https://kskn.lenobl.ru/ru/dokumenty/perechni-vyyavlennyh-obektov-arheologicheskogo-naslediya/>

² Прохоров Р. Ю. Отчёт об охранных археологических работах (раскопках) на ОАН «Архангел Рафаил» (пролив Бьёркезунд Балтийского моря) в 2018 году. Москва: 2019; Прохоров Р. Ю. Отчёт об охранных археологических работах (раскопках) на ОАН «Архангел Рафаил» (пролив Бьёркезунд Балтийского моря) в 2020 году. Москва, 2021.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом исследования послужили два мужских парика, обнаруженные в ходе подводных археологических работ на судне «Архангел Рафаил». Находки были извлечены из кормовой части судна, предположительно соответствовавшей расположению каюты шкипера (капитана).

Непосредственно после подъёма артефакты не были идентифицированы как парики ввиду визуального сходства с комками свалывшейся козьей шерсти — материала, обнаруженного среди груза судна в значительных объёмах (см. рис. 1, 2, 3).

Очистка артефактов проводилась в два этапа в мастерских ЦПИ РГО. На первом этапе осуществлялась промывка в растворах изопропилового спирта (для удаления дёгтя и сала) и воды с последующей финальной промывкой мягким моющим средством для волос. На втором этапе выполнялась ручная выборка (экстракция) зёрен и мелких куриных перьев (см. рис. 4). Последний факт позволил утверждать, что на судне содержали кур как источник мяса и яиц для пропитания команды. В процессе расчистки внутри одного из париков было также обнаружено гусиное перо, идентифицированное как писчее (см. рис. 5). Прекрасная сохранность органического материала объясняется покрытием



Рис. 1. Козья шерсть после очистки
(Из архива ЦПИ РГО)

Fig. 1. Goat hair after cleaning (From the archives of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)



Рис. 2. Парик № 1 до расчистки
(Из архива ЦПИ РГО)

Fig. 2. Wig No. 1 before cleaning (From the archives of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)



Рис. 3. Парик № 2 до расчистки
(Из архива ЦПИ РГО)

Fig. 3. Wig No. 2 before cleaning (From the archives of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)



Рис. 4. Куриные перья в парике
(Из архива ЦПИ РГО)

Fig. 4. Chicken feathers found in a wig (From the archives of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)



Рис. 5. Гусиное писчее перо, найденное в одном из париков (Из архива ЦПИ РГО)

Fig. 5. A goose quill pen discovered in one of the wigs (From the archives of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)

артефактов плотным слоем ила, что создало условия бескислородной среды и предотвратило разрушение под действием аэробных микроорганизмов.

После завершения очистки парики были переданы в Школу-студию МХАТ для реставрации и восстановления исторического облика. Работы включали:

- ремонт внутренней основы (монтажа);
- завивку волос с использованием неэлектрических щипцов, нагреваемых в специализированной печи;
- предварительную фиксацию локонов льняным маслом перед накручиванием.

Указанные работы выполнены одним из авторов настоящей статьи — преподавателем Школы-студии МХАТ, доцентом Э. В. Герц (см. рис. 6).



Рис. 6. Завивка париков (Из архива авторов)

Fig. 6. Curling the wigs (From the authors' archives)

Первичная атрибуция находок проведена тем же специалистом на основе копий иллюстративных планшетов из «Энциклопедии, или Толкового словаря наук, искусств и ремёсел» Дидро и Д'Аламбера³.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Работа по атрибуции позволила идентифицировать оба артефакта как мужские **аллонжевые парики** (от фр. *allonge*, «удлинённый»). В Россию данный тип париков проник в результате реформ Петра I [5, с. 138]: ко времени крушения «Архангела Рафаила» (1724 г.) подобные парики уже были распространены в среде русского дворянства и отчасти среди городского населения.

В истории развития костюма волосам традиционно придавалось символическое значение: их скрывали или, напротив, демонстрировали, запрещали к прикосновению или выставляли напоказ. Причёски служили маркерами социального статуса, что объясняет пристальное внимание к парикам в европейской культуре XVII–XVIII вв. Обязательное ношение мужских париков при французском дворе (а впоследствии и в публичном пространстве) связано с ранним облысением короля Людовика XIV (1643–1715) [6, с. 40].

В XVIII веке парики превратились в один из наиболее востребованных товаров в Европе.

³ Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers, par une Société de gens de lettres. T. 12. Книжные памятники [Эл. ресурс]. URL: <https://kp.rusneb.ru/item/material/encyclopedie-ou-dictionnaire-raisonne-des-sciences-des-arts-et-des-metiers-par-une-societe-de-gens-de-lettres-t-12> (посл. посещение: 10.05.2026).

Они стали маркером «респектабельности»: парик указывал на принадлежность владельца к «приличному обществу» и его способность следовать модным нормам. Помимо символической функции, ношение парика освобождало мужчину от ежедневного ухода за собственными волосами [7, с. 111]. Форма и цвет парика были жёстко регламентированы: каждому социальному классу и роду занятий предписывался определённый тип парика [8, с. 137].

Анализ конструкции позволяет утверждать, что некоторые технологические приёмы, использованные при создании париков, известны с глубокой древности. Монтюр (шапочка-основа) сплетён методом, который в современной терминологии называется «спрэнг» (от англ. *sprang*, «растяжимый, упругий»). Это техника трикотажного плетения без сложных приспособлений [9, с. 48]. Плетение льняной нитью подобным способом засвидетельствовано уже в Древнем Египте [10, с. 51–81]. Таким же методом выполнен, например, женский волосник (головной убор) царицы Марии Темрюковны (1561–1569 гг.), обнаруженный при раскопках Вознесенского монастыря Московского Кремля [11, с. 163].

По всей площади основы пришит **тресс** (от фр. *la tresse*, «коса, плетение») — прядь волос, вручную прошитая спиралевидным швом, представляющая собой волосяную бахрому. Этот метод изготовления и пришивания тресса используется в постижёрном деле и по сей день. Ряды тресса располагаются на расстоянии 1–1,5 см друг от друга, доходя до макушки парика (см. рис. 7). Монтюр укреплен плотной льняной лентой, которая фиксирует сложную форму шапочки и предотвращает растяжение в процессе ношения.

Завершающим этапом изготовления париков в конце XVII века являлась стрижка и завивка горячими щипцами. Перед завивкой пряди смазывались составом, обеспечивающим сохранность причёски. Согласно литературным источникам, такой состав мог включать свиной жир, льняное или репейное масло [6, с. 136].

При примерно одинаковой длине парики различаются по форме и цвету. Один из них окрашен в рыжеватый цвет, другой — шатен. Волосяной тресс в обоих случаях пришивался уже окрашенным к неокрашенному монтюру (на что указывает естественный льняной цвет сантурной ленты, укрепляющей край).

Рыжий парик имеет прямой пробор, сшитый тамбурным постижёрским крючком тонкой прядью из нескольких волосков. Эта техника позволяет имитировать естественный рост волос и определяет характер причёски: прямой пробор и два **тупея** (два объёмных возвышения в причёске, начёса) (см. рис. 8).



Рис. 7. Монтюр рыжего парика

(Из архива авторов)

Fig. 7. Wig foundation (monture) of the reddish wig
(From the authors' archives)



Рис. 8. Фрагмент рыжего парика

(Из архива ЦПИ РГО)

Fig. 8. Fragment of the reddish wig after curling
(From the archives of the Underwater Research
Center of the Russian Geographical Society)



Рис. 9. Парик-шатен после завивки
(Из архива авторов)

Fig. 9. Brown-haired wig after curling (From the archives of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)



Рис. 10. Кафтан с «Архангела Рафаила»
(Из архива Государственного Эрмитажа)

Fig. 10. Kaftan from the Archangel Raphael (From the archives of the State Hermitage Museum)

Второй парик (шатен) пробора не имеет. На его теменной части расположен один возвышающийся тупей. Кроме того, в тёмном парике, вероятно, использовались волосы нескольких доноров, поскольку примерно треть объёма локонов отличается по цвету от остальных (см. рис. 9).

Оба парика свидетельствуют о состоятельности владельца и его принадлежности к аристократическому или, по меньшей мере, зажиточному слою. Основания для этого вывода: тонкое шитьё основы и использование натурального человеческого волоса. Согласно историческим источникам, лучшие мужские парики того периода изготавливались из мягких и длинных женских волос, нередко использовались волосы казнённых преступников. Более дешёвые парики для среднего класса, чиновников и офицеров

делались из шерсти овец, коз, конского волоса или растительных волокон [6, с. 138].

Длина волос и объём причёски позволяют предположить, что найденные парики предназначались для повседневного использования, а не для парадных событий. Качество их изготовления также может свидетельствовать, что они были сшиты на индивидуальный заказ и, вероятно, носились в комплекте с европейским кафтаном XVII–XVIII веков, обнаруженным на том же судне (собрание Государственного Эрмитажа, ЭРТ-21435) (см. рис. 10).

В настоящее время невозможно установить, были ли парики изготовлены специально для последнего владельца или приобретены им на вторичном рынке. Более точная атрибуция времени их создания

могла бы прояснить этот вопрос. Согласно анализу списка команды судна [1, с. 86], можно высказать гипотезу, что парики принадлежали шкиперу Яну Шмиту, поскольку именно ему приходилось появляться в официальных учреждениях европейских портов,

где подобный атрибут внешнего вида был обязателен.

На данный момент парики находятся в коллекции ЦПИ РГО, и работа по их исследованию продолжается.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование не имело спонсорской поддержки

FUNDING

The study was carried out without additional funding

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare that there is no conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукошков А. В. Подводные объекты историко-культурного наследия как источник пополнения музейных коллекций // Гидрокосмос. 2025. Т. 3, 1. № 9–10. С. 48–66. DOI: <https://doi.org/10.26175/URC.2025.55.68.002>
2. Хуторянский В. А., Бердникова Н. Е., Бердников И. М. Способ временной обратимой консервации артефактов из органических материалов // Известия иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология. Антропология. 2012. № 1(1). С. 166–177.
3. Лукошков А. В., Прохоров Р. Ю. Изучение германского торгового судна «Архангел Рафаил» (1724 г.) // Гидрокосмос. 2023. Т. 1, 1. № 1–2. С. 79–101.
4. Реестр кораблей и других объектов подводного историко-культурного наследия Российской Федерации. Т. 1: Финский залив. Кн. 1: Корабли и суда XVIII века (Ч. 1). СПб.: БЛИЦ, 2017. 208 с. ISBN: 978-5-86789-455-9
5. Сыромятникова И. С. История причёски: Учебник для театральных художественно-технических училищ. М.: Искусство, 1983. 230 с.
6. Мерцалова М. Н. Костюм разных времён и народов. М.: Академия моды; СПб.: Чарт Пилот, 2001. Т. 2. 432 с. ISBN: 5-94317-002-27
7. Kwass M. Big Hair: A Wig History of Consumption in Eighteenth-Century France. The American Historical Review. 2006, vol. 111, issue 3, pp. 631–659. DOI: <https://doi.org/10.1086/ahr.111.3.631>
8. Градова К. В. Театральный костюм. Кн. 2: Мужской костюм. М.: Союз театр. деятелей РСФСР, 1987. 349 с. ISBN: 5-9571026-7-9
9. Hildegard G.-W. Sprang Eine Alte Textile Sprang Neu Entdeckt. Stuttgart, Frech, 1974, 48 p. ISBN: 3772409431
10. Орфинская О. В., Павлова Н. А. Текстильные технологии Египта: техника спрэнг // Египет и сопредельные страны. 2023. Вып. 3. С. 46–83. DOI: <https://doi.org/10.24412/2686-9276-2023-00011>
11. Ёлкина И. И. Средневековые женские головные уборы — волосники из археологических раскопок Москвы // Материалы научной конференции «Николай Николаевич Соболев — учёный, художник, педагог». М., 2020. С. 162–171.

REFERENCES

1. Lukoshkov A. V. *Podvodny`e ob`ekty` istoriko-kul`turnogo naslediya kak istochnik popolneniya muzejny`x kolekcij* [Underwater Objects of Historical and Cultural Heritage as a Source of Replenishment of Museum Collections]. *Gidrokosmos* [Hydrocosmos]. 2025, vol. 3, 1, no. 9–10. pp. 48–66. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.26175/URC.2025.55.68.002>
2. Xutoryanskij V. A., Berdnikova N. E., Berdnikov I. M. *Sposob vremennoj obratimoy konservacii artefaktov iz organicheskix materialov* [Time-Reversible Technique for the Conservation of Artifacts Made from Organic Materials]. *Izvestiya irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geoarxeologiya. E`tnologiya. Antropologiya* [Bulletin of Irkutsk State University. Series: Geoarchaeology. Ethnology. Anthropology]. 2012, no. 1(1), pp. 166–177. (In Russ.)

3. Lukoshkov A. V., Proxorov R. Yu. *Izuchenie germanskogo trgovogo sudna "Arxangel Rafail" (1724 g.)* [Study of the German Merchant Ship "Archangel Raphael" (1724)] *Hydrocosmos*, vol. 1, 1, no. 1–2, 2023, pp. 79–101. (In Russ.)
4. *Reestr korablei i drugix ob`ektov podvodnogo istoriko-kul`turnogo naslediya Rossijskoj Federacii. T. 1: Finskiy zaliv. Kn. 1: Korabli i suda XVIII veka (Ch. 1)* [Register of Ships and Other Underwater Historical and Cultural Heritage Sites of the Russian Federation. Vol. 1: Gulf of Finland. Book 1: Ships and Vessels of the 18th Century (Part 1)]. St. Petersburg, BLITZ, 2017, 208 p. (In Russ.) ISBN: 978-5-86789-455-9
5. Syromyatnikova I. S. *Istoriya prichyoski. Uchebnik dlya teatral'ny'x xudozhestvenno-texnicheskix uchilishh* [History of Hairstyle. Textbook for Theatrical Art and Technical Schools]. Moscow, Iskuststvo Publ., 1983, 230 p. (In Russ.)
6. Merczalova M. N. *Kostyum razny'x vremyon i narodov* [Costume of Different Times and Peoples]. Moscow, Academy of Fashion Publ., St. Petersburg, Chart Pilot Publ., 2001, vol. 2, 432 p. (In Russ.) ISBN: 5-94317-002-2
7. Kwass M. Big Hair: A Wig History of Consumption in Eighteenth-Century France. *The American Historical Review*. 2006, vol. 111, issue 3, pp. 631–659. DOI: <https://doi.org/10.1086/ahr.111.3.631>
8. Gradova K. V. *Teatral'ny'j kostyum. Kn. 2: Muzhskoj kostyum* [Theatrical Costume. Book 2: Men's Costume]. Moscow, Soyuz teatr. deyatelej RSFSR, 1987, 349 p. (In Russ.) ISBN: 5-9571026-7-9
9. Hildegard G.-W. Sprang Eine Alte Textile Sprang Neu Entdeckt. Stuttgart, Frech, 1974, 48 p. (In Germ.) ISBN: 3772409431
10. Orfinskaya O. V., Pavlova N. A. *Tekstil'ny'e texnologii Egipta: texnika spre`ng* [Textile Technologies of Egypt: Sprang Technique]. *Egipet i sopredel'ny'e strany* [Egypt and Adjacent Countries]. 2023, issue 3, pp. 46–83. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.24412/2686-9276-2023-00011>
11. Yolkina I. I. *Srednevekovy'e zhenskie golovny'e ubory` — volosniki iz arxeologicheskix raskopok Moskvy`* [Medieval Women's Headdresses — Volosniks from Moscow Archaeological Excavations]. *Materialy` nauchnoj konferencii "Nikolaj Nikolaevich Sobolev — uchyony`j, xudozhnik, pedagog"* [Proceedings of the Scientific Conference "Nikolai Nikolaevich Sobolev — scientist, artist, teacher"]. Moscow, 2020, pp. 162–171. (In Russ.)

ВКЛАД АВТОРОВ

Прохоров Р. Ю. — идея и концепция исследования, сбор и обработка данных, доработка черновика статьи, утверждение финальной версии статьи.

Герц Э. В. — проведение исследования, сбор и обработка данных, составление черно-вика статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Proxorov R. Y. — conceptualization, investigation, writing — review & editing.

Gercz E. V. — investigation, draft, resources.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Прохоров Роман Юрьевич, археолог, реставратор 1-й категории, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, Захарьевская ул., д. 3, лит. А); e-mail: romaprodiv@rambler.ru

Герц Эмилия Владимировна, художник-технолог по сценическому костюму, доцент кафедры сценического костюма Школы-студии МХАТ (Россия, 125009, г. Москва, Тверская ул., д. 6, стр. 7); e-mail: megalord93@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Roman Yur'evich Proxorov, Archaeologist, Senior Art Conservator, Autonomous Non-Profit Organization Underwater Research Center of the Russian Geographical Society (ul. Zaxar'evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia); e-mail: romaprodiv@rambler.ru

Emilia Vladimirovna Gercz, Costume Designer and Technologist, Associate Professor of the Costume Department at the Moscow Art Theatre School (ul. Tverskaya, d. 6, building 7, Moscow, 125009, Russia); e-mail: megalord93@mail.ru

Поступила в редакцию 21.04.2026
 Прошла рецензирование 11.06.2026
 Принята к публикации 15.06.2026

Received 21.04.2026
 Revised 11.06.2026
 Accepted 15.06.2026

АРХЕОЛОГИЯ | ARCHAEOLOGY

Оригинальная статья | Original paper

DOI: <https://doi.org/10.26175/URC.2026.46.43.005>

УДК 902.2:550.83+551.46



Зарубежный опыт применения донной электротомографии в подводной археологии

А. А. Букатов¹ , В. В. Вахонеев^{1,2} , В. В. Глазунов¹ , Е. Е. Задорожный-Ремарчук¹¹ ФГБУК «Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический», г. Севастополь, Россия² ФГБУН «Институт истории материальной культуры РАН», г. Санкт-Петербург, Россия abukatov@chersonesos-sev.ru

Аннотация

Применение в подводной археологии геофизического метода донной электротомографии (Underwater Electrical Resistivity Tomography, ДЭТ) за последние полтора десятилетия превратилось из экспериментального подхода в перспективный неразрушающий метод исследования археологических объектов, расположенных в прибрежной мелководной зоне. Особая ценность метода проявляется в условиях, где эффективность гидроакустических методов ограничена в связи с малой глубиной, сложным рельефом дна, изрезанными очертаниями береговой линии и донными отложениями. В статье рассматриваются физические основы метода, особенности его применения в морской и пресноводной среде, а также влияние конфигурации систем электротомографических наблюдений и их размещения на поверхности воды или дне. В данной статье анализируются результаты применения указанной методики на частично затопленных археологических памятниках, а также лабораторное и теоретическое развитие метода исследователями из Италии, Греции и Австралии. Помимо этого, представлены некоторые результаты отечественных работ с применением ДЭТ в акватории музея-заповедника «Херсонес Таврический». В ходе исследований в Карантинной бухте Херсонеса методом ДЭТ были выявлены геоэлектрические аномалии, связанные с остатками затопленных стен и причальных сооружений портового района древнего города. Исследования показали, что применение донной электротомографии для задач подводной археологии наиболее эффективно при картировании находящихся на мелководье затопленных строительных остатков, локализации кораблекрушений и уточнении стратиграфии донных отложений. Выделены наиболее перспективные для нужд подводной археологии конфигурации установок. Делается вывод, что донную электротомографию следует рассматривать как важный компонент комплексных геофизических исследований прибрежных археологических памятников.

Ключевые слова

подводная археология, морская геофизика, донная электротомография, мелководье, прибрежные памятники, затопленные поселения, кораблекрушения

Для цитирования

Букатов А. А., Вахонеев В. В., Глазунов В. В., Задорожный-Ремарчук Е. Е. Зарубежный опыт применения донной электротомографии в подводной археологии. *Гидрокосмос*. 2026;4(1):72–86. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.46.43.005>

Applications of Underwater Electrical Resistivity Tomography in Underwater Archaeology: International Experience

Andrej A. Bukatov¹  , Viktor V. Vakhoneev^{1,2} ,
Vladimir V. Glazunov¹ , Evgenij E. Zadorozhnyi-Remarchuk¹

¹ The State Museum-Preserve "Tauric Chersonese", Sevastopol, Russia

² Institute for the History of Material Culture of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

 abukatov@chersonesos-sev.ru

Abstract

Over the past fifteen years, the application of the geophysical method of Underwater Electrical Resistivity Tomography (UERT) in underwater archaeology has evolved from an experimental approach into a promising non-invasive technique for investigating archaeological sites located in shallow coastal waters. The method is particularly valuable in environments where the effectiveness of hydroacoustic techniques is limited due to shallow depths, complex seabed topography, irregular coastlines, and bottom sediments.

This article examines the physical principles of the method and the specifics of its application in marine and freshwater environments, as well as the influence of electrode array configurations and their placement either on the water surface or directly on the seabed. The paper analyzes the results of applying this technique to partially submerged archaeological sites, along with the laboratory and theoretical development of the method by researchers in Italy, Greece, and Australia. In addition, several results of Russian studies employing UERT in the waters of the Tauric Chersonese Museum-Preserve are presented.

During investigations in Karantinnaya Bay, Chersonese, UERT revealed geoelectrical anomalies associated with the remains of submerged walls and harbor structures belonging to the ancient city's port district. The studies demonstrated that underwater electrical resistivity tomography is most effective in underwater archaeology for mapping submerged architectural remains in shallow waters, locating shipwrecks, and refining the stratigraphy of bottom sediments. The most promising survey array configurations for underwater archaeological applications are identified. It is concluded that underwater electrical resistivity tomography should be regarded as an important component of integrated geophysical investigations of coastal archaeological sites.

Keywords

underwater archaeology, marine geophysics, underwater electrical resistivity tomography, shallow waters, coastal archaeological sites, submerged settlements, shipwrecks

For citation

Bukatov A. A., Vakhoneev V. V., Glazunov V. V., Zadorozhnyi-Remarchuk E. E. Applications of Underwater Electrical Resistivity Tomography in Underwater Archaeology: International Experience. *Hydrocosmos*. 2026;4(1):72–86. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.46.43.005>

ВВЕДЕНИЕ

Современная подводная археология всё в большей степени опирается на неразрушающие методы исследования, поскольку традиционные методы подводных археологических работ остаются дорогостоящими, длительными и ограниченными по площади. Особенно это относится к прибрежным мелководным зонам, где сосредоточено значительное количество

затопленных поселений, портовых сооружений, береговой инфраструктуры и кораблекрушений. При этом на таких участках применение классических гидроакустических методов нередко сопряжено с различными трудностями. В этой ситуации электротомография приобретает особую значимость как метод, способный выявлять изменения удельного электрического сопротивления, обусловленные скрытыми в придонных отложениях остатками древних построек.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Метод электротомографии основан на изучении характера распространения импульсов электрического тока в морских отложениях. Электрическое поле создаётся генератором и наблюдается с помощью большого количества электродов, размещённых на дне. В результате компьютерной обработки данных измерений электрического поля синтезируются геоэлектрические карты и разрезы, характеризующие распределение удельного электрического сопротивления в разрезе или объёме изучаемого подводного пространства. Полученные карты отражают местоположение скрытых археологических объектов. Применение этого метода в морских условиях усложняется за счёт наличия высокопроводящего водного слоя, который существенно влияет на движение тока и на чувствительность измерений к объектам, залегающим в осадках ниже дна.

Главная особенность морской электротомографии состоит в том, что морская вода, обладая высокой проводимостью, частично «шунтирует» ток, тем самым снижая глубину эффективного исследования и контраст аномалий от археологических объектов. Поэтому качество интерпретации напрямую зависит от корректного учёта толщины и сопротивления водного слоя. Информация об электрической проводимости воды и данные батиметрии помогают локализовать эффекты от археологических объектов, но при введении ошибочных данных этих параметров возможно получение искажённых геоэлектрических моделей структуры поддонных отложений. Именно поэтому методика подводных электротомографических исследований требует комплексирования с батиметрической съёмкой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для подводной археологии принципиально важен выбор режима размещения электродов. Международная практика различает две базовые схемы: электроды могут располагаться на поверхности воды или же непосредственно на дне. Каждая из этих схем, в свою очередь, может реализовываться в статическом варианте, когда кабель фиксируется на профиле, и в динамическом, когда он перемещается вдоль профиля за лодкой или плавучей платформой. Греческий исследователь Н. Пападопулос подчёркивает, что выбор между надводным и донным режимами

зависит от толщины водного слоя, свойств цели и характера рельефа дна. При этом для изолированных археологических структур на мелководье предпочтительнее донные конфигурации, лучше учитывающие влияние проводящего водного слоя [1, с. 106–107].

Одним из первых систематических исследований, посвящённых применению электротомографии в мелководной морской среде, стала работа греческого исследователя К. Симирданиса с соавторами [2, с. 603–604]. В ней были проведены численные эксперименты, моделирующие археологический объект в виде каменной стены, погребённой в донных отложениях. Модель включала водный слой с высокой проводимостью ($\rho \approx 0,2 \text{ } \Omega \cdot \text{м}$), фоновый осадочный слой ($\rho \approx 10 \text{ } \Omega \cdot \text{м}$) и высокоомную цель, соответствующую каменной кладке ($\rho \approx 500 \text{ } \Omega \cdot \text{м}$). Авторы сравнили результаты томографии для различных конфигураций электродов и режимов их размещения как на поверхности воды, так и непосредственно на морском дне.

Показано, что в условиях водного слоя более 1 м конфигурации электродов, расположенные на поверхности воды, могут приводить к искажению геометрии аномалии из-за сильного влияния проводящей морской воды. В таких случаях донное размещение электродов позволяет более корректно реконструировать форму погребённых объектов. Одновременно отмечено, что результат существенно зависит и от выбора измерительных установок, которые обеспечивают получение корректной информации о структуре донных отложений. Важным выводом проведённых экспериментальных исследований является то, что корректное задание параметров водного слоя (его толщины и удельного сопротивления) является критически важным условием надёжной инверсии электротомографических данных.

Дальнейшее развитие этих исследований было связано с переходом к трёхмерной электротомографии в археологических условиях. В последующих работах было показано, что различные конфигурации измерительных установок обладают различной чувствительностью и разрешающей способностью при картировании подводных объектов. При этом точность реконструкции существенно зависит от корректного учёта параметров водной среды и геометрии профилей наблюдений. Таким образом, применение подводной электротомографии не предполагает

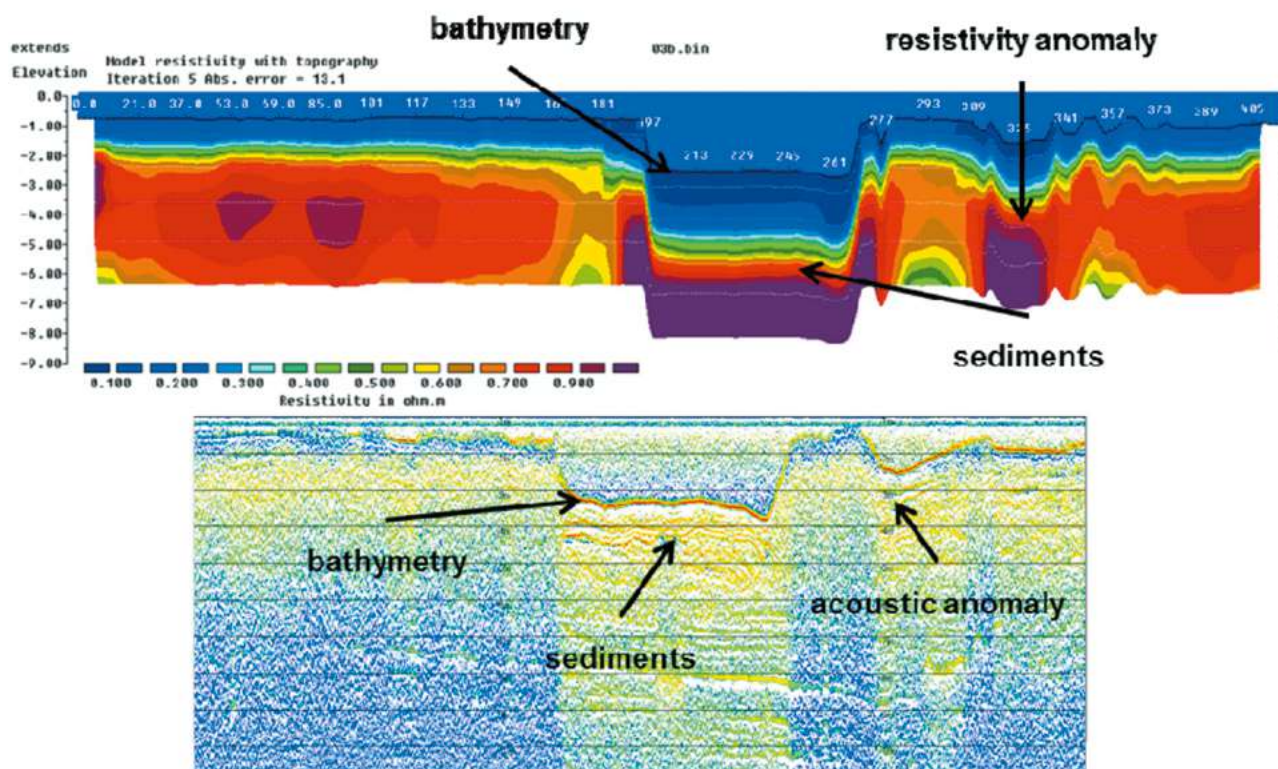


Рис. 1. Нора. Сравнение удельного сопротивления и акустических разрезов (по Ranieri et al., 2010)
Fig. 1. Nora. Comparison of electrical resistivity and acoustic sections (after Ranieri et al., 2010)

универсальной схемы съёмки. Оптимальная конфигурация электродов определяется конкретными условиями акватории и типом исследуемого археологического памятника [1, с. 109–110]. Данные моделирования продемонстрировали, что различные конфигурации измерительных установок обладают разной устойчивостью к помехам, а точность оценки сопротивления и толщины воды остаётся ключевым условием надёжной информации.

В международной практике подводной геофизики в последнее десятилетие появился ряд проектов, показывающих применимость донной электротомографии в археологии прибрежных зон. Наиболее показательные примеры связаны с прибрежными городами Средиземноморья, затопленными поселениями эпохи бронзы в Греции и картированием затонувших судов в Австралии и Италии. При этом именно на мелководье, где глубина воды измеряется метрами, а не десятками метров, ДЭТ способна дать ту информацию о погребённых в донный грунт археологических объектах, которую трудно получить с помощью гидроакустики либо визуальной подводной съёмки.

Одними из первых значимых опытов археологического применения ДЭТ в морской среде стали итальянские исследования прибрежного участка древнего города Нора в Сардинии [3] и Мотии на Сицилии [4]. В Норе использовалась схема наблюдений с электродами, расположенными на поверхности воды. Сопоставление электротомографических и акустических профилей показало хорошее соответствие аномалий известным подводным структурам (см. рис. 1). В Мотии была показана результативность донной схемы размещения электродов при картировании известных археологических объектов (см. рис. 2).

Важным этапом развития археологического применения метода стала работа С. Пассаро в Агрополи, где морская электротомография использовалась для поиска погребённого под песком судна [5]. Исследование показало, что объект выделяется очень низкими значениями сопротивления порядка 2–5 $\Omega \cdot \text{м}$ на фоне песка и коренных пород со значениями порядка 5–40 $\Omega \cdot \text{м}$ (см. рис. 3). По данным ДЭТ, сопоставленным с магнитной съёмкой и цифровой моделью рельефа дна, судно прослежено более чем на 30 м в длину при ширине около 13 м.

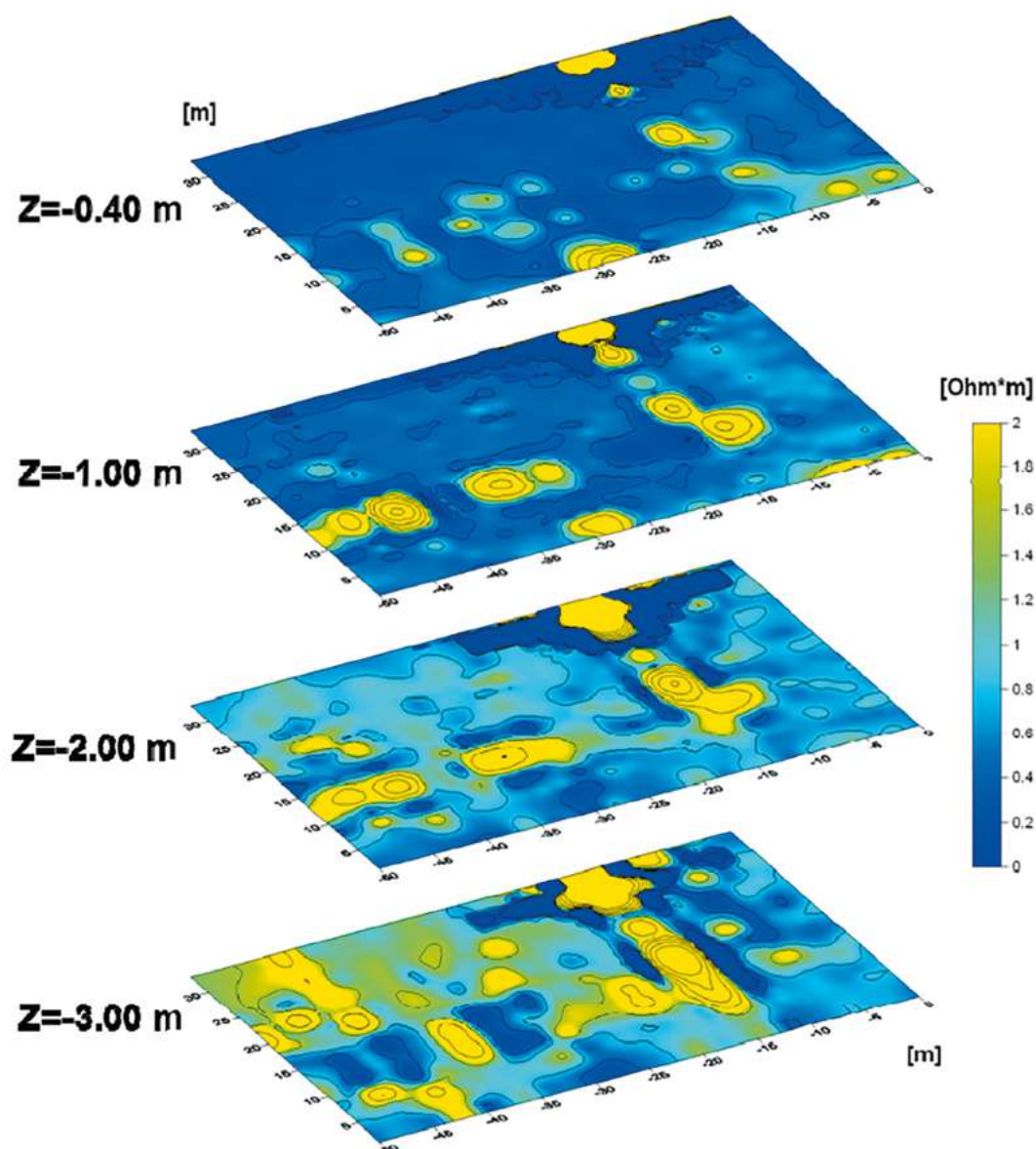


Рис. 2. Мотия. Результаты ДЭТ, полученные с помощью закреплённых на морском дне электродов (по Loddo et al., 2016)

Fig. 2. Motya. UERT results obtained using electrodes fixed to the seabed (after Loddo et al., 2016)

Магнитная аномалия амплитудой около 1800 нТл подтвердила интерпретацию. Важнейший вывод этой работы состоял в том, что электротомография особенно полезна именно на мелководье с песчаным дном.

Следующий этап связан с греческими проектами, где ДЭТ перестала быть единичным «поисковым» экспериментом и превратилась в основу пространственного анализа затопленного археологического памятника со строительными остатками. Наиболее показателен пример затопленного древнего города Олус на северо-востоке Крита,

в 70 км от Ираклиона [1]. Здесь была обследована акватория площадью 7100 кв. м с помощью 178 плотно расположенных профилей ДЭТ общей длиной 8,3 км и более чем 181 тыс. измерений сопротивления (см. рис. 4). Для донного режима наблюдений использовался 48-электродный кабель с шагом 1 м, а для съёмки с поверхности воды — 13-электродная конфигурация. Важнейшим условием успеха стала детальная RTK-GNSS (Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System) батиметрия и учёт сопротивления морской воды, измеренного как 0,18 Ом. В результате удалось не только уточнить положение видимых стен,

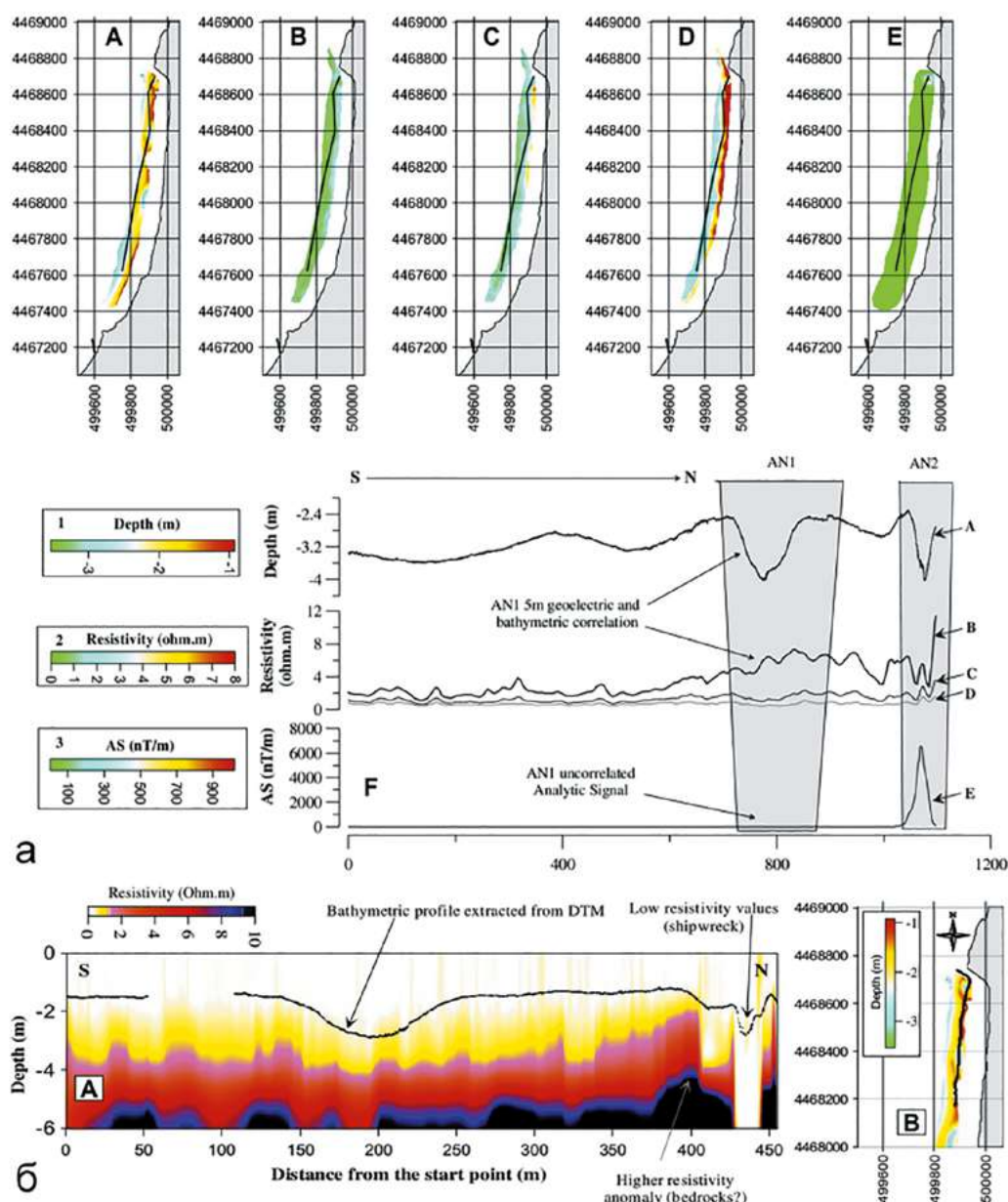


Рис. 3. Агрополи: а — сравнение профилей ДЭТ на расстояниях 3, 4 и 5 м, а также из аналитического сигнала; б — корреляция между инвертированным профилем L8_N и соответствующим батиметрическим профилем, полученным из ДЭТ (по Passaro, 2010)

Fig. 3. Agropoli: (a) comparison of UERT profiles acquired at distances of 3, 4, and 5 m, together with the analytical signal; (b) correlation between the inverted L8_N profile and the corresponding bathymetric profile derived from UERT data (after Passaro, 2010)

но и картировать погребённые под осадками строительные остатки, дороги и участки культурного слоя [6; 7].

Работы на Олусе особенно важны тем, что позволили увидеть реальные ограничения метода. Оказалось, что выигрыш по времени при использовании акваториального режима съёмки сопровождается потерей надёжности интерпретации. Это один из самых

убедительных опубликованных аргументов в пользу донной съёмки на памятниках со сложной архитектурой.

Ещё один важный греческий пример — залив Килада, где ДЭТ использовалась не просто для картирования стен, а как часть комплексного поиска неолитических памятников у Франхти [8]. В секторе Франхти была выполнена донная 3D-съёмка

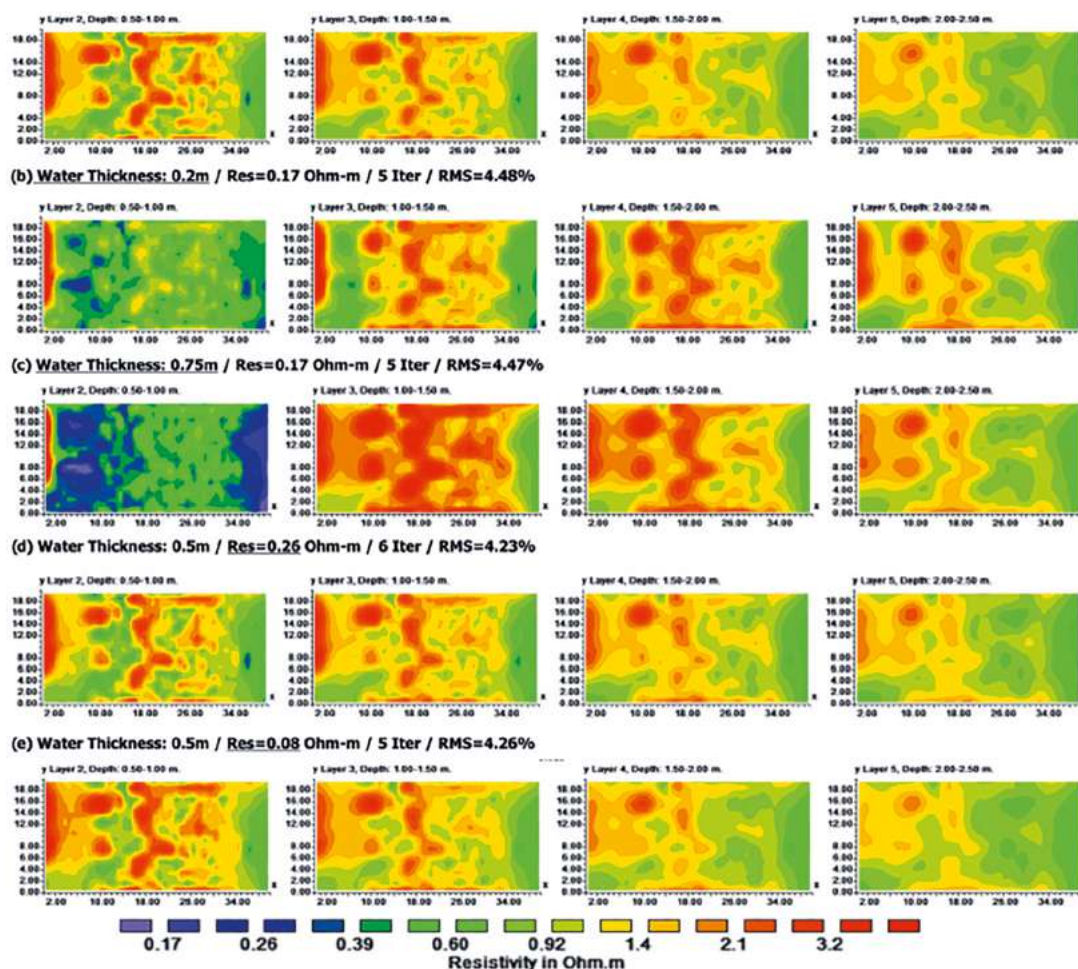


Рис. 4. Разрезы, извлечённые из трёхмерной модели инверсии удельного сопротивления плавающих томографических данных ДЭТ из сетки археологических раскопок в Олусе (по Papadopoulos et al., 2022)
Fig. 4. Sections extracted from the three-dimensional inversion model of floating-array UERT data from the archaeological survey grid at Olous (after Papadopoulos et al., 2022)

на площади 3055 кв. м по 66 параллельным линиям с 48 электродами на каждой и межлинейным расстоянием 1 м. Была выбрана установка dipole-dipole с комбинациями шага между электродами от 1 до 5 м. Из 78 144 первичных измерений после фильтрации было сохранено свыше 94 %. Полученные глубинные срезы выявили линейные и прямоугольные высокоомные формы, интерпретированные как остатки стен и структур, связанные с неолитическим слоем (см. рис. 5).

Принципиально важно, что в Киладе ДЭТ была встроена в полноценную комплексную археолого-геофизическую схему: батиметрия, керны, радиоуглеродные датировки, подводные раскопки и анализ палеорельефа. Благодаря этому электротомографические аномалии не остались изолированными «иллюстрациями», а были соотнесены со стратиграфией и археологическими объектами.

Именно такая многоуровневая верификация превращает геофизическую модель в надёжно верифицируемый источник информации.

К греческим же работам примыкают исследования в Ламбайанне и других памятниках Восточного Средиземноморья. В Ламбайанне комплекс методов, включающих ДЭТ, магнитную градиометрию и георадар (GPR), применялся для проверки гипотезы о существовании структурированной застройки на затопленном поселении раннего бронзового века. Согласно опубликованным материалам, ДЭТ покрыла около 0,86 га по 184 параллельным 2D-линиям с шагом 1 м, использовался донный режим и pole-dipole в прямом и обратном вариантах [7, с. 9–12; 9]. Эта съёмка стала одной из крупнейших в Европе для подводной археологии и показала, что ДЭТ может работать не только на компактных участках, но и на достаточно обширных мелководных площадках (см. рис. 6).

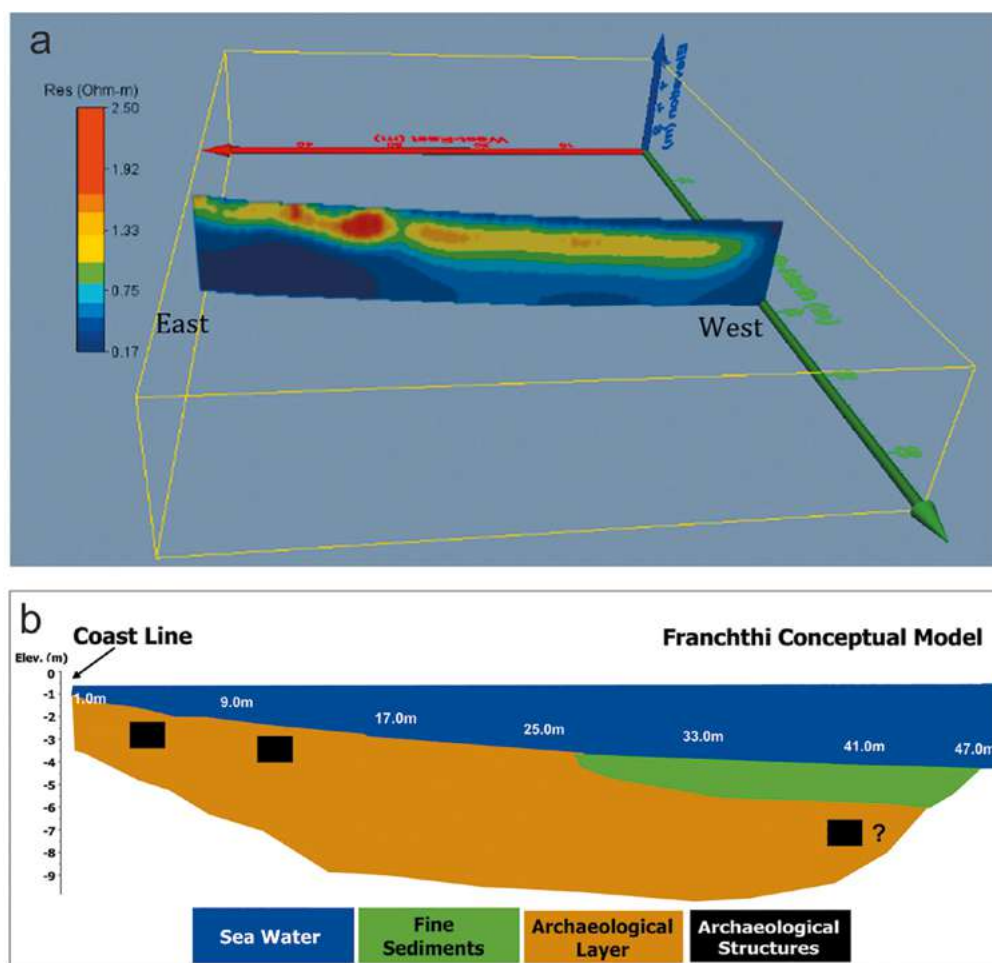


Рис. 5. Залив Килада, сектор Франхти: а) двумерное распределение удельного сопротивления вдоль одного профиля ДЭТ; б) упрощенная концептуальная модель стратиграфии на основе ДЭТ (по Beck J. et al., 2021)

Fig. 5. Kiladha Bay, Franchthi sector: (a) two-dimensional resistivity distribution along a UERT profile; (b) simplified conceptual stratigraphic model based on UERT data (after Beck J. et al., 2021)

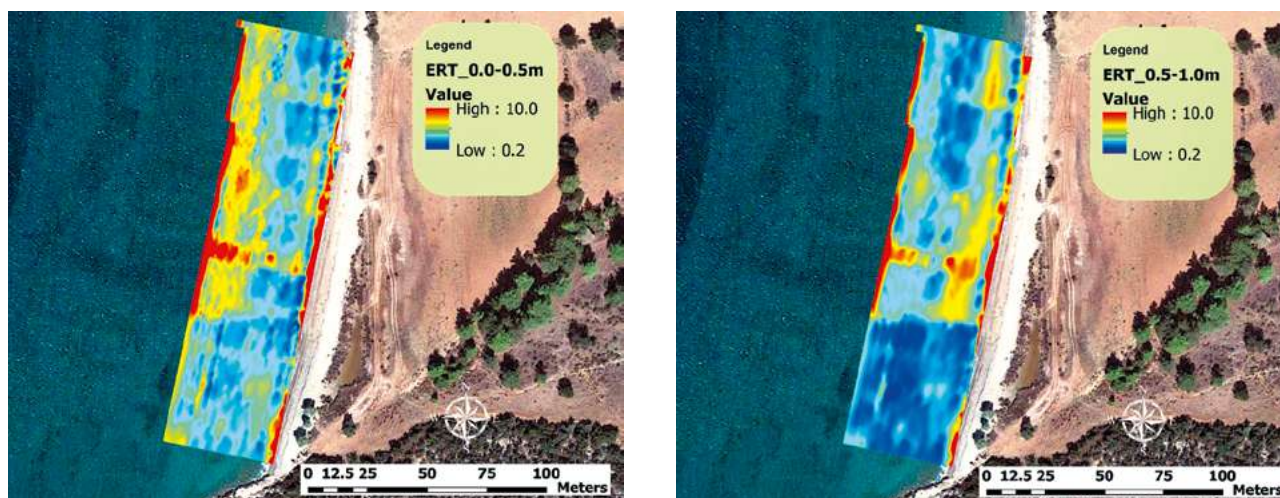


Рис. 6. Ламбайанна. Срезы ДЭТ глубиной 0,0–0,5 м и 0,5–1,0 м ниже уровня морского дна (по Papadopoulos, 2017)

Fig. 6. Lambayanna. UERT depth slices at 0.0–0.5 m and 0.5–1.0 m below the seabed surface (after Papadopoulos, 2017)

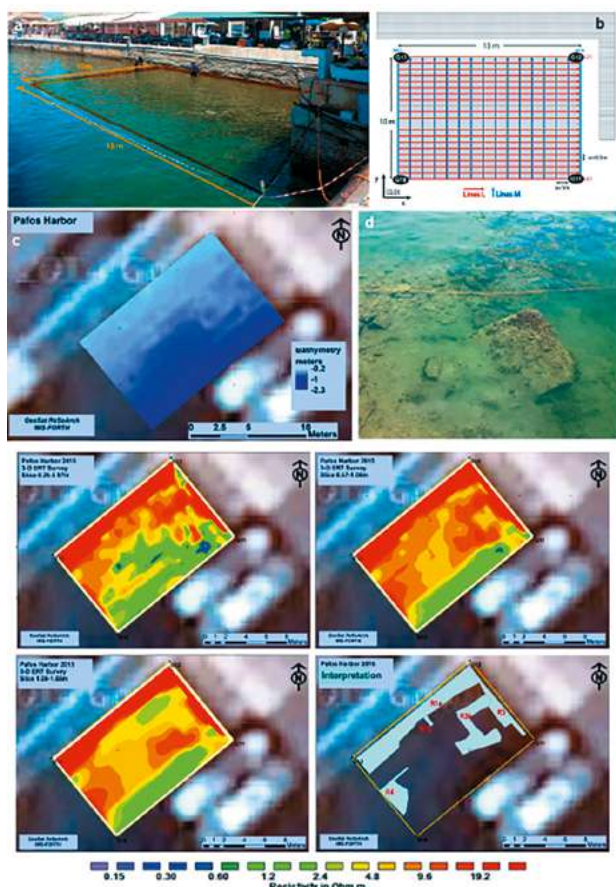


Рис. 7. Пафос. Участок работ и полученные из трёхмерной модели срезы ДЭТ (по Papadopoulos, 2021)

Fig. 7. Paphos. Survey area and depth slices derived from the three-dimensional UERT model (after Papadopoulos, 2021)

Дальнейшее развитие средиземноморских исследований связано с переходом к многомерным схемам съёмки и к интеграции ДЭТ с другими геофизическими и геоинформационными технологиями. Показательный пример такого перехода — обследование в Пафосе, где 3D-модель строилась по пересекающимся сериям донных линий в двух направлениях, использовались разные измерительные установки, а инверсия выполнялась с учётом толщины и сопротивления водного слоя [7, с. 13–14]. Здесь ДЭТ уже функционирует не как линейный профильный метод, а как пространственная томография ограниченного участка затопленного памятника (см. рис. 7).

Австралийская экспедиция на место кораблекрушения баржи Crowie важна тем, что расширяет поле применения ДЭТ от каменной архитектуры к кораблекрушениям и от солёной воды к пресноводной среде.

На затонувшем судне Crowie в реке Муррей была организована 3D-съёмка по сетке $60 \times 15,5$ м, состоявшей из 58 параллельных линий с межлинейным расстоянием 1 м [10]. ДЭТ позволила не только уверенно выделить металлический корпус на фоне песчаных и карбонатных отложений, но и оценить состояние погребённой части судна, недоступной визуальному обследованию (см. рис. 8, 9).

При этом австралийские работы справедливо показали и ограничения метода. Пространственное разрешение ДЭТ в этом случае составляло около 0,5 м по горизонтали и было заведомо ниже, чем у детальной 3D-модели, основанной на исторических данных, гидроакустике и визуализации. Зато именно ДЭТ дала количественное представление о современной сохранности подповерхностной части судна. Это очень важный тезис: электротомография не всегда имеет преимущество как средство эффективной визуализации, но часто оказывается важной как инструмент диагностики того, что скрыто осадками и недоступно другим способам обследования [11, с. 182–185].

Серьёзную методическую роль сыграли и лабораторные эксперименты. Эксперимент по исследованию эффективности геофизических методов в водонасыщенных условиях был проведён итальянской исследовательской группой под руководством Л. Капоццоли. На экспериментальном полигоне был создан полномасштабный археологический тестовый участок с погребёнными архитектурными элементами (колонна, каменная стена, мощёная дорога, погребения). Целью эксперимента было определить возможности и ограничения применения электротомографии и георадара для выявления археологических объектов в условиях насыщенных водой грунтов и мелководья [12]. Результаты показали, что в водонасыщенной среде геофизический контраст снижается, а электромагнитные методы подвержены влиянию от затухания сигнала. В таких условиях наиболее надёжный результат даёт именно интеграция нескольких методов. Для археологии этот вывод принципиален: ни ДЭТ, ни георадар, ни гидроакустика не являются самодостаточными, если речь идёт о сложной среде с переменной влажностью, солёностью и неоднородной литологией.

Современные обзорные публикации по дистанционному обследованию культурного наследия также подтверждают это. Итальянский геофизик Л. Пиродди отмечает, что подводные и прибрежные археологические памятники

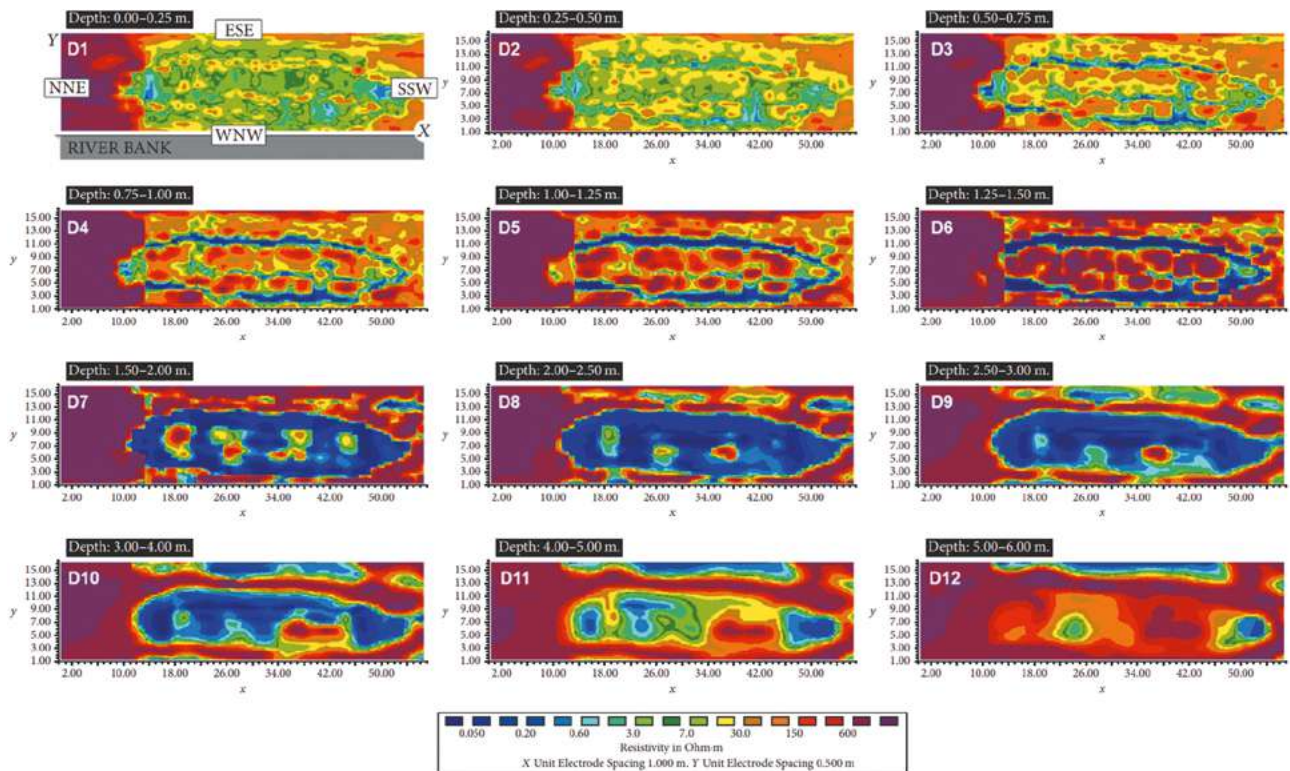


Рис. 8. Баржа Crowie. Трёхмерные срезы ДЭТ (по Simyrdanis et al., 2019)

Fig. 8. Crowie barge. Three-dimensional UERT slices (after Simyrdanis et al., 2019)

рассматриваются как особая область применения геофизических методов, требующая адаптации аппаратуры и методики интерпретации данных. Он подчёркивает, что на современном этапе наиболее эффективными являются комплексные исследования, объединяющие электротомографию, георадар, магнитометрию, гидроакустические и сейсмические методы. Такой подход позволяет компенсировать ограничения отдельных технологий и получать более надёжные реконструкции подповерхностных структур [13, с. 2]. Таким образом, международная практика постепенно переходит от проверки «работоспособности» отдельных методик к формированию многоуровневых геофизических комплексов обследования археологических объектов.

Для российской подводной археологии тема донной электротомографии пока остаётся сравнительно новой, но уже перестала быть сугубо теоретической. В этом контексте важны работы в прибрежной части городища Херсонес Таврический в юго-западном Крыму [14]. Сотрудниками музея-заповедника «Херсонес Таврический» и Санкт-Петербургского горного университета был апробирован и используется метод ДЭТ в акватории Карантинной бухты,

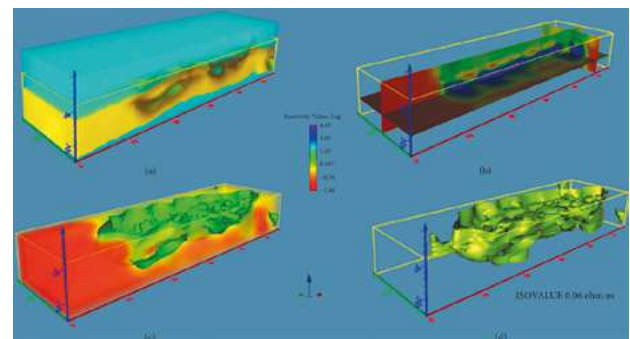


Рис. 9. Баржа Crowie. Трёхмерная модель металлической конструкции (по Simyrdanis et al., 2019)

Fig. 9. Crowie barge. Three-dimensional model of the metallic structure (after Simyrdanis et al., 2019)

где полевые исследования и моделирование в ZondRes2d были направлены на поиск скрытых остатков каменных стен в придонных отложениях (см. рис. 10) [15]. В синтетических моделях такие стены проявлялись как высокоомные аномалии на фоне песчаных осадков и водного слоя. Работы подчёркивали также эффективность использования ДЭТ с гидроакустическими методами при картировании подводных археологических памятников Гераклеяского полуострова.



Рис. 10. Вариант реконструкции затопленных морем оборонительных сооружений Херсонеса в Карантинной бухте по данным ДЭТ

Fig. 10. Reconstruction variant of the Chersonesos defensive structures submerged in Karantinnaya Bay based on UERT data

Этот опыт особенно важен, потому что многие прибрежные памятники Крыма, как и других районов Чёрного моря, существуют в переходной зоне между сушей и морем. Они лишь частично затоплены, их рельеф сложен, а сочетание мелководья, техногенной нагрузки и слабой прозрачности воды делает полноценную гидроакустику не всегда достаточной. В таких условиях донная электротомография может занять ту же нишу, которую она уже заняла на ряде средиземноморских площадок: стать методом высокоточного локального картирования архитектурных остатков в придонном слое.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставление международных практик позволяет сделать несколько принципиальных выводов. Во-первых, наилучшие результаты ДЭТ демонстрирует при решении задач картирования археологических строительных остатков, скрытых под тонким осадочным покровом. Именно здесь контраст между объектом и окружающей средой оказывается достаточно выраженным, а геометрия аномалий допускает археологическую интерпретацию. Это убедительно показано на материалах, полученных на Олусе и в заливе Килада.

Во-вторых, ДЭТ особенно сильна в тех случаях, когда нужно обследовать скрытую часть кораблекрушения или иного объекта, недоступную визуальной съёмке и лишь частично доступную гидроакустике. Агрополи и работы на месте кораблекрушения Crowie демонстрируют две разновидности такого сценария: металлический объект в солёной очень мелкой воде и металлический объект в пресноводной среде с сильной мутностью. В обоих случаях решающими оказались не только сами электротомографические данные, но и их сопряжение с батиметрией, магнитной съёмкой или внешними историческими данными.

В-третьих, донная электротомография не является «быстрым» методом в строгом смысле слова. Высокая информативность обычно достигается благодаря плотной сети профилей, статическому размещению кабеля, тщательной батиметрии и трудоёмкой предварительной обработке. В Олусе 7 га потребовали 178 линий и более 181 тыс. измерений, а на барже Crowie даже сравнительно небольшая площадка обследования потребовала регулярной сетки, донной установки электродов и отдельной геодезической работы по батиметрии.

Поэтому ДЭТ логичнее рассматривать как метод точной локализации и детального дообследования, а не как первичное обследование больших акваторий.

В-четвёртых, надёжность результатов ДЭТ определяется не только полевой схемой, но и корректностью обработки. Публикации, заслуживающие наибольшего доверия, подробно раскрывают параметры массивов, плотность сети, критерии отбраковки данных, способ учёта воды и батиметрии и так далее. Там, где таких данных нет, археологическая интерпретация неизбежно становится менее проверяемой. Для дальнейшего развития ДЭТ важно именно распространение такого стандарта воспроизводимости.

Резюмируя сказанное, следует отметить, что донная электротомография сегодня должна рассматриваться как зрелый, но методически требовательный инструмент подводной археологии. Её наибольшая ценность проявляется в прибрежной мелководной зоне, где водный слой ещё позволяет работать с донными электродами, но гидроакустические методы уже имеют ограничения.

В таких условиях ДЭТ оказывается способной решать те задачи, которые ранее либо вовсе не поддавались неразрушающему изучению, либо требовали перехода к трудоёмким раскопкам: картирование скрытых стен и построек, локализация и диагностика кораблекрушений, уточнение поддонной стратиграфии и границ культурного слоя.

Вместе с тем международный опыт убеждает, что успех метода определяется не одним фактом его применения, а качеством всей исследовательской схемы. Необходимы точные измерения сопротивления воды, надёжная батиметрия, продуманная конфигурация электродов, контроль качества полевых данных и, главное, независимая верификация интерпретации. Поэтому наиболее продуктивной моделью применения донной электротомографии следует считать её интеграцию с магнитометрией, гидроакустикой, кернованием и археологической проверкой. Именно в таком качестве донная электротомография способна стать одним из базовых методов изучения и охраны подводного культурного наследия в акваториях Чёрного моря и других прибрежных регионов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 25-28-01964.
<https://rscf.ru/project/25-28-01964/>

FUNDING

The study was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 25-28-01964.
[Russian Science Foundation Project No. 25-28-01964](https://rscf.ru/project/25-28-01964/)

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare that there is no conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Papadopoulos N., Oikonomou D., Simyrdanis K., Meng Heng L. Practical Considerations for Shallow Submerged Archaeological Prospection with 3-D Electrical Resistivity Tomography. *Archaeological Prospection*. 2021, vol. 29(1), pp. 103–123. DOI: <https://doi.org/10.1002/arp.1841>
2. Simyrdanis K., Papadopoulos N., Kim J.-H., Tsourlos P., Moffat I. Archaeological Investigations in the Shallow Seawater Environment with Electrical Resistivity Tomography. *Near Surface Geophysics*. 2015, vol. 13, pp. 601–611. DOI: <https://doi.org/10.31219/osf.io/gm7up>
3. Ranieri G., Loddo F., Godio A., Stocco S., Cosentino P. L., Capizzi P., Messina P., Savini A., Bruno V., Cau M. A., Orfila M. Reconstruction of Archaeological Features in the Mediterranean Coastal Environment Using of Non-invasive Techniques. *Making History Interactive. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*. Oxford, 2010, pp. 330–337.
4. Loddo F., Ranieri G., Piroddi L., Trogu A., Cogoni M. On the Use of Electrical Resistivity Tomography in Shallow Water Marine Environment for Archaeological Research. *Near Surface Geoscience 2016 — 22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*. 2016, pp. 495–00101. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602002>

5. Passaro S. Marine Electrical Resistivity Tomography for Shipwreck Detection in Very Shallow Water: A Case Study from Agropoli (Salerno, Southern Italy). *Journal of Archaeological Science*. 2010, vol. 37, pp. 1989–1998. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JAS.2010.03.004>
6. Papadopoulos N., Simyrdanis K., Theodoulou T. Reconstructing the Cultural Dynamics of Shallow Marine Archaeological Sites through Electrical Resistivity Tomography. *Near Surface Geoscience 2016 — 22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*. Barcelona, 2016, pp. 606–610. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602026>
7. Papadopoulos N. Shallow Offshore Geophysical Prospection of Archaeological Sites in Eastern Mediterranean. *Remote Sensing*. 2021, vol. 13(7), article 1237, pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13071237>
8. Beck J., Koutsoumba D., Sakellariou D., Surdez M., Anselmetti F., Papadopoulos N., Morfis I., Panagiotopoulos I., Rousakis G., Oikonomou D., Simyrdanis K., Cantoro G., Argyriou A., Birchler Emery P., Krijnen A., Tsampouraki-Kraounaki K. Searching for Neolithic sites in the Bay of Kiladha, Greece. *Quaternary International*. 2021, vol. 584, pp. 129–140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.12.025>
9. Papadopoulos N., Beck J., Simyrdanis K., Cantoro G., Argyriou N., Nikas N., Kalayci T., Koutsoumba D. Ultra Shallow Marine Geophysical Prospection in the Prehistoric Site of Lambayanna, Greece. *International Conference of Archaeological Prospection, 2016. Geosat Research*. 2017, p. 1.
10. Simyrdanis K., Papadopoulos N., Cantoro G. Shallow Off-Shore Archaeological Prospection with 3-D Electrical Resistivity Tomography: The Case of Olous (Modern Elounda), Greece. *Remote Sensing*. 2016, vol. 8(11), article 897, pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8110897>
11. Simyrdanis K., Bailey M., Moffat I., Roberts A., van Duivenvoorde W., Savvidis A., Cantoro G., Bennett K., Kowlessar J. Resolving Dimensions: A Comparison Between ERT Imaging and 3D Modelling of the Barge Crowie, South Australia. *3D Recording and Interpretation for Maritime Archaeology*. Coastal Research Library, vol. 31. Springer, Cham, 2019, pp. 175–186. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03635-5_11
12. Capozzoli L., Giampaolo V., De Martino G., Perciante F., Lapenna V., Rizzo E. ERT and GPR Prospecting Applied to Unsaturated and Subwater Analogue Archaeological Site in a Full Scale Laboratory. *Applied Sciences*. 2022, vol. 12(3), article 1126, pp. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12031126>
13. Piroddi L., Abu Zeid N., Calcina S. V., Capizzi P., Capozzoli L., Catapano I., Cozzolino M., D'Amico S., Lasaponara R., Tapete D. Imaging Cultural Heritage at Different Scales: Part II, the Meso-Scale (Sites). *Remote Sensing*. 2025, vol. 17(4), article 598, pp. 1–64. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs17040598>
14. Glazunov V. V., Bukatov A. A., Vakhonееv V. V., Panchenko V. V. The Application of Innovative Geophysical Technologies for the Creation of Geographic Information Systems for Underwater Archaeological Sites. *Science and Global Challenges of the 21st Century — Innovations and Technologies in Interdisciplinary Applications*. Perm Forum 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 622. Springer Cham, 2023, pp. 237–248. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-28086-3_19
15. Букатов А. А., Глазунов В. В., Панченко В. В. Объекты и методы подводных исследований археологических памятников в прибрежной части Гераклеийского полуострова // Материалы V Международной научно-практической конференции «Проблемы изучения и сохранения морского наследия». Калининград, 2022. С. 193–197.

REFERENCES

1. Papadopoulos N., Oikonomou D., Simyrdanis K., Meng Heng L. Practical Considerations for Shallow Submerged Archaeological Prospection with 3-D Electrical Resistivity Tomography. *Archaeological Prospection*. 2021, vol. 29(1), pp. 103–123. DOI: <https://doi.org/10.1002/arp.1841>
2. Simyrdanis K., Papadopoulos N., Kim J.-H., Tsourlos P., Moffat I. Archaeological Investigations in the Shallow Seawater Environment with Electrical Resistivity Tomography. *Near Surface Geophysics*. 2015, vol. 13, pp. 601–611. DOI: <https://doi.org/10.31219/osf.io/gm7up>
3. Ranieri G., Loddo F., Godio A., Stocco S., Cosentino P. L., Capizzi P., Messina P., Savini A., Bruno V., Cau M. A., Orfila M. Reconstruction of Archaeological Features in the Mediterranean Coastal Environment Using of Non-invasive Techniques. *Making History Interactive. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*. Oxford, 2010, pp. 330–337.
4. Loddo F., Ranieri G., Piroddi L., Trogu A., Cogoni M. On the Use of Electrical Resistivity Tomography in Shallow Water Marine Environment for Archaeological Research. *Near Surface Geoscience 2016 — 22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*. 2016, pp. 495–00101. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602002>
5. Passaro S. Marine Electrical Resistivity Tomography for Shipwreck Detection in Very Shallow Water: A Case Study from Agropoli (Salerno, Southern Italy). *Journal of Archaeological Science*. 2010, vol. 37, pp. 1989–1998. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JAS.2010.03.004>
6. Papadopoulos N., Simyrdanis K., Theodoulou T. Reconstructing the Cultural Dynamics of Shallow Marine Archaeological Sites through Electrical Resistivity Tomography. *Near Surface Geoscience 2016 — 22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*. Barcelona, 2016, pp. 606–610. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602026>

- 22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Barcelona, 2016, pp. 606–610. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201602026>
7. Papadopoulos N. Shallow Offshore Geophysical Prospection of Archaeological Sites in Eastern Mediterranean. Remote Sensing. 2021, vol. 13(7), article 1237, pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13071237>
 8. Beck J., Koutsoumba D., Sakellariou D., Surdez M., Anselmetti F., Papadopoulos N., Morfis I., Panagiotopoulos I., Rousakis G., Oikonomou D., Simyrdanis K., Cantoro G., Argyriou A., Birchler Emery P., Krijnen A., Tsampouraki-Kraounaki K. Searching for Neolithic sites in the Bay of Kiladha, Greece. Quaternary International. 2021, vol. 584, pp. 129–140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.12.025>
 9. Papadopoulos N., Beck J., Simyrdanis K., Cantoro G., Argyriou N., Nikas N., Kalayci T., Koutsoumba D. Ultra Shallow Marine Geophysical Prospection in the Prehistoric Site of Lambayanna, Greece. International Conference of Archaeological Prospection, 2016. Geosat Research. 2017, p. 1.
 10. Simyrdanis K., Papadopoulos N., Cantoro G. Shallow Off-Shore Archaeological Prospection with 3-D Electrical Resistivity Tomography: The Case of Olous (Modern Elounda), Greece. Remote Sensing. 2016, vol. 8(11), article 897, pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8110897>
 11. Simyrdanis K., Bailey M., Moffat I., Roberts A., van Duivenvoorde W., Savvidis A., Cantoro G., Bennett K., Kowlessar J. Resolving Dimensions: A Comparison Between ERT Imaging and 3D Modelling of the Barge Crowie, South Australia. 3D Recording and Interpretation for Maritime Archaeology. Coastal Research Library, vol. 31. Springer, Cham, 2019, pp. 175–186. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03635-5_11
 12. Capozzoli L., Giampaolo V., De Martino G., Perciante F., Lapenna V., Rizzo E. ERT and GPR Prospecting Applied to Unsaturated and Subwater Analogue Archaeological Site in a Full Scale Laboratory. Applied Sciences. 2022, vol. 12(3), article 1126, pp. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12031126>
 13. Piroddi L., Abu Zeid N., Calcina S. V., Capizzi P., Capozzoli L., Catapano I., Cozzolino M., D'Amico S., Lasaponara R., Tapete D. Imaging Cultural Heritage at Different Scales: Part II, the Meso-Scale (Sites). Remote Sensing. 2025, vol. 17(4), article 598, pp. 1–64. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs17040598>
 14. Glazunov V. V., Bukatov A. A., Vakhoneev V. V., Panchenko V. V. The Application of Innovative Geophysical Technologies for the Creation of Geographic Information Systems for Underwater Archaeological Sites. Science and Global Challenges of the 21st Century – Innovations and Technologies in Interdisciplinary Applications. Perm Forum 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 622. Springer Cham, 2023, pp. 237–248. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-28086-3_19
 15. Bukatov A. A., Glazunov V. V., Panchenko V. V. *Ob`ekty i metody` podvodny`x issledovaniy arxeologicheskix pamyatnikov v pribrezhnoj chasti Geraklejskogo poluostrova* [Objects and Methods of Underwater Research of Archaeological Sites in the Coastal Part of the Heracleean Peninsula]. *Materialy` V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Problemy` izucheniya i soxraneniya morskogo naslediya"* [Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference "Problems of Studying and Preserving Marine Heritage"]. 2022, pp. 193–197. (In Russ.)

ВКЛАД АВТОРОВ

Букатов А. А. — разработка концепции, методология, редактирование рукописи, руководство исследованием, получение финансирования.

Вахонеев В. В. — редактирование рукописи, проведение исследования, разработка концепции.

Глазунов В. В. — методология, руководство исследованием, редактирование рукописи, верификация данных.

Задорожный-Ремарчук Е. Е. — создание черновика рукописи, проведение исследования, редактирование рукописи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Bukatov A. A. — conceptualization, methodology, writing — review & editing, supervision, funding acquisition.

Vakhoneev V. V. — writing — review & editing, investigation, conceptualization.

Glazunov V. V. — methodology, supervision, writing — review & editing, validation.

Zadorozhnyi-Remarchuk E. E. — writing — original draft, investigation, writing — review & editing.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Букатов Андрей Алексеевич, кандидат физико-математических наук, заведующий отделом подводной археологии ФГБУК «Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический» (Россия, 299045, г. Севастополь, ул. Древняя, 1); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3158-1165>; e-mail: abukatov@chersonesos-sev.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrej Alekseevich Bukatov, Candidate of Physico-mathematical Sciences, Head of the Department of Underwater Archaeology of the State Museum-Preserve "Tauric Chersonese" (ul. Drevnaja, 1, Sevastopol, 299045, Russia); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3158-1165>; e-mail: abukatov@chersonesos-sev.ru

Вахонеев Виктор Васильевич, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Институт истории материальной культуры РАН» (Россия, 191186, Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 18, Литер А), научный сотрудник отдела подводной археологии ФГБУК «Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический» (Россия, 299045, Севастополь, ул. Древняя, 1); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8845-0628>; e-mail: vvvkerch@mail.ru

Глазунов Владимир Васильевич, доктор технических наук, научный сотрудник отдела подводной археологии ФГБУК «Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический» (Россия, 299045, г. Севастополь, ул. Древняя, 1); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5816-050>; e-mail: vvglazounov@mail.ru

Задорожный-Ремарчук Евгений Евгеньевич, специалист по эксплуатации специального оборудования ФГБУК «Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический» (Россия, 299045, г. Севастополь, ул. Древняя, 1); e-mail: ezadorojniy@chersonesos-sev.ru

Viktor Vasil'evich Vakhoneev, Candidate of Historical Sciences, Senior Researcher of the Underwater Archaeology Group of the Institute for the History of Material Culture of the Russian Academy of Sciences (Dvorcovaya nab., d. 18, lit. A, St. Petersburg, 191186, Russia), Researcher of the Department of Underwater Archaeology of the State Museum-Preserve "Tauric Chersonese" (ul. Drevnaja, 1, Sevastopol, 299045, Russia); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8845-0628>; e-mail: vvvkerch@mail.ru

Vladimir Vasil'evich Glazunov, Doctor of Technical Sciences, Researcher of the Department of Underwater Archaeology of the State Museum-Preserve "Tauric Chersonese" (ul. Drevnaja, 1, Sevastopol, 299045, Russia); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5816-050>; e-mail: vvglazounov@mail.ru

Evgenij Evgen'evich Zadorozhny`j-Remarchuk, Specialist in the Operation of Special Equipment of the State Museum-Preserve "Tauric Chersonese" (ul. Drevnaja, 1, Sevastopol, 299045, Russia); e-mail: ezadorojniy@chersonesos-sev.ru

Поступила в редакцию 03.03.2026
Прошла рецензирование 18.04.2026
Принята к публикации 01.06.2026

Received 03.03.2026
Revised 18.04.2026
Accepted 01.06.2026

ТЕХНИКА / ТЕХНОЛОГИИ | TECHNOLOGY / TECHNOLOGIES

Оригинальная статья | Original paper

DOI: <https://doi.org/10.26175/URC.2026.43.93.006>

УДК 681.883.45



Развитие гидроакустической системы Zima2: реализация режима длинной базы (LBL) с использованием штатных маяков-ответчиков

А. В. Дикарев ✉, **С. М. Дмитриев**, **В. А. Кубкин**, **А. В. Василенко**

Общество с ограниченной ответственностью «Лаборатория подводной связи и навигации»,
г. Москва, Россия

✉ a.dikarev@unavlab.com

Аннотация

Позиционирование подводных объектов является критически важным для широкого круга задач — от геологических исследований до осмотра подводной части судов, особенно в условиях нестабильной работы GNSS (Global Navigation Satellite System). В статье представлено развитие отечественной гидроакустической навигационной системы Zima2: предложен и реализован метод её работы в режиме длинной базы (ДБ, LBL) с использованием штатных маяков-ответчиков в качестве опорных точек. Такой подход, в отличие от классических LBL-систем, не требует специализированного оборудования и позволяет оперативно разворачивать навигационное поле непосредственно на обследуемом объекте (например, корпусе судна). Разработана математическая модель временного разделения абонентов (TDMA) при общем запросе, получены аналитические выражения для максимального радиуса расстановки опорных точек и длительности цикла измерений. Показано, что для типовых параметров системы (длительность сигнала $\tau_s = 200$ мс, время обработки $\tau_p \leq 100$ мс, фиксированная задержка ответа $\tau_{fd} = 500$ мс) при шаге адресной задержки $\Delta = 1000$ мс максимальный радиус зоны $R_{\max}$ составляет 262,5 м, а время полного цикла опроса трёх маяков — 4,375 с. Экспериментальная проверка в статических условиях на льду водоёма (глубина 3–5,5 м, температура 0,5–1,5 °C) с использованием лазерного дальномера для контроля истинных расстояний подтвердила работоспособность метода. В трёх сериях экспериментов получены следующие результаты: точность позиционирования (DRMS) составила 0,138 м (выборка 260 точек), 0,144 м (1214 точек) и 0,176 м (1048 точек); медианная ошибка (CER) порядка 0,11–0,14 м. При контролируемом смещении позиционируемого объекта на 3 м измеренное системой смещение составило 3,059 м (погрешность менее 6 см), что подтверждает высокую повторяемость результатов.

Ключевые слова

навигация, гидроакустика, система позиционирования, длинная база (LBL), ультракороткая база (USBL), Zima2, маяки-ответчики, экспериментальные данные

Для цитирования

Дикарев А. В., Дмитриев С. М., Кубкин В. А., Василенко А. В. Развитие гидроакустической системы Zima2: реализация режима длинной базы (LBL) с использованием штатных маяков-ответчиков. *Гидрокосмос*. 2026;4(1):87–104. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.43.93.006>

Development of the Zima2 Hydroacoustic System: Implementation of a Long Baseline (LBL) Mode Using Standard Transponder Beacons

Aleksandr V. Dikarev ✉, Stanislav M. Dmitriev, Vitalij A. Kubkin, Andrej V. Vasilenko

Limited Liability Company "Underwater Communication and Navigation Laboratory", Moscow, Russia

✉ a.dikarev@unavlab.com

Abstract

Positioning of underwater objects is critically important for a wide range of applications, from geological surveys to inspection of ship hulls, particularly under conditions of unstable GNSS (Global Navigation Satellite System) availability. This article presents the further development of the Russian hydroacoustic navigation system Zima2 through the proposed and implemented realization of a long baseline (LBL) operating mode using standard transponder beacons as reference points. Unlike conventional LBL systems, the proposed approach does not require specialized equipment and enables rapid deployment of a navigation field directly on the target object, such as a vessel hull.

A mathematical model of Time Division Multiple Access (TDMA) under a common interrogation scheme was developed, and analytical expressions were derived for the maximum radius of beacon deployment and the duration of the measurement cycle. It is shown that, for typical system parameters (signal duration $\tau_s = 200$ ms, processing time $\tau_p \leq 100$ ms, and fixed response delay $\tau_{fd} = 500$ ms) and an address-delay step $\Delta = 1000$ ms, the maximum operational radius R_{max} is 262.5 m, while the complete interrogation cycle for three beacons is 4.375 s.

Experimental validation under static conditions on the ice cover of a water body (depth 3–5.5 m, water temperature 0.5–1.5 °C), using a laser rangefinder to control true distances, confirmed the operability of the proposed method. Three experimental series produced the following positioning accuracy results: DRMS values of 0.138 m (260 samples), 0.144 m (1,214 samples), and 0.176 m (1,048 samples), with median positioning errors (CEP) of approximately 0.11–0.14 m. During controlled displacement of the positioned object by 3 m, the system measured a displacement of 3.059 m, corresponding to an error of less than 6 cm, thereby confirming the high repeatability of the results.

Keywords

navigation, hydroacoustics, positioning system, long baseline (LBL), ultra-short baseline (USBL), Zima2, transponder beacons, experimental data

For citation

Dikarev A. V., Dmitriev S. M., Kubkin V. A., Vasilenko A. V. Development of the Zima2 Hydroacoustic System: Implementation of a Long Baseline (LBL) Mode Using Standard Transponder Beacons. *Hydrocosmos*. 2026;4(1):87–104. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.43.93.006>

ВВЕДЕНИЕ

Позиционирование подводных объектов является одной из важнейших задач при проведении океанологических исследований, инженерных изысканий и эксплуатации морской техники. От эффективности решения этой задачи напрямую зависят безопасность и эффективность выполнения работ

с использованием телеуправляемых и автономных необитаемых подводных аппаратов (ТНПА и АНПА), работ с привлечением водолазов, а также в целом достоверность получаемых научных данных.

На сегодняшний день основными методами подводной навигации являются гидроакустические методы, в частности,

с использованием ультракороткой (УКБ, USBL), длинной (ДБ, LBL) и реже короткой (КБ, SBL) измерительных баз [1]. Системы УКБ отличает возможность оперативного развёртывания и удобство использования, однако их точность снижается с увеличением дистанции и в большей степени зависит от конкретных условий распространения звука в акватории. Системы ДБ, напротив, обеспечивают более высокую точность и стабильность определения местоположения, но часто их развёртывание является более сложным: длинная база может быть образована плавучими опорными точками, позиционирование и синхронизация которых осуществляются при помощи GNSS и/или радиосвязи, или массивом донных маяков-ответчиков, перед использованием которых предварительно требуется определить их собственное положение для определения местоположения подводных объектов. Короткая измерительная база имеет ограниченное применение и, как правило, изначально располагается на специализированных судах.

В последнее время особую актуальность приобретает задача обеспечения безопасности судоходства и портовой инфраструктуры, а именно досмотр подводной части корпуса судов при заходе в порт. Такие осмотры проводятся с целью обнаружения посторонних, потенциально опасных предметов. Как правило, работы выполняются с использованием ТНПА, оснащённых гидролокаторами. В ходе осмотра необходимо обеспечить полное покрытие подводной части объекта лучом гидролокатора. Это сопряжено с рядом сложностей. В акваториях портов часто наблюдается нестабильная работа GNSS как из-за объективных естественных причин (высокие борта судов и портовых сооружений создают плохие условия приёма спутниковых сигналов на маломерных плавсредствах), так и из-за искусственно создаваемых в целях обеспечения безопасности помех. Кроме того, крупные суда, поставленные на один якорь на время осмотра, могут значительно менять положение и ориентацию под действием ветра и течений. Это существенным образом осложняет применение традиционных способов планирования галсов и обеспечения гарантированного покрытия всей площади днища гидролокатором. Помимо топопривязки, например, УКБ-антенн или плавучих опорных точек ДБ, возникает задача определения ориентации и положения самого досматриваемого судна.

В РФ ведётся активная разработка и внедрение собственных гидроакустических навигационных средств. Одной из таких разработок является система Zima2 производства ООО «Лаборатория подводной связи и навигации», предназначенная для определения положения подводных объектов, оснащённых маяками-ответчиками.

Практическое применение системы в режиме УКБ для решения прикладных задач было продемонстрировано, например, при обследовании объектов нефтегазовой инфраструктуры [2], где авторы использовали возможности системы для позиционирования подводных аппаратов, подтвердив её эффективность. Однако описанный выше сценарий осмотра судов перед заходом в порт требует принципиально иного подхода к организации навигации. Вместо привязки к абсолютным координатам необходимо позиционирование в локальной системе отсчёта, жёстко связанной с судном, положение которого меняется непредсказуемо.

Решением может стать временная установка трёх и более маяков-ответчиков непосредственно на днище судна (например, при помощи магнитных креплений). Такая конфигурация представляет нечто среднее между длинной и короткой измерительными базами. Это позволяет ТНПА позиционироваться относительно судна независимо от его разворотов и дрейфа и гарантированно «покрыть» всю площадь днища при обследовании.

Целью настоящей работы является расширение функциональных возможностей гидроакустической системы Zima2 путём реализации режима длинной навигационной базы (LBL). Ключевой особенностью предложенного подхода является использование штатных маяков-ответчиков, таких же, как и в режиме УКБ, что обеспечивает универсальность и экономическую эффективность. Такое решение открывает возможность быстрого развёртывания LBL-подобной системы непосредственно на обследуемом объекте (корпусе судна) с минимальными временными затратами. В статье приводится вывод зависимостей для определения основных временных параметров работы системы с временным разделением при опросе опорных точек, а также первые экспериментальные данные, полученные в статических условиях, подтверждающие работоспособность предложенных технических решений.

1. Модель работы длиннотермической системы с TDMA и общим запросом

1.1. Работа системы и параметры

В системе Zima2 используется кодовое разделение абонентов и метод «запрос-ответ» с адресным запросом. При этом downlink-канал, в котором передаются запросы маякам-ответчикам, является общим для всех маяков, а uplink-каналы, используемые для передачи ответов маяков, кодово изолированы. Такой способ позволяет гарантировать стопроцентную идентификацию ответных сигналов, но в то же время накладывает некоторые ограничения, в частности на устройство приёмника. Приёмник может обрабатывать сигнал в одном кодовом канале в один момент времени, что, в свою очередь, формирует требование, чтобы ответные сигналы маяков никогда не перекрывались в точке приёма.

Так, пусть длительность сигнала маяка-ответчика равна τ_s , у маяка присутствует фиксированная задержка ответа τ_{fd} , а приёмнику требуется некоторое время на обработку и оно составляет τ_p , после чего может начаться приём следующего сигнала.

Режим LBL построен таким образом, что маяки получают запрос в общем кодовом канале и отвечают каждый с задержкой, однозначно связанной со своим адресом. Такая схема относится к временному разделению абонентов — TDMA [3]. Пусть шаг адресной задержки составляет Δ , а количество опорных точек, требуемых для позиционирования объекта — N . Фактическое расстояние от позиционируемого объекта до i -ой опорной точки составляет r_i . Скорость распространения сигнала — c .

Можно построить цикл работы системы.

1.2. Цикл работы системы

1. Позиционирующий объект начинает излучать общий для всех опорных точек (маяков-ответчиков) запросный сигнал длительностью τ_s в момент времени T_{RB} .

2. Сигнал распространяется, и его начало последовательно достигает опорные точки в моменты времени

$$T_{Ai} = T_{RB} + r_i / c. \quad (1)$$

3. Ввиду длительности сигнала и времени, необходимого на его обработку, i -ая опорная точка начинает излучать ответный сигнал в момент времени

$$T_{Ri} = T_{Ai} + \tau_{fd} + \Delta \cdot i. \quad (2)$$

4. Ответный сигнал распространяется до объекта, достигая его в момент времени

$$T_{ABSi} = T_{Ri} + r_i / c, \quad (3)$$

а оканчивает приём и может переходить к приёму ответного сигнала другой опорной точки в момент

$$T_{ABFi} = T_{ABSi} + \tau_s + \tau_p. \quad (4)$$

5. После приёма ответного сигнала последней опорной точки система переходит к пункту 1, и цикл повторяется.

1.3. Формулировка условия неналожения ответных сигналов

При описанной схеме работы условие неналожения ответных сигналов также является условием правильной очередности их прихода.

Сигнал от $i+1$ опорной точки не наложится на сигнал от i -ой опорной точки, когда момент прихода его начала T_{ABSi+1} позже, чем окончание приёма сигнала i -ой опорной точки T_{ABFi} :

$$T_{ABSi+1} > T_{ABFi}. \quad (5)$$

Для всех i

$$T_{RB} + \frac{r_{i+1}}{c} + \tau_{fd} + \Delta \cdot (i+1) + \frac{r_{i+1}}{c} >$$

$$T_{RB} + \frac{r_i}{c} + \tau_{fd} + \Delta \cdot i + \frac{r_i}{c} + \tau_s + \tau_p. \quad (6)$$

Упрощаем формулу (6):

$$2 \cdot \frac{r_{i+1}}{c} + \Delta \cdot (i+1) > 2 \cdot \frac{r_i}{c} + \Delta \cdot i + \tau_s + \tau_p,$$

$$\frac{2}{c} \cdot (r_{i+1} - r_i) + \Delta > \tau_s + \tau_p.$$

Получим условие неналожения сигналов (7):

$$2 \cdot \frac{r_{i+1}}{c} + \Delta \cdot (i+1) > 2 \cdot \frac{r_i}{c} + \Delta \cdot i + \tau_s + \tau_p,$$

$$\frac{2}{c} (r_{i+1} - r_i) > \tau_s + \tau_p - \Delta. \quad (7)$$

1. 4. Анализ наихудшего случая

Пусть все опорные точки и объект находятся внутри круга радиусом R_{max} , тогда:

— расстояние от объекта до любой опорной точки $0 < r_i < R_{max}$;

— разность расстояний двух последовательных по адресу опорных точек может принимать значения в диапазоне от $-2R_{max}$ (когда $i+1$ опорная точка находится рядом с объектом на круге, а i -ая опорная точка находится в диаметрально противоположной точке круга) до $2R_{max}$ (когда ситуация обратная: i -ая опорная точка находится рядом с объектом на круге, а $i+1$ — в диаметрально противоположной точке круга). Ситуация с таким расположением проиллюстрирована на рис. 1;

— наименьшее значение левой части неравенства:

$$\frac{2}{c} \cdot (-2R_{max}) = -\frac{4 \cdot R_{max}}{c}. \quad (8)$$

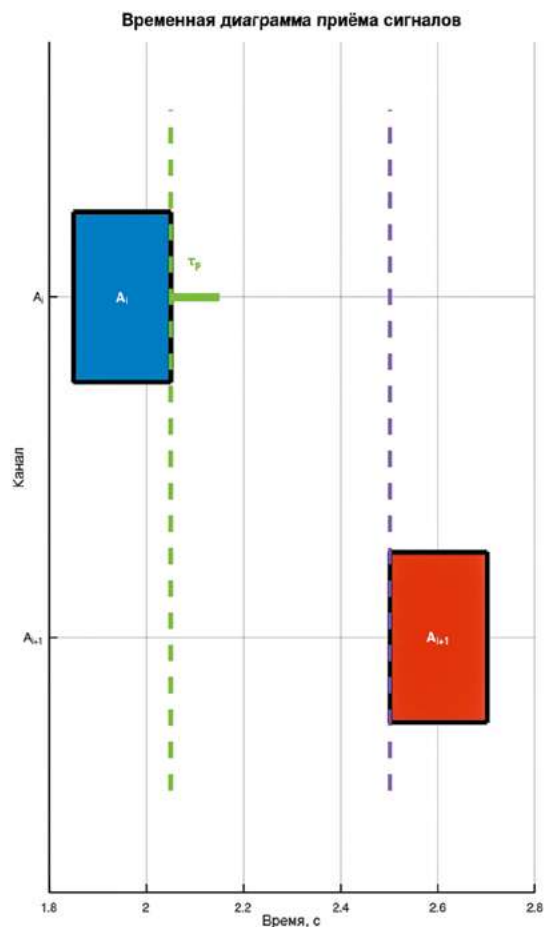
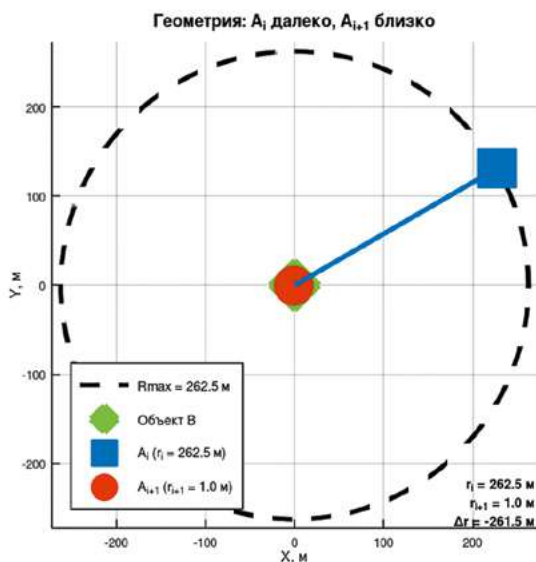


Рис. 1. Иллюстрация наихудшего случая расположения позиционируемого объекта и двух опорных точек с последовательными адресами. Из архива авторов

Fig. 1. Illustration of the worst-case arrangement of the positioned object and two reference points with consecutive addresses. From authors' archive

1. 5. Определение максимального покрытия

Рассмотрим граничный случай:

$$-\frac{4 \cdot R_{\max}}{c} = \tau_s + \tau_p - \Delta. \quad (9)$$

Откуда определим $R_{\max}$ — радиус круга, внутри которого должны находиться все опорные точки для выполнения условия неналожения сигналов:

$$R_{\max} = \frac{c(\Delta - \tau_s - \tau_p)}{4}. \quad (10)$$

1. 6. Расчёт максимального времени полного цикла

Циклом считается промежуток времени между началами излучения объектом запросного сигнала.

Так как сформулированное условие неналожения сигналов является более строгим и гарантирует также правильную очерёдность прихода, то полное время цикла будет определяться при заданных параметрах сигнала и временных параметрах приёмника шагом адресного интервала задержки Δ и количеством используемых опорных точек N .

Объект может начинать излучение следующего запросного сигнала после получения ответа от опорной точки $i = N$ и некоторого времени t_c , необходимого на решение задачи нахождения собственного положения и/или передачи данных управляющей системе:

$$T_{\text{cycle}} = T_{\text{ABFN}} + \tau_c = T_{\text{ABSN}} + \tau_s + \tau_p + \tau_c, \quad (11)$$

где

$$T_{\text{ABFN}} = \frac{2 \cdot r_N}{c} + \tau_{fd} + \Delta \cdot N + \tau_c. \quad (12)$$

Если принять, что опорная точка находится на максимальном удалении ($r_n = 2R_{\max}$), то время цикла

$$T_{\text{cycle}} = \frac{4 \cdot R_{\max}}{c} + \tau_{fd} + \Delta \cdot N + \tau_c. \quad (13)$$

1. 7. Возможные диапазоны параметров

Минимальное число опорных точек, требуемых для однозначного решения задачи нахождения собственного местоположения $N = 3$.

Для устройств в составе системы Zima2 основные временные параметры следующие:

$$\tau_s = 200 \text{ мс},$$

$$\tau_p \leq 100 \text{ мс},$$

$$\tau_{fd} = 500 \text{ мс},$$

$$\tau_c \leq 50 \text{ мс}.$$

Значение шага Δ адресной задержки может быть изменено в некоторых пределах. Слева он имеет жёсткое ограничение:

$$\tau_s + \tau_p < \Delta. \quad (14)$$

Физический смысл его состоит в том, что шаг задержки не может быть меньше длительности сигнала и времени, требуемого на его обработку.

При значении $\Delta = 1000 \text{ мс}$, значение $R_{\max}$ составит

$$R_{\max} = \frac{1500 \cdot (1,0 - 0,2 - 0,1)}{4} = 262,5 \text{ м}.$$

Напомним, это означает, что опорные маяки-ответчики должны находиться внутри круга радиусом $R_{\max} = 262,5 \text{ м}$. Это значение по порядку величины согласуется с размерами судов.

Теперь определим время полного цикла опроса маяков-ответчиков:

$$T_{\text{cycle}} = \frac{4 \cdot 262,5}{1500} + 0,8 + 1,0 \cdot 3 + 0,05 = 4,375 \text{ с}.$$

Стоит отметить, что полное время цикла не соответствует периоду обновления навигационного решения, так как решение может вырабатываться при каждом обновлении дальности до любой опорной точки. Здесь можно принять допущение о том, что позиционируемый объект за время между измерениями дальностей перемещается несущественно, или

дополнительно включить в модель измеряемую относительную скорость перемещения объекта относительно измерительной базы.

1. 8. Влияние параметров на точность позиционирования

Более мягкое, чем в формуле (14), ограничение сводится к тому, что уменьшение Δ ведёт к уменьшению R_{max} , то есть к уменьшению размера измерительной базы. Это нежелательно, так как при использовании дальномерной схемы позиционирования (измерение дистанций до маяков-ответчиков) классическое противопоставление SBL (КБ) и LBL (ДБ) по точности утрачивает смысл — принципиальной разницы в алгоритмах обработки нет, различается лишь место установки маяков (на судне, на дне или на плавучих платформах). Однако математический анализ геометрического фактора понижения точности (GDOP) показывает [4], что абсолютные размеры измерительной базы существенно влияют на результирующую ошибку: уменьшение базы ведёт к ухудшению геометрии и, как следствие, к снижению точности позиционирования [5; 6].

В свою очередь, увеличение R_{max} за счёт увеличения Δ приведёт к удлинению цикла опроса. Для сценариев с высокой динамикой это может быть критично: при существенном изменении положения между циклами и даже между отдельными измерениями ошибка определения местоположения будет увеличиваться. Данная ситуация характерна для систем с временным разделением, что в целом очевидно и подтверждается, например, авторами публикаций [7] и [8]. Там же и в работе [9] (Chen et al., 2019) рассматриваются методы компенсации движения, например, с использованием доплеровских измерений. Стоит отметить, что в случае с реализацией режима LBL в существующей системе Zima2 наиболее рациональным выглядит подход с использованием дополнительных измерений скорости перемещения, например, при помощи доплеровского лага с последующим учётом этих данных при решении навигационной задачи.

1. 9. Навигационный алгоритм

В обсуждаемом случае система является дальномерной: маяки отвечают на общий запрос, а трансивер измеряет дальности до них. Положения маяков-ответчиков не изменяются относительно друг друга, и их координаты известны. Глубины, то есть

вертикальные координаты маяков-ответчиков, известны: они измеряются встроенными датчиками глубины и передаются по запросу трансивера. Собственная глубина трансивера известна по данным встроенного датчика. Таким образом, из наклонных дальностей и разностей глубин могут быть определены проекции наклонных дальностей, и задача о нахождении местоположения трансивера становится плоской.

В общем случае она сводится [10] к минимизации функции невязки:

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^N \left(\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - d_i \right)^2, \quad (15)$$

где x_i, y_i — координаты i -ой опорной точки;

d_i — проекция наклонной дальности до i -ой опорной точки;

N — количество используемых опорных точек.

Наклонная дальность определяется из времени распространения, измеряемого трансивером, и скорости звука.

В системе Zima2 предусмотрены возможности задания значения скорости звука непосредственно и автоматического расчёта по измеряемым значениям температуры и давления, а также по задаваемому пользователем значению солёности. Для расчёта используется так называемая формула UNESCO [11; 12].

Конечное значение функции невязки может быть использовано для оценки качества решения. В настоящей работе был использован порог 10 м, при превышении которого решение отбрасывалось. Однако в экспериментальных данных типовые значения радиальной ошибки не превышали 1 м, а заведомо неверные значения имели порядок десятков метров, и их общее количество для каждого эксперимента составило единицы. Ниже на рисунке 2 представлены распределения для радиальной ошибки для всех трёх экспериментов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проверки работоспособности предложенного метода и оценки точности позиционирования при помощи системы Zima2

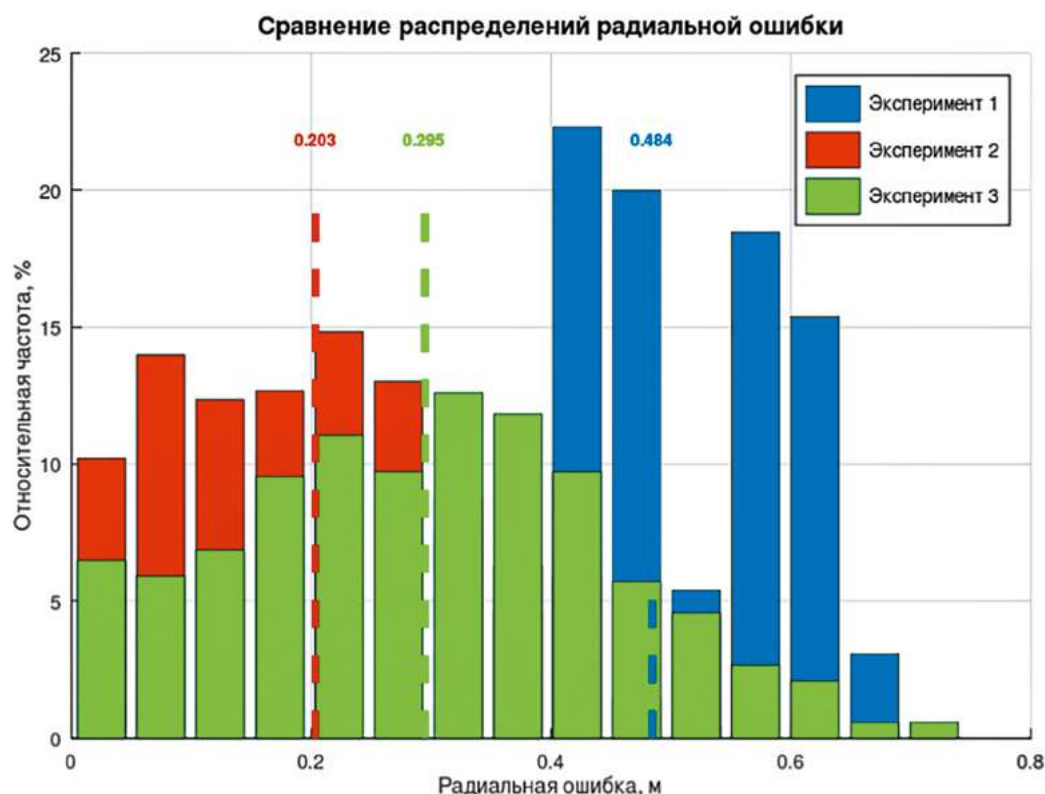


Рис. 2. Распределения значений радиальной ошибки в экспериментах. Из архива авторов
Fig. 2. Distributions of radial error values in the experiments. From authors' archive

в режиме LBL были проведены экспериментальные исследования в статических условиях: маяки-ответчики, выполняющие роль опорных точек, а также устройство, измеряющее дальности до них с целью определения собственного местоположения, размещались в лунках, пробурённых во льду водоёма.

2.1. Цель и задачи эксперимента

Целью эксперимента являлось подтверждение теоретических выводов о работе системы и экспериментальная оценка точности определения координат в режиме LBL.

В ходе эксперимента решались задачи:

1. Измерение базовых расстояний (дальностей по поверхности льда) между всеми частями системы при помощи лазерного дальномера.

2. Построение системы координат по трём опорным точкам.

3. Вычисление фактического положения позиционируемого объекта по поверхностным (оптическим) измерениям.

4. Оценка статистических параметров навигационных решений (положений позиционируемого объекта), полученных по гидроакустическим измерениям.

2.2. Методика и описание экспериментального стенда

Испытания проводились в январе — феврале 2026 года на льду Сарептского затона реки Волги. Глубина — в диапазоне от 3 до 5,5 м. Дно песчаное, без выраженных элементов ландшафта. Ширина водоёма — примерно 200 м. Температура воды — в диапазоне от 0,5 до 1,5 °C.

В качестве опорных точек использовались три штатных маяка-ответчика, которым были присвоены адреса 1, 2 и 3, далее обозначаемые как A_1 , A_2 и A_3 соответственно. Опорные точки располагались в вершинах треугольника, в произвольном месте вблизи от одной из сторон, где располагалось устройство, запрашивающее маяки-ответчики (LBL-трансивер).

Конструктивно трансивер выполнен в виде маяка-ответчика с соответствующей прошивкой, реализующей требуемый функционал.

Для формирования локальной системы координат при помощи лазерного дальномера выполнялись измерения между всеми устройствами. Измерения проводились по осям лунок путём ручной установки дальномера и отражающего флажка. Диаметр лунок — 200 мм. Лазерный дальномер имеет погрешность 10 мм. С учётом ручной установки по осям лунок мы ожидаем общую точность установки порядка 0,1 м. Производилось не менее 5 измерений каждого расстояния с последующим усреднением.

Далее принимается, что опорная точка № 1 (A_1) находится в начале системы координат и с опорной точкой № 2 (A_2) формирует направление оси X: $A_1(0, 0)$; $A_2(r_{12}, 0)$.

Координата третьей опорной точки определяется из теоремы косинусов:

$$\cos \alpha = \frac{r_{12}^2 + r_{13}^2 - r_{23}^2}{2 \cdot r_{12} \cdot r_{13}}, \quad (16)$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}. \quad (17)$$

Откуда координаты точки $A_3(r_{13} \cdot \cos \alpha, r_{13} \cdot \sin \alpha)$.

Фактическое положение трансивера (точка B) определялось путём минимизации суммы квадратов невязок.

Если координаты опорных точек $A_1(x_1, y_1)$, $A_2(x_2, y_2)$, $A_3(x_3, y_3)$, и из точки B до них измерены расстояния d_1, d_2, d_3 соответственно, то минимизируемая функция будет иметь вид как в уравнении (15).

После нахождения положения точки B далее в качестве критерия точности полученного решения вычисляется конечная суммарная невязка и отклонения по измерениям до опорных точек.

2. 3. Результаты измерений

Было проведено суммарно три эксперимента (см. табл. 1–5): эксперименты 2 и 3 с одинаковым расположением опорных точек, но со смещением позиционируемого объекта на 3 метра; в эксперименте 1 использовались отличные от 2 и 3 расположения всех устройств системы.

Эксперимент 1

Суммарная невязка: 0,042 м.

Таблица 1. Эксперимент 1. Расстояния по лазерным измерениям (в метрах)
Table 1. Experiment 1. Distances from laser measurements (m)

	A_1	A_2	A_3	B
A_1	0	105,0	78,0	56,1
A_2	105,0	0	57,3	50,6
A_3	78,0	57,3	0	52,2

Таблица 2. Эксперимент 1. Координаты опорных точек
Table 2. Experiment 1. Coordinates of reference points

	A_1	A_2	A_3	B
X	0	105,0	65,84	55,29
Y	0	0	41,83	-9,31

Отклонения по измерениям: $\Delta d_1 = 0,03$ м, $\Delta d_2 = 0,03$ м, $\Delta d_3 = 0,01$ м.

Расположение опорных точек и позиционируемого объекта с соответствующими измерениями показано на рис. 3.

В ходе эксперимента было получено 260 вычисленных значений местоположения, которые представлены на графике (см. рис. 4).

Статистические метрики сведены в таблицу 3.

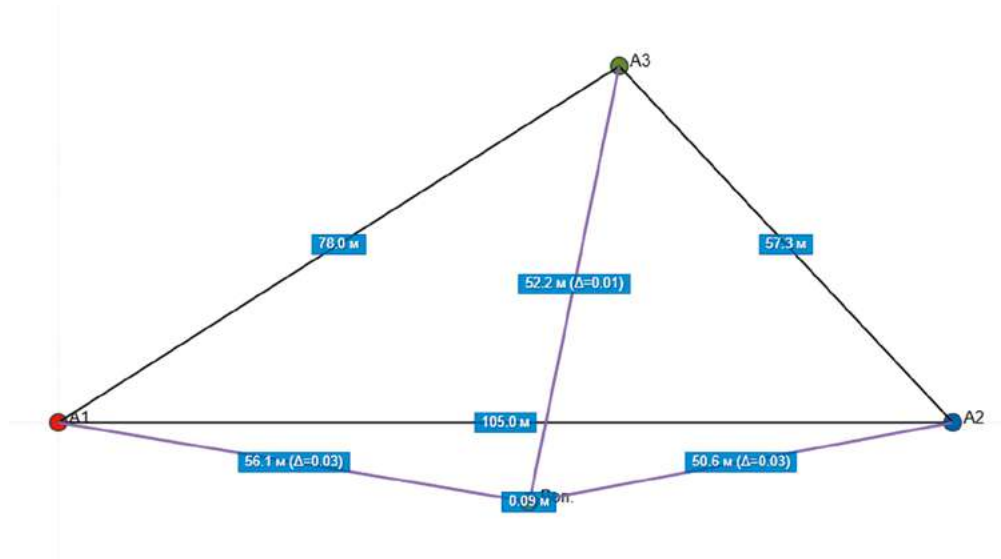


Рис. 3. Взаимное расположение опорных точек и антенны по результатам лазерных измерений.
Из архива авторов
Fig. 3. Relative arrangement of the reference points and antenna according to laser measurements.
From authors' archive

Таблица 3. Эксперимент 1. Статистические параметры
Table 3. Experiment 1. Statistical parameters

Параметр	Значение
DRMS (среднеквадр. расстояние от среднего), м	0,138
СЕР (50 % точек, оценка), м	~0,115
Отклонение от эталонного измерения В(55,29, -9,31)	
Смещение центра, м	[0,260, -0,080]
Радиальное смещение, м	0,272
Среднее расстояние от эталона, м	0,290
Минимальное расстояние от эталона, м	0,067
Максимальное расстояние от эталона, м	0,457
СКО расстояний от эталона, м	0,097

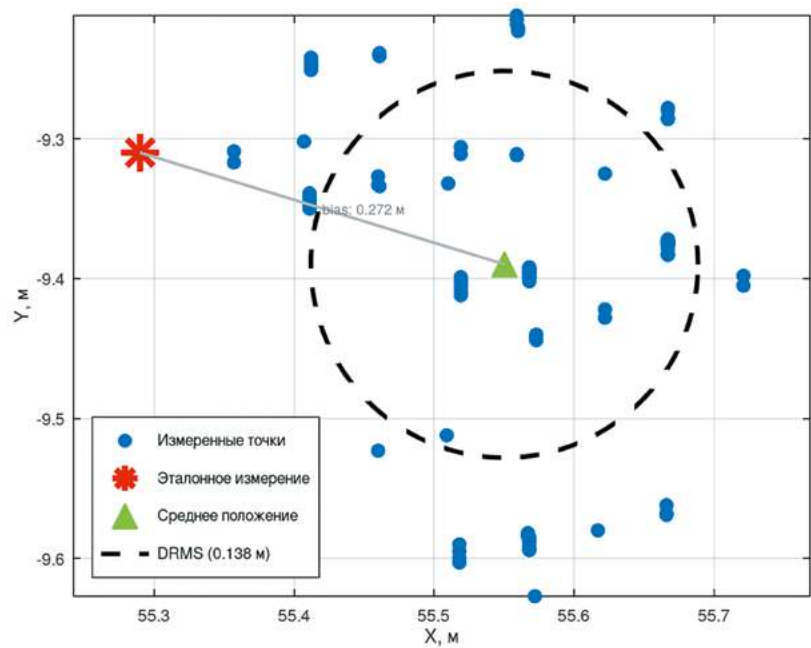


Рис. 4. Разброс вычисленных значений в эксперименте № 1, среднее положение и эталонное измерение. Из архива авторов
Fig. 4. Scatter of calculated positions in Experiment No. 1, mean position, and reference measurement. From authors' archive

Эксперименты 2 и 3

В третьем эксперименте точка В была перемещена случайным образом на три метра

в сторону опорной точки А₁. Измерения от опорных точек до точки В относятся только к эксперименту 2. Для эксперимента 3 соответствующие измерения не проводились.

Таблица 4. Эксперименты 2 и 3. Расстояния по лазерным измерениям (в метрах)
Table 4. Experiments 2 and 3. Distances from laser measurements (m)

	A ₁	A ₂	A ₃	B
A ₁	0	74,7	45,3	34,0
A ₂	74,7	0	60,2	40,8
A ₃	45,3	60,2	0	35,0

Таблица 5. Эксперименты 2 и 3. Координаты опорных точек
Table 5. Experiments 2 and 3. Coordinates of reference points

	A ₁	A ₂	A ₃	B
X	0	74,7	26,83	33,94
Y	0	0	36,50	2,23

Суммарная невязка: 0,0006 м.

Отклонения по измерениям: $\Delta d_1 = 0,02$ м, $\Delta d_2 = 0,02$ м, $\Delta d_3 = 0,0$ м.

Взаимные расположения опорных точек и соответствующие расстояния показаны на рис. 5.

В ходе эксперимента было получено 1214 вычисленных значений местоположения, которые представлены на графике (см. рис. 6), там же видны выпавшие точки, которые не повлияли на статистические параметры. Определённые статистические параметры по эксперименту 2 сведены в таблицу 6.

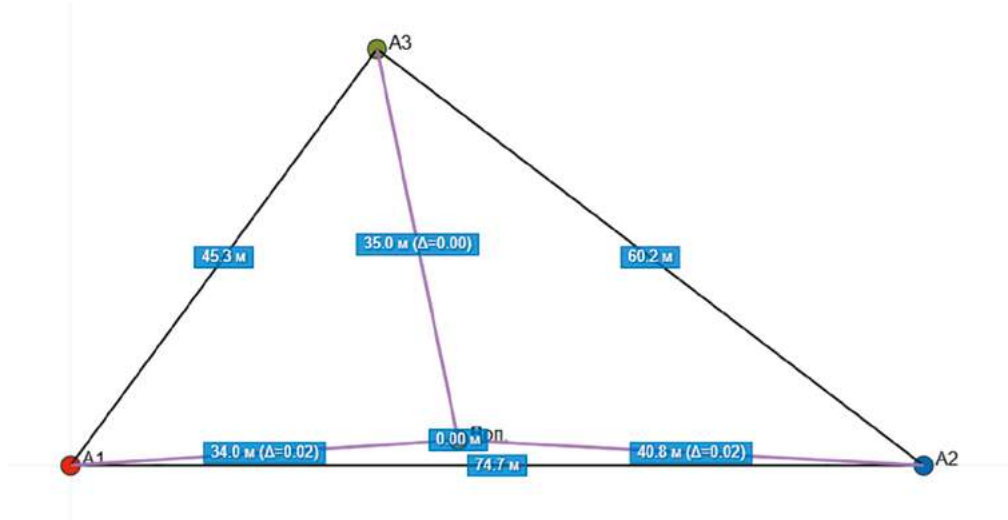


Рис. 5. Взаимное расположение опорных точек (эксперименты 2 и 3) и антенны по результатам лазерных измерений (эксперимент 2). Из архива авторов

Fig. 5. Relative arrangement of the reference points (Experiments 2 and 3) and antenna according to laser measurements (Experiment 2). From authors' archive

Таблица 6. Эксперимент 2. Статистические параметры

Table 6. Experiment 2. Statistical parameters

Параметр	Значение
DRMS (среднеквадр. расстояние от среднего), м	0,144
СЕР (50 % точек, оценка), м	~0,112
Отклонение от эталонного измерения В(33,94, 2,23)	
Смещение центра, м	[0,107, 0,080]
Радиальное смещение, м	0,134
Среднее расстояние от эталона, м	0,167
Минимальное расстояние от эталона, м	0,019
Максимальное расстояние от эталона, м	1,275
СКО расстояний от эталона, м	0,104

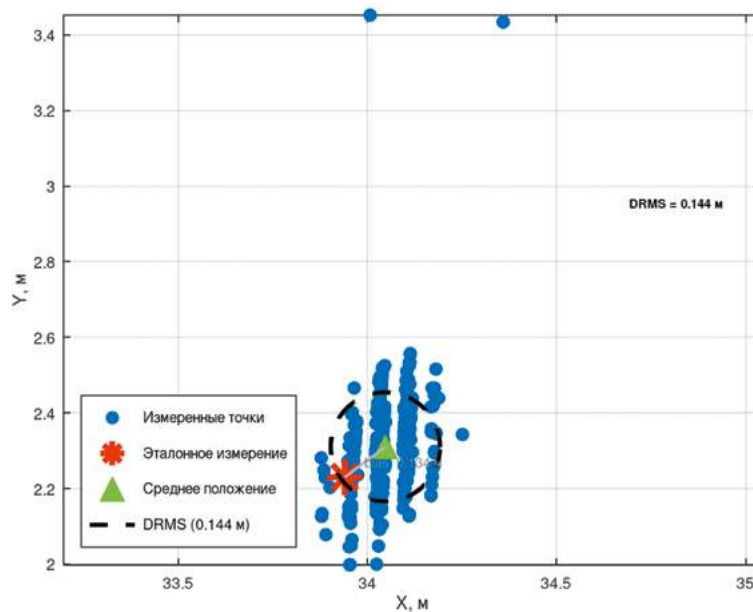


Рис. 6. Разброс вычисленных значений в эксперименте № 2, среднее положение и эталонное измерение. Из архива авторов

Fig. 6. Scatter of calculated positions in Experiment No. 2, mean position, and reference measurement. From authors' archive

Размер выборки для эксперимента 3 составил 1048 точек. Ниже на рис. 7 представлено сравнение выборок для экспериментов 2 и 3: смещение между средним значением по выборке 3 и эталонным положением, а также смещение между средними значениями по выборкам 2 и 3 составили 3,000 и 3,059 м соответственно.

Таким образом, система позволила зарегистрировать контролируемое смещение объекта на 3 метра с погрешностью менее 6 см (3,059 м против ожидаемых 3,000 м), что подтверждает её высокую точность и повторяемость результатов.

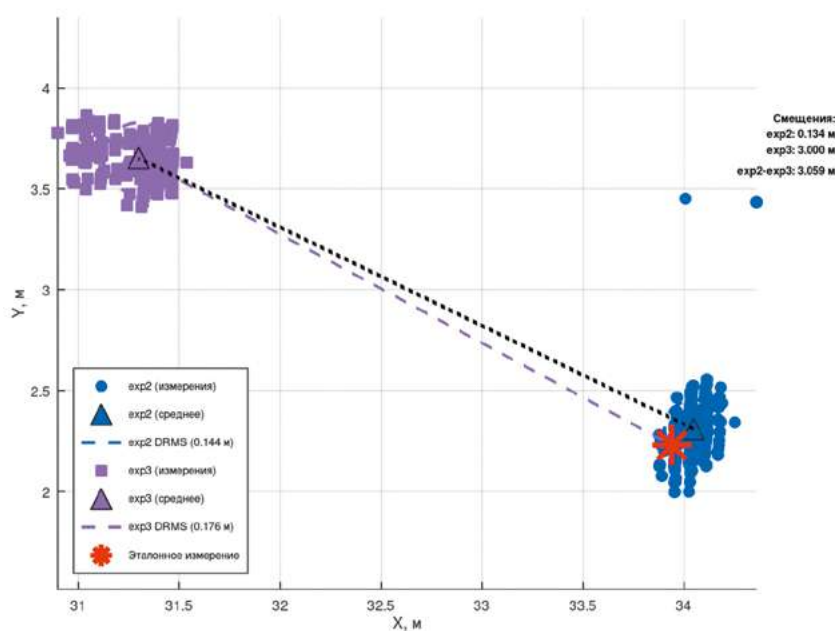


Рис. 7. Сравнение наборов вычисленных местоположений для экспериментов 2 и 3. Из архива авторов

Fig. 7. Comparison of calculated position datasets for Experiments 2 and 3. From authors' archive

Статистические параметры набора в третьем эксперименте представлены в таблице 7.

Результирующие данные по всем трём экспериментам сведены в таблице 8.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описывается результат расширения функциональных возможностей отечественной гидроакустической навигационной системы Zima2, заключающийся в реализации режима длинной базы (LBL) и его экспериментальной проверке. Ключевой особенностью предложенного подхода

является использование штатных маяков-ответчиков, что обеспечивает гибкость и экономическую эффективность без изменения аппаратной части.

Решение открывает возможности оперативного развёртывания LBL-подобной системы непосредственно на обследуемом объекте (например, корпусе судна), что особенно актуально для задач досмотра подводной части судов в условиях нестабильной работы GNSS.

В рамках работы получены следующие основные результаты:

Таблица 7. Эксперимент 3. Статистические параметры
Table 7. Experiment 3. Statistical parameters

Параметр	Значение
DRMS (среднеквадр. расстояние от среднего), м	0,176
СЕР (50 % точек, оценка), м	~0,140
Отклонение от эталонного измерения В(33,94, 2,23)	
Смещение центра, м	[-2,6413, 1,4221]
Радиальное смещение, м	2,9998
Среднее расстояние от эталона, м	3,0010
СКО расстояний от эталона, м	0,1537

Таблица 8. Сводная таблица
Table 8. Summary table

№ Экс-та	N, точек	DRMS, м	Радиальное смещение (измеренное), м	Радиальное смещение (фактическое), м
1	260	0,138	0,272	0
2	1214	0,144	0,134	0
3	1048	0,176	3,000	3*

* Радиальное смещение (фактическое) — смещение точки В относительно эталонного измерения, заданное экспериментально. Для экспериментов 1 и 2 фактическое смещение = 0, для эксперимента 3 фактическое смещение = 3 м (контролируемое перемещение).

1. Разработана математическая модель функционирования системы в режиме LBL с временным разделением абонентов при общем запросе. Получены аналитические выражения, связывающие временные параметры системы с максимальным радиусом расстановки опорных точек R_{max} и длительностью цикла измерений T_{cycle} . Показано, что для типовых параметров системы Zima2 ($\tau_s = 200$ мс, $\tau_p = 100$ мс, $\tau_{fd} = 500$ мс) при шаге адресной задержки $\Delta = 1000$ мс максимальный радиус зоны расстановки опорных точек составляет 262,5 м, что достаточно для решения широкого круга практических задач, включая навигацию под днищем крупнотоннажного судна.

2. Проведён анализ влияния параметров системы на точность позиционирования, в ходе которого установлен компромиссный характер зависимости между размером навигационной базы (определяемым величиной R_{max}) и временем цикла опроса маяков. Увеличение базы для снижения геометрического фактора понижения точности (GDOP) приводит к росту времени цикла, что для сценариев с высокой динамикой относительного движения объекта и навигационной базы может являться источником дополнительных погрешностей.

3. Выполнена экспериментальная проверка реализованного функционала в статических условиях на льду водоёма с измерением фактических расстояний при помощи лазерного дальномера. В ходе трёх серий экспериментов

с различной конфигурацией опорных точек и позиционируемого объекта получены следующие результаты:

а) подтверждено отсутствие коллизий ответных сигналов при использовании предложенного метода разделения абонентов;

б) достигнутая точность позиционирования характеризуется значениями DRMS от 0,138 до 0,176 м;

в) экспериментально зафиксировано контролируемое смещение объекта на 3 метра с погрешностью менее 6 см (измеренное при помощи системы смещение составило 3,059 м), что подтверждает высокую повторяемость и точность системы.

Полученные результаты подтверждают работоспособность предложенных технических решений и позволяют использовать систему Zima2 в режиме LBL для решения задач, требующих точной навигации в локальной системе координат.

Дальнейшие исследования будут направлены на проведение динамических испытаний, отработку методики быстрой калибровки положения маяков на объекте, исследование возможности компенсации динамических погрешностей с использованием дополнительных измерений скорости перемещения объекта, например, с использованием доплеровских измерений [13].

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование не имело спонсорской поддержки.

FUNDING

The study was carried out without additional funding.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare that there is no conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stutters L., Liu H., Tiltman C., Brown D. J. Navigation Technologies for Autonomous Underwater Vehicles. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews. 2008, vol. 38, no. 4, pp. 581–589. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2008.919147>
2. Шестерин Н. Д., Кочергин А. Н., Пивсаев В. Ю., Соколов С. А., Редька Д. Н., Путинцев И. А. Подводные дроны для обследования нефтегазовой инфраструктуры: преимущества и перспективы на примере объектов нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отрасли // Морские интеллектуальные технологии. 2025. № 2–1. С. 201–211. DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2025.68.2.025>
3. Mandal P. Performance Comparison of TDMA Variants for Underwater Acoustic Sensor Networks. Journal of

- Network and Computer Applications. 2017, vol. 92, pp. 20–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.01.030>
4. Ding C., Dai W. G., Wang S., Cheng Y. Optimal Disposition of Vector Submerged Buoy Array Based on Geometrical Dilution of Precision. Systems Engineering and Electronics. 2021, vol. 43, no. 11, pp. 3107–3117. DOI: <https://doi.org/10.12305/j.issn.1001-506X.2021.11.09>
 5. Wang X., Zhang G. B. Bistatic Sonar Localization Algorithm Based on Nonlinear Least Squares. Journal of Unmanned Undersea Systems. 2012, vol. 20, no. 3, pp. 187–189. DOI: <https://doi.org/10.11993/j.issn.1673-1948.2012.03.006>
 6. Xu J. F., Shu X. L., Han S. P., Ma X. Research on Accuracy of Localization Algorithm for T2-R Multistatic Sonar. Acta Armamentarii. 2014, vol. 35, no. 7, pp. 1052–1059. DOI: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1093.2014.07.018>
 7. Tsay L. W. J., Shiigi T., Zhao X., Huang Z., Shiraga K., Suzuki T., Ogawa Y., Kondo N. Static and Dynamic Evaluations of Acoustic Positioning System Using TDMA and FDMA for Robots Operating in a Greenhouse. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2022, vol. 15, no. 5, pp. 28–33. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20221505.6796>
 8. Zhang C., Shi W., Gong Z., Zhang Q., Li C. Trajectory Optimization for Target Localization Using Time Delays and Doppler Shifts in Bistatic Sonar-based Internet of Underwater Things. IEEE Internet of Things Journal. 2023, vol. 10, no. 23, pp. 16427–16439. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3268151>
 9. Chen X., Chen Y., Cao S., Zhang L., Zhang X., Chen X. Acoustic Indoor Localization System Integrating TDMA+FDMA Transmission Scheme and Positioning Correction Technique. Sensors. 2019, vol. 19, no. 10, 2353. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19102353>
 10. Huang W., Wu P., Xu T., Zhang H., Meng K. Optimal Reference Nodes Deployment for Positioning Seafloor Anchor Nodes. IEEE Internet of Things Journal. 2025, vol. 12, issue 10, pp. 14254–14268. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3524405>
 11. Chen C. T., Millero F. J. Speed of Sound in Seawater at High Pressures. Journal of the Acoustical Society of America. 1977, vol. 62, no. 5, pp. 1129–1135. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.381646>
 12. Wong G. S. K., Zhu S. Speed of Sound in Seawater as a Function of Salinity, Temperature, and Pressure. Journal of the Acoustical Society of America. 1995, vol. 97, no. 3, pp. 1732–1736. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.413048>
 13. Feng X. Z., Dai J. Z., Jia A. A., Zhou Y. Single Star Doppler Passive Positioning Accuracy Analysis and Processing Based on Sea State Sensor. Measurement. 2020, vol. 155, 107555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107555>

REFERENCES

1. Stutters L., Liu H., Tiltman C., Brown D. J. Navigation Technologies for Autonomous Underwater Vehicles. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews. 2008, vol. 38, no. 4, pp. 581–589. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2008.919147>
2. Shesterin N. D., Kochergin A. N., Pivsaev V. Yu., Sokolov S. A., Red'ka D. N., Putincev I. A. *Podvodny'e drony' dlya obsledovaniya neftegazovoj infrastruktury': preimushhestva i perspektivy' na primere ob'ektov neftedoby'vayushhej i neftepererabaty'vayushhej otrasli* [Underwater Drones for Inspection of Oil and Gas Infrastructure: Advantages and Prospects on the Example of Oil Production and Refining Industry Facilities]. *Morskie intellektual'ny'e tekhnologii* [Marine Intellectual Technologies]. 2025, no. 2–1, pp. 201–211. DOI: <https://doi.org/10.37220/MIT.2025.68.2.025> (In Russ.)
3. Mandal P. Performance Comparison of TDMA Variants for Underwater Acoustic Sensor Networks. Journal of Network and Computer Applications. 2017, vol. 92, pp. 20–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.01.030>
4. Ding C., Dai W. G., Wang S., Cheng Y. Optimal Disposition of Vector Submerged Buoy Array Based on Geometrical Dilution of Precision. Systems Engineering and Electronics. 2021, vol. 43, no. 11, pp. 3107–3117. DOI: <https://doi.org/10.12305/j.issn.1001-506X.2021.11.09> (In Chinese)
5. Wang X., Zhang G. B. Bistatic Sonar Localization Algorithm Based on Nonlinear Least Squares. Journal of Unmanned Undersea Systems. 2012, vol. 20, no. 3, pp. 187–189. DOI: <https://doi.org/10.11993/j.issn.1673-1948.2012.03.006> (In Chinese)
6. Xu J. F., Shu X. L., Han S. P., Ma X. Research on Accuracy of Localization Algorithm for T2-R Multistatic Sonar. Acta Armamentarii. 2014, vol. 35, no. 7, pp. 1052–1059. DOI: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-1093.2014.07.018> (In Chinese)
7. Tsay L. W. J., Shiigi T., Zhao X., Huang Z., Shiraga K., Suzuki T., Ogawa Y., Kondo N. Static and Dynamic Evaluations of Acoustic Positioning System Using TDMA and FDMA for Robots Operating in a Greenhouse. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2022, vol. 15, no. 5, pp. 28–33. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20221505.6796>
8. Zhang C., Shi W., Gong Z., Zhang Q., Li C. Trajectory Optimization for Target Localization Using Time Delays and Doppler Shifts in Bistatic Sonar-based Internet of Underwater Things. IEEE Internet of Things Journal. 2023, vol. 10, no. 23, pp. 16427–16439. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3268151>

9. Chen X., Chen Y., Cao S., Zhang L., Zhang X., Chen X. Acoustic Indoor Localization System Integrating TDMA+FDMA Transmission Scheme and Positioning Correction Technique. *Sensors*. 2019, vol. 19, no. 10, 2353. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19102353>
10. Huang W., Wu P., Xu T., Zhang H., Meng K. Optimal Reference Nodes Deployment for Positioning Seafloor Anchor Nodes. *IEEE Internet of Things Journal*. 2025, vol. 12, issue 10, pp. 14254–14268. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3524405>
11. Chen C. T., Millero F. J. Speed of Sound in Seawater at High Pressures. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1977, vol. 62, no. 5, pp. 1129–1135. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.381646>
12. Wong G. S. K., Zhu S. Speed of Sound in Seawater as a Function of Salinity, Temperature, and Pressure. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1995, vol. 97, no. 3, pp. 1732–1736. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.413048>
13. Feng X. Z., Dai J. Z., Jia A. A., Zhou Y. Single Star Doppler Passive Positioning Accuracy Analysis and Processing Based on Sea State Sensor. *Measurement*. 2020, vol. 155, 107555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107555>

ВКЛАД АВТОРОВ

Дикарев А. В. — разработка концепции, разработка модели и программирование, руководство исследованием, проведение натурных экспериментов, создание черновика статьи.

Дмитриев С. М. — разработка электроники, планирование и проведение натурных экспериментов.

Кубкин В. А. — программирование, проведение натурных экспериментов, доработка черновика статьи, обработка данных.

Василенко А. В. — изготовление макетного оборудования, проведение натурных экспериментов, обработка данных.

AUTHORS' CONTRIBUTION

A. V. Dikarev — conceptualization, methodology, software, supervision, investigation, writing — original draft.

S. M. Dmitriev — software, investigation.

V. A. Kubkin — software, investigation, writing — review & editing, data curation.

A. V. Vasilenko — resources, investigation, data curation.

Авторы выражают глубокую благодарность:

— А. Абеленцеву за формулировку задачи, общение с эксплуатантами и сбор требований к доработке системы;

— Н. Капташкину, И. Кочергину и С. Воробьевой за участие в проведении натурных экспериментов и изготовление оснастки;

— Коллективам ООО «Подводные дроны» и ООО «Тазмар» за обратную связь по эксплуатации систем Zima2 и RWLT.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дикарев Александр Васильевич, руководитель разработок ООО «Лаборатория подводной связи и навигации» (Россия, 121205, г. Москва, Сколково инновационного центра тер., Большой б-р, 42, строение 1, эт. 3, пом. 1098 раб 10); e-mail: a.dikarev@unavlab.com; SPIN: 9989-2164

Дмитриев Станислав Михайлович, главный инженер ООО «Лаборатория подводной связи и навигации» (Россия, 121205, г. Москва, Сколково инновационного центра тер., Большой б-р, 42, строение 1, эт. 3, пом. 1098 раб 10); e-mail: s.dmitriev@unavlab.com

Кубкин Виталий Анатольевич, ведущий инженер ООО «Лаборатория подводной связи и навигации» (Россия, 121205, г. Москва, Сколково инновационного центра тер., Большой б-р, 42, строение 1, эт. 3, пом. 1098 раб 10); e-mail: v.kubkin@unavlab.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr Vasil'evich Dikarev, R&D Director Underwater Communication & Navigation Laboratory, LLC (Bolshoy bld, 42, building 1, office 1098/10, Skolkovo innovation center, Moscow, 121205, Russia); e-mail: a.dikarev@unavlab.com; SPIN: 9989-2164

Stanislav Mixajlovich Dmitriev, CTO Underwater Communication & Navigation Laboratory, LLC (Bolshoy bld, 42, building 1, office 1098/10, Skolkovo innovation center, Moscow, 121205, Russia); e-mail: s.dmitriev@unavlab.com

Vitalij Anatol'evich Kubkin, Senior PCB Engineer Underwater Communication & Navigation Laboratory, LLC (Bolshoy bld, 42, building 1, office 1098/10, Skolkovo innovation center, Moscow, 121205, Russia); e-mail: v.kubkin@unavlab.com

Василенко Андрей Владимирович, старший инженер-электронщик ООО «Лаборатория подводной связи и навигации» (Россия, 121205, г. Москва, Сколково инновационного центра тер., Большой б-р, 42, строение 1, эт. 3, пом. 1098 раб 10); e-mail: a.vasilenko@unavlab.com

Andrej Vladimirovich Vasilenko, Senior PCB Engineer Underwater Communication & Navigation Laboratory, LLC (Bolshoy bld, 42, building 1, office 1098/10, Skolkovo innovation center, Moscow, 121205, Russia); e-mail: a.vasilenko@unavlab.com

Поступила в редакцию 04.03.2026
Прошла рецензирование 30.04.2026
Принята к публикации 01.06.2026

Received 04.03.2026
Revised 30.04.2026
Accepted 01.06.2026

ВОДОЛАЗНОЕ ДЕЛО / DIVING REGULATIONS

Оригинальная статья | Original paper

DOI: <https://doi.org/10.26175/URC.2026.98.56.007>

УДК 626.02



Количественная оценка кислородной интоксикации центральной нервной системы: ОБЗОР

А. М. Ярков , С. А. Бычков 

АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества»,
г. Санкт-Петербург, Россия
y-andrei@mail.ru

Аннотация

Кислородная интоксикация центральной нервной системы (ЦНС) остаётся одной из наиболее значимых проблем водолазной медицины и гипербарической физиологии, поскольку её развитие может сопровождаться серьёзными последствиями для здоровья водолаза. Несмотря на более чем столетний период изучения этого явления, практическая оценка риска остаётся затруднённой из-за различий между расчётными подходами, использующими разные шкалы оценки интоксикации ЦНС при избыточном парциальном давлении кислорода (pO_2). Цель статьи — рассмотреть и сопоставить два подхода к оценке кислородной токсичности для ЦНС: модель Бейкера, в которой накопленное кислородное воздействие оценивается относительно предельного времени, установленного для соответствующего значения pO_2 , и модель Ариэли, позволяющую представить риск кислородного токсического поражения ЦНС в вероятностной форме. Показано, что эти модели не являются взаимоисключающими, а дополняют друг друга при оценке гипероксических воздействий на ЦНС. Сравнение представленных моделей позволяет показать, что различие получаемых результатов связано не с ошибкой расчёта, а с использованием разных принципов оценки токсического влияния избыточного pO_2 на центральную нервную систему.

Ключевые слова

кислородная токсичность, интоксикация центральной нервной системы, гипероксия, парциальное давление кислорода, кислородная нагрузка, водолазная медицина, гипербарическая физиология

Для цитирования

Ярков А. М., Бычков С. А. Количественная оценка кислородной интоксикации центральной нервной системы: ОБЗОР. *Гидрокосмос*. 2026;4(1):105–121. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.98.56.007>

Quantitative Assessment of Central Nervous System Oxygen Toxicity: A Review

Andrej M. Yarkov , Sergej A. By`chkov 

АНО “Underwater Research Center of the Russian Geographical Society”, St. Petersburg, Russia
y-andrei@mail.ru

Abstract

Oxygen intoxication of the central nervous system (CNS) remains one of the most significant problems in diving medicine and hyperbaric physiology, as its development can have serious consequences for the diver's health. Despite more than a century of research on this phenomenon, practical risk assessment remains challenging due to differences in calculation approaches that use different scales to assess the intoxication of excess partial oxygen pressure (pO_2) on the CNS. The purpose of this article is to review and compare two approaches to assessing oxygen toxicity for the central nervous system: the Baker model, which evaluates the accumulated oxygen exposure relative to the time limit set for the corresponding pO_2 value, and the Arieli model, which presents the risk of oxygen toxicity to the central nervous system in a probabilistic form. It is shown that these models are not mutually exclusive, but rather complement each other in assessing hyperoxic effects on the central nervous system.

Keywords

oxygen toxicity, central nervous system intoxication, hyperoxia, partial pressure of oxygen, oxygen load, diving medicine, hyperbaric physiology

For citation

Yarkov A. M., Bychkov S. A. Quantitative Assessment of Central Nervous System Oxygen Toxicity: A Review. *Hydrocosmos*. 2026;4(1):105–121. <https://doi.org/10.26175/URC.2026.98.56.007>

ВВЕДЕНИЕ/АКТУАЛЬНОСТЬ

Развитие технологий неразрывно связано с усложнением создаваемых человеком систем, расширением представлений о физических и биологических закономерностях, а также поиском допустимых пределов адаптации человеческого организма к экстремальным условиям окружающей среды. Одним из примеров подобного технологического прогресса в водолазном деле стало широкое внедрение водолазных дыхательных аппаратов с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением (ВДА с ЗСД и ЭУ), позволяющих существенно увеличить эффективность подводных работ и продолжительность пребывания человека под водой [1].

Современные ВДА с ЗСД и ЭУ обеспечивают поддержание постоянного парциального давления кислорода (pO_2) в дыхательном контуре водолазного аппарата, что позволяет оптимизировать режим декомпрессии и сократить продолжительность декомпрессионных остановок. Вместе с тем их эксплуатация сопровождается длительным воздействием повышенных парциальных давлений кислорода, находящихся на границе между физиологически допустимым уровнем и развитием токсических эффектов [2]. Повышение pO_2 уменьшает долю инертного газа в дыхательной смеси и тем самым способствует снижению продолжительности декомпрессионных остановок. Однако это достигается за счёт более

длительного воздействия повышенного pO_2 , что при увеличении времени спуска, физической нагрузке, задержке углекислого газа или превышении **допустимых** значений pO_2 может повышать риск кислородной интоксикации ЦНС [3]. Наиболее опасным проявлением гипероксического воздействия является поражение ЦНС, характеризующееся внезапным развитием судорог с потерей сознания и вероятностью утопления в условиях водолазного спуска [4].

В связи с этим одной из важнейших задач современной водолазной медицины является применение расчётных моделей, позволяющих соотносить величину парциального давления кислорода и продолжительность его воздействия с рекомендуемыми предельными значениями pO_2 , а также оценивать риск клинических проявлений кислородного токсического влияния на ЦНС [5]. Подобные модели необходимы как для повышения безопасности водолазных спусков, так и для совершенствования ВДА с ЗСД и ЭУ.

Феномен токсического влияния кислорода на ЦНС известен как эффект Поля Берта (Paul Bert), впервые описанный во второй половине XIX века. В ходе экспериментов в гипербарической камере было доказано, что кислород при повышенном давлении может быть токсичен и даже смертелен для различных живых организмов [6]. Последующие исследования подтвердили, что выраженность токсического

эффекта зависит от pO_2 и длительности воздействия кислорода на организм.

Воздействие кислорода на ЦНС носит двухфазный характер: первоначально отмечается улучшение когнитивных функций и скорости психомоторных реакций, а затем — фаза торможения корковых процессов головного мозга, сопровождающаяся нарушением координации и внимания.

Механизм кислородной интоксикации центральной нервной системы связывают с избыточным образованием активных форм кислорода (АФК) при повышенном pO_2 [3]. Повышенное pO_2 усиливает образование активных форм кислорода, включая супероксид анион-радикал, перекись водорода и гидроксильный радикал. Супероксид анион-радикал может взаимодействовать с оксидом азота с образованием пероксинитрита, относящегося к реакционноспособным азотсодержащим соединениям. Избыточное образование таких соединений при недостаточности антиоксидантной защиты способствует повреждению клеточных мембран, нарушению нейромедиаторной регуляции и изменению сосудистого тонуса [2]. Эти процессы могут приводить к повышению возбудимости нейронов и активации электрической активности коры головного мозга. Такие изменения предшествуют генерализованным судорогам. Предполагается, что АФК нарушают ионную проводимость и синаптическую передачу, повышая возбудимость нейронов.

Появление продромальных симптомов требует немедленного снижения pO_2 , что позволяет избежать судорог. Развитие токсического эффекта определяется сочетанием давления и времени воздействия: чем выше pO_2 , тем короче латентный период. Гиперкапния, физическая нагрузка, обезвоживание и голодание повышают восприимчивость к кислородной интоксикации.

Токсическое действие кислорода на организм человека может проявляться в лёгочной, сосудистой и судорожной формах. Характер клинических проявлений, скорость их развития и степень тяжести зависят от парциального давления кислорода, продолжительности экспозиции, состава дыхательной смеси и индивидуальной устойчивости организма к гипероксии [7].

Лёгочная форма кислородной интоксикации развивается преимущественно при длительном воздействии повышенного pO_2 .

Дыхание кислородсодержащими смесями при атмосферном давлении с pO_2 около 40 кПа может переноситься человеком в течение длительного времени: до 1,5–2,5 месяца. В то же время воздействие медицинского кислорода с pO_2 50–250 кПа способно сопровождаться развитием острой лёгочной формы отравления. Отчётливые признаки так называемого лёгочного ожога могут появляться уже через 8 часов при pO_2 около 100 кПа и через 3 часа при pO_2 около 250 кПа. Клинически лёгочная форма проявляется першением в горле, сухим кашлем, загрудинной болью, усиливающейся при глубоком дыхании, а при дальнейшем развитии — воспалительным поражением лёгочной ткани, отёком и нарушением газообмена¹.

Сосудистая форма кислородной интоксикации связана с нарушением сосудистого тонуса и сердечно-сосудистой регуляции. Она может развиваться у лиц с повышенной индивидуальной чувствительностью как при высоких pO_2 около 250 кПа и более, так и при относительно низких значениях около 50 кПа. Клинически эта форма проявляется внезапным расширением кровеносных сосудов и резким ослаблением сердечной деятельности, напоминая по картине коллапс. В отличие от лёгочной и судорожной форм, для сосудистой формы труднее указать универсальные безопасные пределы экспозиции, поскольку значительную роль играет индивидуальная чувствительность.

Судорожная форма является острым проявлением кислородной интоксикации ЦНС и характеризуется появлением неврологических предвестников: потерей сознания и судорогами, сходными с эпилептическими. Для описания ранних клинических проявлений кислородной интоксикации ЦНС в зарубежной литературе широко используется мнемоническая схема VENTID-C²:

V — Vision: зрительные нарушения, туннельное или мерцающее зрение;

E — Ears: звуковые галлюцинации, звон в ушах;

N — Nausea: тошнота, головокружение;

T — Twitching: подёргивания мышц лица, губ и конечностей;

¹ Naval Sea Systems Command, United States Department of the Navy. U. S. Navy Diving Manual. 5th ed. Washington, Government Printing Office, 2005.

² Ibid.

I — Irritability: повышенная возбудимость, тревожность, чувство страха;

D — Dizziness: потеря координации, шаткость походки;

C — Convulsions: генерализованные судороги, схожие с эпилептическими.

Для судорожной формы кислородной интоксикации необходимо различать условия воздействия: в сухих гипербарических условиях токсическое действие кислорода на ЦНС обычно описывается при более высоких значениях pO_2 порядка 300 кПа и более, а при 500 кПа и выше возможно молниеносное развитие отравления с внезапной потерей сознания без выраженных предвестников [8]. Однако при водолазных спусках практические допустимые пределы устанавливаются значительно ниже, поскольку судороги с потерей сознания в воде создают непосредственный риск утопления и баротравмы, а физическая нагрузка, холод, стресс, сопротивление дыханию и задержка CO_2 могут снижать устойчивость организма к гипероксии [9; 10]. Поэтому для работы под водой pO_2 ограничивают до 140–160 кПа, тогда как более высокие значения рассматриваются только для кратковременных или исключительных условий с жёстким ограничением экспозиции, например у военных водолазов.

Таким образом, предупреждение кислородной интоксикации ЦНС является необходимым условием безопасного планирования водолазных спусков, особенно при использовании дыхательных смесей с повышенным pO_2 и аппаратов с ЗСД. Практическая сложность заключается в том, что риск кислородной интоксикации ЦНС определяется не только величиной pO_2 , но и продолжительностью его воздействия, условиями выполнения работ, физической нагрузкой, задержкой углекислого газа и индивидуальной устойчивостью водолаза. В связи с этим для оценки допустимости выбранного режима дыхания применяются расчётные модели, позволяющие учитывать pO_2 , время воздействия кислорода и характер изменения этих параметров в ходе водолазного спуска. Целью настоящего исследования является рассмотрение и сопоставление двух расчётных моделей оценки кислородной интоксикации ЦНС — модели Бейкера/NOAA и модели Ариэли — с определением различий в смысле получаемых показателей и возможностей их применения в водолазной медицине и гипербарической физиологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Первые количественные модели кислородной интоксикации ЦНС предложил К. Дж. Ламбертсен (C. J. Lambertsen), установив связь между временем воздействия (экспозицией) парциального давления кислорода и возникновением судорог [11]. На основании этих исследований в 1950–1970-х годах ВМС Великобритании и Экспериментальным водолазным подразделением ВМС США были разработаны кривые толерантности к кислороду, то есть зависимости, отражающие допустимую продолжительность дыхания кислородом при различных значениях его парциального давления, и предложена интегральная оценка накопления кислородной интоксикации ЦНС в процентах (CNS, %). Этот показатель рассчитывался как:

$$CNS = \sum \frac{t_i}{t_{lim}(pO_{2,i})} \cdot 100, \quad (1)$$

где *CNS* — суммарный показатель кислородной интоксикации центральной нервной системы, %;

t_i — время экспозиции при данном pO_2 ;

t_{lim} — лимитирующее (допустимое) время для данного pO_2 , установленное экспериментально;

$pO_{2,i}$ — парциальное давление кислорода на i -м интервале;

i — номер расчётного интервала.

При достижении 100 % считается, что установленное для данного pO_2 допустимое время воздействия кислорода полностью использовано. Эта система была стандартизирована Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США (NOAA) при разработке рекомендуемых пределов максимальной однократной экспозиции, охватывающих диапазон $pO_2 = 60$ –160 кПа (см. табл. 1)³. В рекомендациях NOAA было установлено предельно допустимое время дыхания кислородом для отдельных значений pO_2 , каждому из которых соответствует своя максимальная продолжительность однократного воздействия.

³ Joiner J. T. NOAA Diving Manual: Diving for Science and Technology. 4th ed. Flagstaff, AZ, Best Publishing Company, 2001, 668 p.

Таблица 1. Рекомендованные экспозиции при дыхании кислородом
Table 1. Recommended exposures for oxygen breathing

Давление (ATA), кПа	Максимальная однократная экспозиция, мин / часы
160	45 / 0,75
150	120 / 2,0
140	150 / 2,5
130	180 / 3,0
120	210 / 3,5
110	240 / 4,0
100	300 / 5,0
90	360 / 6,0
80	450 / 7,5
70	570 / 9,5
60	720 / 12,0

С развитием спортивного и технического дайвинга возникла необходимость более удобного практического подхода к расчёту кислородной экспозиции, то есть воздействия кислорода, определяемого величиной pO_2 и продолжительностью дыхания соответствующей газовой смесью при сложных и переменных профилях водолазного спуска. В начале 2000-х годов Роберт Палмер (Robert Palmer) предложил практическую интерпретацию ограничений NOAA в виде таблицы скорости развития кислородной интоксикации, выраженной в процентах в минуту⁴ (см. табл. 2) [12, с. 33].

В данной системе каждому уровню pO_2 соответствует определённая скорость накопления кислородной интоксикации ЦНС, что позволило рассчитывать суммарную кислородную экспозицию путём умножения скорости интоксикации на время воздействия.

С начала 2000-х годов данный подход получил распространение в учебных системах Всемирной конфедерации подводной деятельности (фр. Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques, CMAS). Вместе с тем данный способ сохранял эмпирический характер, поскольку основывался на табличных значениях скорости увеличения показателя кислородной интоксикации ЦНС при заданном pO_2 и предполагал, что суммарное значение кислородной интоксикации ЦНС возрастает прямо пропорционально времени воздействия. В дальнейшем развитие ВДА с ЗСД и сложных профилей изменения pO_2 привело к созданию более сложных математических моделей кислородной токсичности для ЦНС.

Первые отечественные исследования по определению допустимой продолжительности дыхания кислородно-азотными смесями (КАС) при повышенных значениях pO_2 в условиях водолазных спусков относятся к 1960-м годам [13].

⁴ The Sports Diver Nitrox Workshop. British Sub-Aqua Club. 2006, 31 p.

Таблица 2. Нейротоксичность кислорода
Table 2. Oxygen neurotoxicity

Парциальное давление кислорода, кгс/см ²	Скорость интоксикации, % в мин	Парциальное давление кислорода, кгс/см ²	Скорость интоксикации, % в мин	Парциальное давление кислорода, кгс/см ²	Скорость интоксикации, % в мин
0,60	0,14	1,02	0,35	1,44	0,71
0,62	0,14	1,04	0,36	1,46	0,74
0,64	0,15	1,06	0,38	1,48	0,78
0,66	0,16	1,08	0,40	1,50	0,83
0,68	0,17	1,10	0,42	1,52	0,93
0,70	0,18	1,12	0,43	1,54	1,04
0,72	0,18	1,14	0,43	1,56	1,19
0,74	0,19	1,16	0,44	1,58	1,47
0,76	0,20	1,19	0,46	1,60	2,22
0,78	0,21	1,20	0,47	1,62	5,0
0,80	0,22	1,22	0,48	1,65	6,25
0,82	0,23	1,24	0,51	1,67	7,69
0,84	0,24	1,26	0,52	1,70	10,0
0,86	0,25	1,28	0,54	1,72	12,5
0,88	0,26	1,30	0,56	1,74	20,0
0,90	0,28	1,32	0,57	1,77	25,0
0,92	0,29	1,34	0,60	1,78	31,25
0,94	0,30	1,36	0,62	1,80	50,0
0,96	0,31	1,38	0,63	1,87	100,0
0,98	0,32	1,40	0,65		
1,00	0,33	1,42	0,68		

В исследованиях под руководством В. В. Смолина (1961–1964 гг.), были уточнены допустимые экспозиции при различных уровнях парциального давления кислорода. Согласно полученным данным, предельно допустимая продолжительность дыхания составляла: до 60 мин. при pO_2 180 кПа, до 90 мин. при pO_2 160 кПа, до 180 мин. при pO_2 140 кПа и до 240 мин. при pO_2 120 кПа [14]. При выполнении тяжёлой физической работы рекомендовалось ограничивать максимальное pO_2 величиной 160 кПа, что было связано с увеличением риска развития кислородной интоксикации ЦНС при повышенной физической нагрузке и возможном накоплении CO_2 [15]. Позднее данные подходы получили развитие в работах отечественных специалистов по водолазной медицине. Труды были посвящены особенностям применения аппаратов с замкнутой схемой дыхания и оценке устойчивости водолазов к гипероксическим воздействиям [16].

Следует отметить, что в различных странах допустимые пределы pO_2 и глубины его применения существенно различаются. Эти различия обусловлены национальными нормативными требованиями, практикой подготовки водолазов, характером выполняемых работ, используемым снаряжением и принятыми критериями допустимого риска. Так, в отечественной водолазной практике при использовании кислородных дыхательных аппаратов и таблиц режимов декомпрессии глубина спусков традиционно ограничивается до 20 м, что соответствует парциальному давлению кислорода до 300 кПа [17]. В то же время в рекомендациях NOAA и ВМС США обычно рекомендуется при использовании КАС в любительском и техническом дайвинге ограничивать рабочее pO_2 величиной 140 кПа, а уровень 160 кПа рассматривается как кратковременно допустимый предел [9].

Вместе с тем в лечебной гипербарической практике США применяются значительно более высокие уровни pO_2 . Например, в ряде режимов гипербарической оксигенации используются давления 240–280 кПа, что соответствует глубине около 14–18 м водяного столба [18; 19]. Таким образом, допустимые пределы гипероксического воздействия существенно различаются в зависимости от характера применения кислорода, уровня физической нагрузки и критериев допустимого риска.

Развитие модели КТ — ЦНС в работах Эрика Бейкера (Erik C. Baker)

В конце XX века в техническом дайвинге получили применение алгоритмы расчёта показателя кислородной интоксикации ЦНС, который используется для оценки воздействия повышенного pO_2 на центральную нервную систему и выражает степень использования допустимого времени дыхания кислородом. Эти алгоритмы основывались на ограничениях NOAA и линейной интерполяции допустимых значений времени воздействия [20; 21]. Значительный вклад в развитие программных методов расчёта кислородной интоксикации ЦНС и декомпрессионного моделирования внёс Эрик Бейкер, предложивший математические методы расчёта кислородной интоксикации ЦНС при переменном парциальном давлении кислорода [22; 23]. В отличие от исходных табличных лимитов NOAA, ограниченных дискретными значениями времени экспозиции, подход Бейкера предусматривал переход к непрерывным математическим зависимостям, что позволило выполнять более точные вычисления для сложных погружений с частым изменением глубины, которое приводит к изменению pO_2 [24]. Предложенные им алгоритмы расчёта кислородной интоксикации ЦНС, а также алгоритмы градиент-фактора получили широкое распространение в системах планирования погружений и современных водолазных декомпрессиметрах.

Для выполнения расчётов Бейкер предложил представить табличные значения предельного времени воздействия кислорода, приведённые в рекомендациях NOAA для отдельных значений pO_2 , в виде набора линейных зависимостей. Для каждого диапазона парциального давления кислорода предельное время (T_{lim}) описывается уравнением прямой:

$$T_{lim} = m \cdot pO_2 + b, \quad (2)$$

где T_{lim} — предельная продолжительность воздействия кислорода при заданном значении pO_2 , мин.;

pO_2 — парциальное давление кислорода (ATA);

m и b — коэффициенты уравнения прямой для соответствующего интервала pO_2 . Они определяют наклон (m) и положение линейной зависимости (b) между pO_2 и предельным временем его воздействия (см. табл. 3).

Таблица 3. Коэффициенты m и b для расчёта T_{lim} по модели Бейкера
Table 3. Coefficients m and b for calculating T_{lim} using the Baker model

Диапазон pO_2 , кПа	m , мин/кПа	b , мин.
50–60	–18	1800
60–70	–15	1620
70–80	–12	1410
80–90	–9	1170
90–110	–6	900
110–150	–3	570
150–160	–7,5	1245

Текущее pO_2 должно быть больше нижней границы диапазона и меньше либо равно верхней границе. Например, $pO_2 = 130$ кПа попадает в диапазон 110–150 кПа, поэтому:

$$T_{lim} = -3 \cdot 130 + 570 = 180 \text{ мин.}$$

Это совпадает с NOAA-значением для 130 кПа: 180 мин.

На следующем этапе была сформулирована базовая расчётная схема для условий постоянного парциального давления кислорода. В этом случае суммарный показатель кислородной интоксикации ЦНС определяется как отношение фактического времени экспозиции к предельному времени:

$$CNS = \frac{t}{T_{lim}}, \tag{3}$$

где t — время воздействия.

Эта величина интерпретируется как доля использованного допустимого лимита, представляемая обычно в %.

Однако реальный профиль погружения, как правило, характеризуется изменением pO_2 во времени (например, при спуске

или подъёме). Для описания таких условий Бейкер рассматривает изменение парциального давления как линейную функцию времени:

$$pO_2(t) = pO_{2o} + kt, \tag{4}$$

где k — скорость изменения pO_2 ;

pO_{2o} — начальное парциальное давление кислорода в момент начала рассматриваемого участка времени;

t — время воздействия.

Подставляя эту зависимость в выражение для предельного времени, получаем:

$$T_{lim(t)} = m(pO_{2o} + kt) + b. \tag{5}$$

При изменяющемся pO_2 значение кислородной интоксикации ЦНС нельзя рассчитать по одному фиксированному предельному времени. Поэтому рассматриваемый участок разбивается на малые интервалы времени, для каждого из которых рассчитывается показатель кислородной интоксикации ЦНС за данный интервал:

$$d(CNS) = \frac{dt}{T_{lim}(t)}. \quad (6)$$

Интегрирование данного выражения на интервале времени t_x приводит к аналитической формуле:

$$CNS_{fraction} = \frac{1}{mk} [\ln | T_{lim,i} + mkt_x | - \ln | T_{lim,i} |], \quad (7)$$

где $T_{lim,i}$ — начальное значение предельного времени для рассматриваемого интервала.

Таким образом, Бейкер получил аналитическое выражение, позволяющее рассчитывать показатель кислородной интоксикации ЦНС не только при постоянном pO_2 , но и на участках спуска или подъёма водолаза, где парциальное давление кислорода изменяется линейно во времени. Дальнейшее развитие модели связано с учётом того факта, что в процессе спуска или подъёма профиль pO_2 может пересекать несколько диапазонов, для которых коэффициенты m и b различны. В этом случае весь интервал разбивается на поддиапазоны, для каждого из которых выполняется расчёт с использованием соответствующих коэффициентов, после чего результаты суммируются:

$$CNS_{total} = \sum_i CNS_i. \quad (8)$$

Такой способ расчёта позволяет учитывать зависимость T_{lim} от текущего значения pO_2 и рассчитывать кислородную интоксикацию ЦНС при изменяющемся pO_2 , в том числе на участках водолазного спуска и подъёма.

Модель Бейкера имеет прикладной расчётный характер. Она не описывает механизмы развития кислородной интоксикации центральной нервной системы, а переводит табличные пределы NOAA в форму, пригодную для последовательного расчёта показателя кислородной интоксикации ЦНС при постоянном или изменяющемся pO_2 . В этом случае показатель кислородной интоксикации ЦНС отражает степень использования допустимого времени воздействия кислорода, установленного для соответствующего значения парциального давления кислорода.

Бейкер использовал язык программирования Fortran для написания кода,

позволяющего рассчитать количество израсходованного допустимого лимита кислородной экспозиции⁵.

Авторы статьи предлагают перенести код на более современный язык программирования Python, который можно свободно использовать в приложениях с искусственным интеллектом, таких как ChatGPT или отечественное Alice AI (см. рис. 1). В предложенной программной реализации используется уравнение (2) из модели Бейкера. Отличие состоит в том, что при изменяющемся pO_2 расчёт выполняется не для одного фиксированного значения pO_2 , а последовательно по времени.

```
import math

PO2_LO = (0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.1, 1.5)
PO2_HI = (0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.1, 1.5, 1.6)
M = (-1800, -1500, -1200, -900, -600, -300, -750)
B = (1800, 1620, 1410, 1170, 900, 570, 1245)

def t_lim(po2):
    if po2 <= 0.5:
        return math.inf
    for lo, hi, m, b in zip(PO2_LO, PO2_HI, M, B):
        if lo < po2 <= hi:
            return m * po2 + b
    raise ValueError("pO2 is outside the Baker/NOAA range")

def cns_segment(po2_start, po2_end, duration, steps=1000):
    dt = duration / steps
    cns = 0
    for i in range(steps):
        x = (i + 0.5) / steps
        po2 = po2_start + (po2_end - po2_start) * x
        cns += dt / t_lim(po2)
    return cns

def baker_cns(profile, transition_time=0):
    total = 0

    for i in range(len(profile)):
        duration, po2 = profile[i]
        total += cns_segment(po2, po2, duration)

        if i < len(profile) - 1 and transition_time > 0:
            next_po2 = profile[i + 1][1]
            total += cns_segment(po2, next_po2, transition_time)

    return total * 100
```

Рис. 1. Программный код расчёта КТ — ЦНС по методике Бейкера / NOAA

Fig. 1. Software code for calculating CT — CNS using the Baker / NOAA method

⁵ Baker E. C. Oxygen Toxicity Calculations [Digital resource]. Technical diving manuscript / technical note. URL: https://www.swiss-cave-diving.ch/PDF-dateien/OxToxCalc_Baker3.pdf.

В каждый момент расчёта определяется текущее значение pO_2 , зависящее от времени на рассматриваемом участке водолазного спуска. По нему рассчитывается соответствующее предельное время T_{lim} , после чего вычисляется вклад данного интервала в показатель кислородной интоксикации ЦНС:

$$CNS = \int \frac{dt}{T_{lim}(pO_2(t))}. \quad (9)$$

То есть учитывается реальное плавное изменение pO_2 без скачков между сегментами pO_2 , так же как в современных водолазных компьютерах (декомпрессиметрах).

Рассмотрим пример расчёта КТ — ЦНС с изменением pO_2 в дыхательной смеси с течением времени при спуске в ВДА с ЗСД и ЭУ при следующих параметрах: 3 мин. — 70 кПа, 15 мин. — 130 кПа, 10 мин. — 160 кПа. Переход между значениями изменения pO_2 при подъёме/спуске будет равен 30 с.

При расчёте накопленной кислородной экспозиции вклад отдельных участков профиля составил: при pO_2 70 кПа — около 0,53 %, в переходный период от 70 до 130 кПа — около 0,17 %, при pO_2 130 кПа — около 8,33 %, в период изменения pO_2 от 130 до 160 кПа — около 0,44 %, при pO_2 160 кПа — около 22,22 % от суммарной нагрузки на ЦНС.

Итог: КТ — ЦНС = 31,7 % — умеренная нагрузка в пределах допустимого (обычно лимит составляет 80–100 %).

В модели Бейкера процентное значение отражает долю использованного допустимого времени воздействия кислорода при заданном парциальном давлении. Оно рассчитывается как отношение фактического времени дыхания к предельному времени T_{lim} , установленному для данного уровня pO_2 на основе экспериментальных данных. Таким образом, 100 % соответствует достижению рекомендованного предела экспозиции, при котором риск развития кислородной интоксикации ЦНС считается допустимо высоким, а значения ниже 100 % показывают, какая часть этого лимита уже израсходована. Важно, что этот показатель не является вероятностью развития судорог и не отражает напрямую риск кислородной интоксикации ЦНС. Он служит практическим расчётным ориентиром, позволяющим оценить, какая часть допустимого времени воздействия кислорода при заданном pO_2 уже использована, и не допустить

превышения принятого предельного значения кислородной интоксикации ЦНС.

Развитие модели КТ — ЦНС в работах Рэна Ариэли (Ran Arieli)

В начале 2000-х годов Рэн Ариэли и его коллеги из Израильского военно-морского медицинского института предложили использовать расчётную зависимость, связывающую индекс кислородной интоксикации с продолжительностью воздействия повышенного pO_2 и величиной парциального давления кислорода [25; 26]:

$$K = t^2 (pO_2)^{6,8}, \quad (10)$$

где K — индекс КТ — ЦНС;

t — продолжительность гипероксического воздействия, мин;

pO_2 — парциальное давление кислорода (АТА).

Показатель степени 6,8 отражает нелинейное увеличение кислородной интоксикации ЦНС при повышении pO_2 .

Для оценки кислородной интоксикации ЦНС при pO_2 выше 130 кПа в модели Ариэли используется интегральный индекс (K), учитывающий как величину парциального давления кислорода, так и продолжительность его воздействия:

$$K = \left[\int_0^{t_{tox}} (pO_2)^{3,4} dt \right]^2, \quad (11)$$

где K — индекс кислородной интоксикации ЦНС;

pO_2 — текущее значение парциального давления кислорода в момент времени t ;

3,4 — эмпирически выбранный показатель степени, отражающий нелинейную зависимость между величиной pO_2 и вкладом этого параметра в расчётный индекс кислородной интоксикации: чем выше pO_2 , тем быстрее возрастает значение интегрального показателя.

dt — очень короткий расчётный интервал времени, в пределах которого значение pO_2 считается текущим для данного момента;

t_{iox} — общая продолжительность гипероксического воздействия, то есть время дыхания газовой смесью с повышенным pO_2 ;

$\int_0^{t_{tox}}$ — суммирование воздействия кислорода за весь рассматриваемый интервал времени от начала воздействия до момента t_{iox} .

Эта форма уравнения описывает суммарное воздействие повышенного pO_2 за весь рассматриваемый период времени. При изменении pO_2 во времени вклад каждого участка определяется текущим значением парциального давления кислорода и продолжительностью его воздействия, после чего эти значения суммируются в интегральный индекс кислородной интоксикации (K).

Для расчётов при ступенчатом изменении парциального давления кислорода использовалась дискретная форма. В этом случае весь период воздействия разделяется на отдельные интервалы, в пределах каждого из которых значение pO_2 принимается постоянным [27; 28]:

$$K = \left(\sum_{i=1}^n t_i (pO_{2,i})^{3,4} \right)^2, \quad (12)$$

где t_i — длительность i -го интервала;

$pO_{2,i}$ — парциальное давление кислорода на данном интервале;

n — число интервалов экспозиции.

Такая запись упрощает расчёт в случаях, когда pO_2 меняется не непрерывно, а по отдельным временным интервалам с заданными значениями. Это позволяет применять модель Ариэли к водолажным спускам и режимам гипербарической оксигенации, где продолжительность воздействия кислорода и его парциальное давление заранее известны или могут быть разделены на расчётные участки. При достижении интегрального индекса $K = 26108$ модель Ариэли соответствует приблизительно 1 % вероятности возникновения судорог. Поэтому данное значение следует рассматривать не как абсолютный порог обязательного развития кислородной интоксикации ЦНС, а как расчётный ориентир, связанный с выбранным уровнем риска. В дальнейшем модель Ариэли была расширена до оценки риска. На основании обработки экспериментальных данных

было показано, что преобразованная величина $\ln(K^{0,5})$ распределяется близко к нормальному закону, то есть её значения группируются вокруг среднего и могут быть описаны через стандартное отклонение. Это позволило использовать индекс K для расчёта вероятности возникновения судорожной формы кислородной интоксикации ЦНС. Для расчёта этой вероятности была введена нормированная переменная риска Z [29]:

$$Z = \frac{\ln(K^{0,5}) - 9,63}{2,02}, \quad (13)$$

где Z — нормированная переменная, характеризующая вероятность развития судорожной формы кислородной токсичности;

K — индекс КТ — ЦНС;

9,63 — среднее значение распределения, а 2,02 — его стандартное отклонение, полученные эмпирически при анализе экспериментальных данных. Параметры модели были определены для условий физической активности порядка 4,4 МЕТ (метаболический эквивалент нагрузки), что соответствует умеренной физической нагрузке и отражает условия, характерные для гипербарических и водолажных спусков.

Вероятность развития симптомов кислородной интоксикации ЦНС определялась через функцию распределения стандартного нормального закона. В этой модели значение Z показывает, насколько рассчитанный уровень воздействия отличается от среднего значения, а функция распределения позволяет перевести это отклонение в вероятность возникновения судорожной формы кислородной интоксикации ЦНС:

$$P = \Phi(Z). \quad (14)$$

Применение вероятностной модели позволило связать расчётный индекс K, учитывающий pO_2 и продолжительность его воздействия, с вероятностью возникновения судорожной формы кислородной интоксикации ЦНС. В модели Ариэли индекс K используется для вероятностной оценки риска судорожной формы кислородной интоксикации ЦНС. Для водолажного погружения уровень $K = 26108$ соответствует приблизительно 1 % риска.

При увеличении выбранного уровня допустимого риска возрастают и соответствующие значения индекса: $K = 58571$ для 2 %, $K = 196811$ для 4 % и $K = 432700$ для 6 %. Эти величины не являются порогами обязательного развития судорог, а отражают выбранный расчётный уровень риска [27; 28]. Более высокий индекс допускается при использовании дыхательных смесей с высоким pO_2 в состоянии покоя [12, с. 43; 29].

В последующих работах модель была дополнена расчётом уменьшения индекса K после прекращения воздействия повышенного pO_2 . Под этим понимается снижение расчётного значения K в период дыхания воздухом или газовой смесью с более низким pO_2 :

$$K_{rec} = K e^{-0.079 t_{rec}}, \quad (15)$$

где K_{rec} — значение индекса K после периода дыхания воздухом или смесью с более низким pO_2 ;

K — значение индекса до начала этого периода;

t_{rec} — продолжительность периода снижения воздействия повышенного pO_2 .

Данная модификация позволила применять модель к режимам с чередованием периодов повышенного pO_2 и периодов дыхания воздухом или смесью с меньшим pO_2 , например при лечебной рекомпрессии и повторных воздействиях кислорода.

Таким образом, модель Ариэли позволяет не только рассчитывать K с учётом величины pO_2 и времени его воздействия, но и связывать этот индекс с вероятностью кислородной интоксикации ЦНС. В последующих работах модель была дополнена расчётом снижения K в периоды дыхания воздухом или смесью с более низким pO_2 , что важно для повторных воздействий кислорода и лечебной рекомпрессии.

Применяя язык программирования Python, код для расчёта может быть представлен в следующем виде (см. рис. 2).

Ниже приведён пример расчёта КТ — ЦНС с изменением pO_2 в дыхательной смеси в течение времени при спуске в ВДА с ЗСД

и ЭУ при следующих параметрах: 3 мин. — 70 кПа, 15 мин. — 130 кПа, 10 мин. — 160 кПа. Переход от значений изменения pO_2 при подъёме/спуске равен 30 с. При расчёте по модели Ариэли суммарное значение интегрального показателя составило $\Sigma = 89,28$. После возведения в квадрат получено значение индекса $K = 7971$. Расчётная нормированная переменная составила $Z = -2,54$, что соответствует вероятности развития судорожной формы кислородной интоксикации ЦНС около 0,55 %. Основной вклад в итоговое значение внёс участок дыхания при $pO_2 = 160$ кПа. Данный уровень экспозиции не превышает рекомендуемых ограничений для водолазной практики. Таким образом, интегральная модель Ариэли позволяет учитывать изменение парциального давления кислорода во времени и оценивать суммарную гипероксическую нагрузку на центральную нервную систему. Полученные результаты показывают, что при рассмотренном профиле дыхания уровень экспозиции остаётся в пределах допустимых значений и соответствует низкой вероятности развития судорожной реакции.

```
import math

def convert_po2(po2, unit="kPa"):
    if unit == "kPa":
        return po2 / 100
    if unit in ("bar", "ATA", "ata"):
        return po2
    raise ValueError("unit must be 'kPa', 'bar' or 'ATA'")

def segment_integral(po2_start, po2_end, duration, steps=1000):
    if duration <= 0:
        return 0.0
    dt = duration / steps
    total = 0.0
    for i in range(steps):
        x = (i + 0.5) / steps
        po2 = po2_start + (po2_end - po2_start) * x
        total += (po2 ** 3.4) * dt
    return total

def arieli(profile, transition_time=0.0, unit="kPa", steps=1000):
    sigma = 0.0

    for i, (duration, po2_value) in enumerate(profile):
        po2 = convert_po2(po2_value, unit)
        sigma += segment_integral(po2, po2, duration, steps)

    if i < len(profile) - 1 and transition_time > 0:
        next_po2 = convert_po2(profile[i + 1][1], unit)
        sigma += segment_integral(po2, next_po2, transition_time, steps)

    K = sigma ** 2
    Z = (math.log(math.sqrt(K)) - 9.63) / 2.02
    P = 0.5 * (1 + math.erf(Z / math.sqrt(2))) * 100

    return sigma, K, Z, P
```

Рис. 2. Программный код расчета КТ — ЦНС по методике Ариэли

Fig. 2. Software code for calculating CT — CNS using the Arieli method

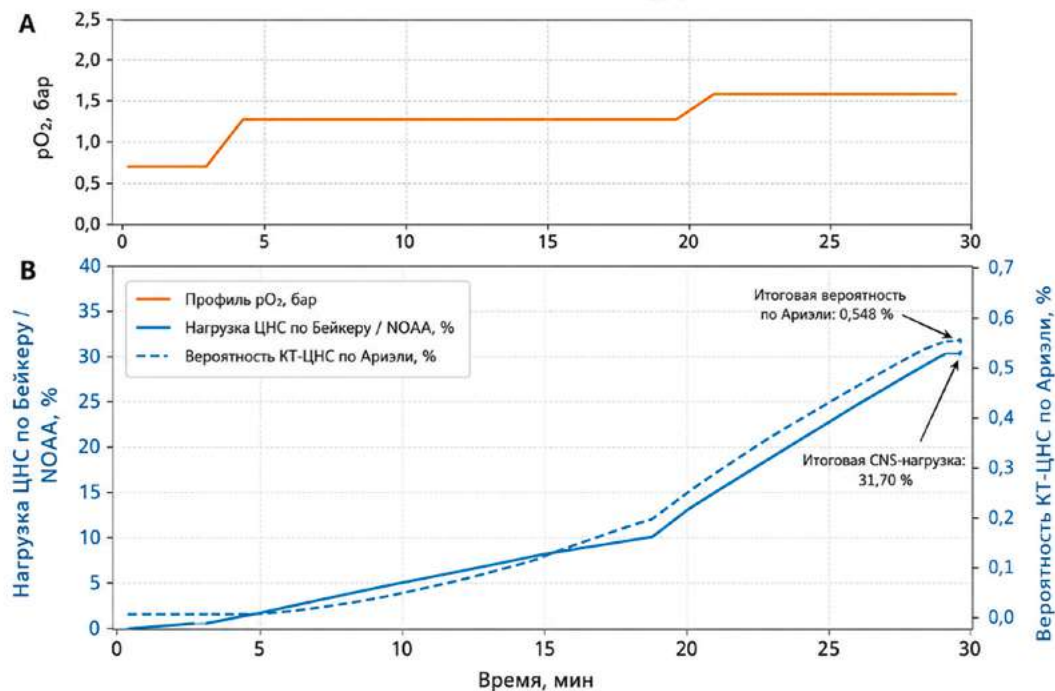


Рис. 3. Пример расчёта кислородного воздействия на центральную нервную систему при изменяющемся pO_2 : А — заданное изменение pO_2 во времени; Б — накопление показателя CNS по Baker / NOAA и расчётная вероятность судорожной формы кислородной интоксикации ЦНС по Ариэли. Условия расчёта: 3 мин. — 70 кПа, 15 мин. — 130 кПа, 10 мин. — 160 кПа; переход между значениями pO_2 — 30 с.

Fig. 3. Example of calculating oxygen exposure to the central nervous system under changing pO_2 : А — specified change in pO_2 over time; Б — accumulation of the CNS index according to Baker / NOAA and the calculated probability of the convulsive form of CNS oxygen toxicity according to Arieli. Calculation conditions: 3 min at 70 kPa, 15 min at 130 kPa, 10 min at 160 kPa; transition between pO_2 values — 30 s.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модель Бейкера и модель Ариэли описывают одно и то же явление разными способами и в разных шкалах. В расчёте по Бейкеру значение 31,7 % означает лишь то, что за время экспозиции израсходовано около трети допустимого лимита кислородного воздействия, установленного на основе табличных данных NOAA. Это, по сути, «учёт времени» с линейной зависимостью от pO_2 через предельное время T_{lim} . В качестве примера для построения графиков (см. рис. 3) использован расчётный режим водолазного спуска в ВДА с ЗСД и ЭУ с последовательным изменением pO_2 : 3 мин. при 70 кПа, 15 мин. при 130 кПа и 10 мин. при 160 кПа. Переход между заданными значениями pO_2 принимался линейным и составлял 30 с. Таким образом, расчётная продолжительность воздействия с учётом двух переходных участков составила 29 мин.

На графике А показано изменение pO_2 во времени. На графике Б представлены результаты расчёта по двум моделям:

сплошная синяя линия отражает накопление показателя кислородной интоксикации ЦНС по модели Бейкера / NOAA, выраженное в процентах от установленного предельного времени воздействия кислорода; пунктирная синяя линия показывает изменение расчётной вероятности судорожной формы кислородной интоксикации ЦНС по модели Ариэли. Для каждого постоянного участка использовалось соответствующее значение pO_2 , а на переходных участках расчёт выполнялся с учётом линейного изменения pO_2 во времени.

По результатам расчёта итоговое значение кислородной интоксикации ЦНС по Бейкеру / NOAA составило 31,7 %, а расчётная вероятность судорожной формы кислородной интоксикации ЦНС по Ариэли — 0,548 %. Представленный пример демонстрирует, что модели дают показатели разной природы: модель Бейкера/NOAA отражает степень использования допустимого времени воздействия кислорода, тогда как модель Ариэли описывает риск кислородной интоксикации ЦНС в вероятностной форме.

Интегральная модель Ариэли позволяет учитывать изменение pO_2 в течение рассматриваемого участка дыхания и оценивать суммарную кислородную интоксикацию ЦНС. Полученные результаты показывают, что при заданных значениях pO_2 и продолжительности дыхания расчётный риск возникновения судорог остаётся низким и не превышает принятых ориентировочных значений для водолазной практики.

В результате одинаковый профиль даёт умеренное значение кислородной интоксикации ЦНС (31,7 %) как долю от лимита, но при этом соответствует низкой вероятности судорог (около 0,548 %) по Ариэли (см. рис. 3). Таким образом, различие между результатами расчёта по моделям Бейкера и Ариэли связано с тем, что эти модели используют разные показатели. В модели Бейкера итоговое

значение выражается в процентах и показывает, какая часть установленного допустимого времени воздействия кислорода была использована при заданных значениях pO_2 . Этот показатель служит для контроля приближения к принятому расчётному пределу и не является вероятностью развития кислородной интоксикации. В модели Ариэли результат имеет иной смысл: сначала рассчитывается интегральный индекс гипероксического воздействия, а затем на его основе определяется вероятность развития судорожной формы кислородной интоксикации ЦНС. Поэтому значение кислородной интоксикации ЦНС по Бейкеру / NOAA и вероятность по Ариэли не должны сравниваться как одинаковые величины. Первое значение характеризует степень использования допустимого времени воздействия, второе — расчётный риск токсического события.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование проведено без дополнительного финансирования.

FUNDING

The study was carried out without additional funding.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare that there is no conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pollock N. W., Sellers S. H., Godfrey J. M., eds. Rebreathers and Scientific Diving. Proceedings of NPS/NOAA/DAN/AAUS Workshop, June 16–19, 2015. Wrigley Marine Science Center, Catalina Island, CA; 2016. 272 p. ISBN: 978-0-9800423-9-9
2. Wingelaar T. T., van Ooij P. J. A. M., van Hulst R. A. Oxygen Toxicity and Special Operations Forces Diving: Hidden and Dangerous. *Frontiers in Psychology*. 2017, vol. 8, article 1263, pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01263>
3. Koch A. E., Koch I., Kowalski J., Schipke J. D., Winkler B. E., Deuschl G., Meyne J. K., Kähler W. Physical Exercise Might Influence the Risk of Oxygen-induced Acute Neurotoxicity. *Undersea and Hyperbaric Medicine*. 2013, vol. 40, no. 2, pp. 155–163.
4. Bitterman N., Laor A., Melamed Y. CNS Oxygen Toxicity in Oxygen-inert Gas Mixtures. *Undersea Biomedical Research*. 1987, vol. 14, no. 6, pp. 477–483.
5. Arieli R. Calculated Risk of Pulmonary and Central Nervous System Oxygen Toxicity: a Toxicity Index Derived from the Power Equation. *Diving and Hyperbaric Medicine*. 2019, vol. 49, no. 3, pp. 154–160. DOI: <https://doi.org/10.28920/dhm49.3.154-160>
6. Bert P. La Pression Barométrique: Recherches de Physiologie Expérimentale. Paris, Masson, 1878, 1168 p.
7. Жиронкин А. Г. Кислород. Физиологическое и токсическое действие. Л.: Наука, 1972. 171 с.
8. Clark J. M., Thom S. R. Oxygen Under Pressure. *The Physiology and Medicine of Diving*. 5th ed. Philadelphia, Saunders, 2003, pp. 358–418.
9. Самойлов А. С., Рылова Н. В., Никонов Р. В. Патогенетические основы определения устойчивости к токсическому действию кислорода // Медицина катастроф. 2025. № 2. С. 44–51. DOI: <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2025-2-44-51>
10. Manning E. P. Central Nervous System Oxygen Toxicity and Hyperbaric Oxygen Seizures. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 2016, vol. 87, no. 5, pp. 477–486. DOI: <https://doi.org/10.3357/AMHP.4463.2016>

11. Lambertsen C. J. Effects of Oxygen at High Partial Pressure. Handbook of Physiology. Section 3: Respiration. Vol. 2. Washington, DC, American Physiological Society, 1965, pp. 1027–1046.
12. Ибрафиллов З. М. Состояние функций организма человека при дыхании газовыми смесями с высоким парциальным давлением кислорода: дис. канд. мед. наук. СПб., 2024. 135 с.
13. Зальцман Г. Л., Кучук Г. А., Гургенидзе А. Г. Основы гипербарической физиологии. Л.: Медицина, 1979. 320 с.
14. Головяшкин Г. В., Глушков В. А. Пособие по организации и медицинскому обеспечению добычи морепродуктов водолазным способом с использованием гипероксических кислородно-азотных смесей. СПб., 2006. 204 с.
15. Каменецкая С. Ю., Макеева А. В., Луцник М. В. Осведомлённость студентов медицинского вуза об особенностях патогенеза гипероксии у водолазов // Международный студенческий научный вестник. 2023. № 6. [Эл. ресурс]. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=21353> (посл. посещение: 12.06.2026).
16. Зверев Д. П., Ибрафиллов З. М., Мясников А. А., Шитов А. Ю., Чернов В. И. Исследование состояния функций организма водолазов с различной устойчивостью к токсическому действию кислорода // Морская медицина. 2022. Том 8. № 3. С. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-3-30-39>
17. Смолин В. В., Соколов Г. Н., Павлов Б. Н. Водолазные спуски до 60 метров и их медицинское обеспечение. М.: Слово, 2013. 608 с. ISBN: 978-5-4348-0013-6
18. Moon R. E., ed. UHMS Hyperbaric Oxygen Therapy Indications 14th edition. North Palm Beach, FL, 2019, 660 p.
19. Neuman T. S., Thom S. R., eds. Physiology and Medicine of Hyperbaric Oxygen Therapy. Philadelphia, Saunders Elsevier, 2008, 768 p. ISBN: 9781416003403
20. Clark J. M. Oxygen toxicity. In: Bennett P. B., Elliott D. H., eds. The Physiology and Medicine of Living. 4th ed. London, Saunders, 1993, pp. 121–169.
21. Hamilton R. W., Kenyon D. J., Peterson R. E., Butler G. J., Beers D. M. REPEX: Development of Repetitive Excursions, Surfacing Techniques, and Oxygen Procedures for Habitat Diving. NURP Technical Report 88-1A. Rockville, MD, NOAA Office of Undersea Research, 1988.
22. Lambertsen C. J. Extension of Oxygen Tolerance in Man: Philosophy and Significance. Experimental Lung Research. 1988, vol. 14, issue supplement 1, pp. 1035–1058. DOI: <https://doi.org/10.3109/01902148809064191>
23. Hamilton R. W., Baker E. C. Reverse Dive Profiles Workshop. Pressure. 2000, 29, pp. 7–9.
24. Jablonski J., Baker E. C. Taking Cave Diving to the Limit. Immersed. 1999, vol. 4, no. 3, pp. 29–33.
25. Arieli R., Hershko G. Prediction of Central Nervous System Oxygen Toxicity in Rats. Journal of Applied Physiology. 1994, vol. 77, issue 4, pp. 1903–1906. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.77.4.1903>
26. Arieli R., Yalov A., Goldenshluger A. Modeling Pulmonary and CNS O₂ Toxicity and Estimation of Parameters for Humans. Journal of Applied Physiology. 2002, vol. 92, issue 1, pp. 248–256. DOI: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00434.2001>
27. Arieli R. Model of CNS O₂ Toxicity in Complex Dives with Varied Metabolic Rates and Inspired CO₂ Levels. Aviation, Space, and Environmental Medicine. 2003, vol. 74, no. 6, pp. 38–642.
28. Arieli R., Shochat T., Adir Y. CNS Toxicity in Closed-circuit Oxygen Diving: Symptoms Reported from 2527 dives. Aviation, Space, and Environmental Medicine. 2006, vol. 77, no. 5, pp. 526–532.
29. Aviner B., Arieli R., Yalov A. Power Equation for Predicting the Risk of Central Nervous System Oxygen Toxicity at Rest. Frontiers in Physiology. 2020, vol. 11, article 1007. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.01007>

REFERENCES

1. Pollock N. W., Sellers S. H., Godfrey J. M., eds. Rebreathers and Scientific Diving. Proceedings of NPS/NOAA/DAN/AAUS Workshop, June 16–19, 2015. Wrigley Marine Science Center, Catalina Island, CA; 2016. 272 p. ISBN: 978-0-9800423-9-9
2. Wingelaar T. T., van Ooij P. J. A. M., van Hulst R. A. Oxygen Toxicity and Special Operations Forces Diving: Hidden and Dangerous. Frontiers in Psychology. 2017, vol. 8, article 1263, pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01263>
3. Koch A. E., Koch I., Kowalski J., Schipke J. D., Winkler B. E., Deuschl G., Meyne J. K., Kähler W. Physical Exercise Might Influence the Risk of Oxygen-induced Acute Neurotoxicity. Undersea and Hyperbaric Medicine. 2013, vol. 40, no. 2, pp. 155–163.
4. Bitterman N., Laor A., Melamed Y. CNS Oxygen Toxicity in Oxygen-inert Gas Mixtures. Undersea Biomedical Research. 1987, vol. 14, no. 6, pp. 477–483.
5. Arieli R. Calculated Risk of Pulmonary and Central Nervous System Oxygen Toxicity: a Toxicity Index Derived from the Power Equation. Diving and Hyperbaric Medicine. 2019, vol. 49, no. 3, pp. 154–160. DOI: <https://doi.org/10.28920/dhm49.3.154-160>
6. Bert P. La Pression Barométrique: Recherches de Physiologie Expérimentale. Paris, Masson, 1878, 1168 p. (In French)

7. Zhironkin A. G. *Kislород. Fiziologicheskoe i toksicheskoe dejstvie* [Oxygen. Physiological and Toxic Effects]. Leningrad, Nauka, 1972, 171 p. (In Russ.)
8. Clark J. M., Thom S. R. *Oxygen Under Pressure. The Physiology and Medicine of Diving*. 5th ed. Philadelphia, Saunders, 2003, pp. 358–418.
9. Samojlov A. S., Rylova N. V., Nikonov R. V. *Patogeneticheskie osnovy` opredeleniya ustojchivosti k toksicheskomu dejstviyu kislороda* [Pathogenetic Foundations for Determining Resistance to the Toxic Effects of Oxygen]. *Medicina katastrof* [Disaster Medicine]. 2025, no. 2, pp. 44–51. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2025-2-44-51>
10. Manning E. P. Central Nervous System Oxygen Toxicity and Hyperbaric Oxygen Seizures. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 2016, vol. 87, no. 5, pp. 477–486. DOI: <https://doi.org/10.3357/AMHP.4463.2016>
11. Lambertsen C. J. Effects of Oxygen at High Partial Pressure. *Handbook of Physiology. Section 3: Respiration*. Vol. 2. Washington, DC, American Physiological Society, 1965, pp. 1027–1046.
12. Israfilov Z. M. *Sostoyanie funkciy organizma cheloveka pri dy`xanii gazovy`mi smesyami s vy`sokim parcial`ny`m davleniem kislороda* [The State of the Functions of the Human Body When Breathing Gas Mixtures with High Partial Pressure of Oxygen. Dissertation of a Candidate of Medical Sciences]. St. Petersburg, 2024, 135 p. (In Russ.)
13. Zal`czman G. L., Kuchuk G. A., Gurgenidze A. G. *Osnovy` giperbaricheskoy fiziologii* [Fundamentals of Hyperbaric Physiology]. Leningrad, Medicina, 1979, 320 p. (In Russ.)
14. Golovyashkin G. V., Glushkov V. A. *Posobie po organizacii i medicinskomu obespecheniyu doby`chi moreproduktov vodolazny`m sposobom s ispol`zovaniem giperoksicheskix kislородno-azotny`x smesey* [Manual on the Organization and Medical Support of Seafood Harvesting by Diving Using Hyperoxic Oxygen-nitrogen Mixtures]. St. Petersburg, 2006, 204 p. (In Russ.)
15. Kameneczkaya S. Yu., Makeeva A. V., Lushhik M. V. *Osvedomlyonnost` studentov medicinskogo vuza ob osobennostyax patogeneza giperoksii u vodolazov* [Awareness of Medical Students About the Features of the Pathogenesis of Hyperoxia in Divers]. *Mezhdunarodny`j studencheskij nauchny`j vestnik* [International Student Scientific Bulletin]. 2023, no. 6. [Digital resource] URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=21353> (last visit: 12.06.2026). (In Russ.)
16. Zverev D. P., Israfilov Z. M., Myasnikov A. A., Shitov A. Yu., Chernov V. I. *Issledovanie sostoyaniya funkciy organizma vodolazov s razlichnoj ustojchivost`yu k toksicheskomu dejstviyu kislороda* [Research of Diver Body Functions' State with Different Resistance to the Toxic Oxygen Effect: Prospective Cohort Study]. *Morskaya medicina* [Marine medicine]. 2022, vol. 8, no. 3, pp. 30–39. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-3-30-39>
17. Smolin V. V., Sokolov G. N., Pavlov B. N. *Vodolazny`e spuski do 60 metrov i ix medicinskoe obespechenie* [Diving Descents to 60 Meters and Their Medical Support]. Moscow, Slovo Publ, 2013, 608 p. (In Russ.). ISBN: 978-5-4348-0013-6
18. Moon R. E., ed. *UHMS Hyperbaric Oxygen Therapy Indications* 14th edition. North Palm Beach, FL, 2019, 660 p.
19. Neuman T. S., Thom S. R., eds. *Physiology and Medicine of Hyperbaric Oxygen Therapy*. Philadelphia, Saunders Elsevier, 2008, 768 p. ISBN: 9781416003403
20. Clark J. M. Oxygen toxicity. In: Bennett P. B., Elliott D. H., eds. *The Physiology and Medicine of Living*. 4th ed. London, Saunders, 1993, pp. 121–169.
21. Hamilton R. W., Kenyon D. J., Peterson R. E., Butler G. J., Beers D. M. REPEX: Development of Repetitive Excursions, Surfacing Techniques, and Oxygen Procedures for Habitat Diving. NURP Technical Report 88-1A. Rockville, MD, NOAA Office of Undersea Research, 1988.
22. Lambertsen C. J. Extension of Oxygen Tolerance in Man: Philosophy and Significance. *Experimental Lung Research*. 1988, vol. 14, issue supplement 1, pp. 1035–1058. DOI: <https://doi.org/10.3109/01902148809064191>
23. Hamilton R. W., Baker E. Reverse Dive Profiles Workshop. *Pressure*. 2000, 29, pp. 7–9.
24. Jablonski J., Baker E. C. Taking Cave Diving to the Limit. *Immersed*. 1999, vol. 4, no. 3, pp. 29–33.
25. Arieli R., Hershko G. Prediction of Central Nervous System Oxygen Toxicity in Rats. *Journal of Applied Physiology*. 1994, vol. 77, issue 4, pp. 1903–1906. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.77.4.1903>
26. Arieli R., Yalov A., Goldenshluger A. Modeling Pulmonary and CNS O₂ Toxicity and Estimation of Parameters for Humans. *Journal of Applied Physiology*. 2002, vol. 92, issue 1, pp. 248–256. DOI: <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00434.2001>
27. Arieli R. Model of CNS O₂ Toxicity in Complex Dives with Varied Metabolic Rates and Inspired CO₂ Levels. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2003, vol. 74, no. 6, pp. 38–642.
28. Arieli R., Shochat T., Adir Y. CNS Toxicity in Closed-circuit Oxygen Diving: Symptoms Reported from 2527 dives. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2006, vol. 77, no. 5, pp. 526–532.
29. Aviner B., Arieli R., Yalov A. Power Equation for Predicting the Risk of Central Nervous System Oxygen Toxicity at Rest. *Frontiers in Physiology*. 2020, vol. 11, article 1007. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.01007>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом:

Ярков А. М. — концепция и план исследования, сбор и анализ данных, подготовка рукописи.

Бычков С. А. — сбор и анализ данных, подготовка рукописи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

All authors confirm the conformity of their authorship, according to the international criteria of the ICMJE (all authors made a significant contribution to the development of the concept, conduct of the study and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

The largest contribution is distributed as follows:

Yarkov A. M. — conceptualization, methodology, investigation, writing — original draft, writing — review & editing.

By`chkov S. A. — investigation, writing — original draft, writing — review & editing.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ярков Андрей Михайлович, кандидат медицинских наук, врач водолазной медицины, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9349-0085>; e-mail: y-andrei@mail.ru

Бычков Сергей Анатольевич, врач водолазной медицины, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8506-7815>; e-mail: markis86@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrej Mixajlovich Yarkov, Candidate of Medical Sciences, Diving Medicine Physician, Autonomous NonProfit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9349-0085>; e-mail: y-andrei@mail.ru

Sergej Anatol`evich By`chkov, Doctor of Diving Medicine, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8506-7815>; e-mail: markis86@mail.ru

Поступила в редакцию 01.05.2026
Прошла рецензирование 07.06.2026
Принята к публикации 10.06.2026

Received 01.05.2026
Revised 07.06.2026
Accepted 10.06.2026

ПАЛЕОГЕНЕТИКА В СОТРУДНИЧЕСТВЕ С ПОДВОДНОЙ АРХЕОЛОГИЕЙ

В мае 2026 года Центр подводных исследований Русского географического общества передал уникальный антропологический материал — человеческий череп XVIII века — в лабораторию палеогеномики Европейского университета в Санкт-Петербурге.

Объект, с которого был получен антропологический материал, — шведский военный канонерский баркас, погибший во время Выборгского морского сражения 1790 года. История изучения баркаса началась ещё в 2003 году в рамках проекта «Тайны затонувших кораблей». Тогда подводные иссле-

дователи впервые зафиксировали в полевых дневниках наличие под пушечной тумбой двух человеческих черепов.

Судя по характеру сопутствующих находок на баркасе, судно могло иметь особый статус в составе эскадры.



* Фотографии Д. Сосновский.
Архив ЦПИ РГО

«По ряду признаков мы предполагаем, что этот баркас выполнял командирские или штабные функции. Во время раскопок мы обнаружили красивые, дорогие часы и эфесы от шпаг. Кроме того, всего четыре орудия на борту. На классическом канонерском баркасе их должно было быть больше, порядка шестнадцати. Судя по всему, остальные просто не были установлены изначально»,

— объясняет водолаз-исследователь ЦПИ РГО, археолог, реставратор Роман Прохоров.



△
◀ Водолазы за работой в акватории Финского залива



Корабль получил серьёзные повреждения: в днище пробоина площадью не менее шести квадратных метров, а средняя и кормовая палубы практически полностью разрушены. Скорее всего, баркас погиб мгновенно в результате точечного попадания зажигательного снаряда противника в крыйт-камеру (пороховой погреб) и последующей детонации пороха.

Характер разрушений объясняет и уникальность обнаружения останков. Как правило, при затоплении погибших судов тела людей смывает с палубы. На этом объекте изучены уже две трети корпуса, но только в одном месте были обнаружены человеческие черепа. Первичный анатомический анализ одного из них, поднятого на поверхность, показывает отсутствие нижней челюсти и прижизненную травму: выбитые передние зубы вместе с фрагментом костной ткани. Вероятно, тело этого человека забросило под тяжёлую пушечную тумбу взрывной волной. И в этом замкнутом пространстве останки были защищены от внешнего воздействия, что и обеспечило их сохранность на протяжении 230 лет.

Водолазы ЦПИ РГО ▶
обсуждают погружение
к останкам канонерского
баркаса



*«То, что этот череп уцелел в эпицентре
такого взрыва и сохранился под пушкой —
это чистая фортуна и редчайшее везение»,*

— **подчёркивает Роман Прохоров.**

Поднятый со дна Финского залива череп
был передан в лабораторию палеогеномики
Европейского университета в Санкт-Петербурге.

Палеогенетика отличается от стандарт-
ных ДНК-исследований и имеет дело с глубоко
деградированным историческим материалом.
Для анализа используются наиболее плотные
костные структуры: височные кости черепа
и зубы, которые в данном случае сохрани-
лись в хорошем состоянии. Ткань измельча-
ется до состояния костной муки, из которой
затем экстрагируется ДНК. Процесс проходит
в условиях комплекса чистых помещений, где
воздух фильтруется специальными системами
и обрабатывается ультрафиолетом, а лабо-
ранты работают в изолирующих защитных
костюмах. Все эти меры направлены на пре-
дотвращение контаминации.

*«При работе с древней ДНК мы
сталкиваемся с тремя ключевыми
трудностями. Первая — деградация
молекул, которые со временем
распадаются на короткие фрагменты.
Вторая — собственно, контаминация —
сильное загрязнение современными
молекулами ДНК из окружающей
среды. В таких образцах до 99 %
последовательностей — это ДНК бактерий,
ДНК грибов, ДНК самих исследователей.
Третья проблема — посмертные химические
мутации, возникающие из-за долгого
контакта ДНК с агрессивной средой,
в данном случае с морской водой. Они
влияют на результаты при считывании
на секвенаторе — приборе, который
используется для расшифровки геномов.
Задача специалистов — очистить массив
данных и восстановить истинный геном»,*

— **поясняет научный руководитель лабо-
ратории палеогеномики Европейского уни-
верситета в Санкт-Петербурге, кандидат
биологических наук Артём Недолужко.**



Подъём и первичный осмотр черепа специалистами ЦПИ РГО



У сотрудников лаборатории есть успешный опыт по расшифровке геномов древних людей, а также морских млекопитающих, в частности, вымершей стеллеровой коровы с Командорских островов и японского морского льва. Опыт этих работ даёт учёным уверенность в результатах исследования останков с канонерского баркаса.

Основная цель генетической экспертизы — определение этнического происхождения погибшего. В Выборгском сражении участвовали многонациональные экипажи, состоявшие из шведов, финнов и представителей других стран Европы. Поскольку командный состав шведских эскадр известен историкам поимённо, после считывания генома учёные планируют обратиться к международным генетическим базам данных. Поиск может начаться с потенциальных потомков офицеров (учитывая высокий статус корабля, шансы велики), а при отсутствии совпадений круг расширится до семей матросов и юнг.

Для научного сообщества этот проект важен как прецедент интеграции палеогеномики в историко-археологические исследования конкретного экипажа. Это способ персонифицировать историю и по крупицам восстановить давние страницы балтийских сражений. Проект имеет и гуманитарное значение. Память об общих исторических событиях традиционно служит инструментом культурной дипломатии и укрепления международных отношений.

Роман Евтюков,
АНО «ЦПИ РГО»



△ Череп в руках Артёма Недолужко, руководителя Лаборатории палеогеномики Европейского университета
▽



КУРС НА НЕИЗВЕДАННОЕ: ЗАВЕРШЕН СЕЗОН 2026 ГОДА ПРОЕКТА **ОКЕАНАВТИКА**

1 июня детский лагерь «Штормовой» Всероссийского детского центра «Орлёнок» в девятый раз принял 100 юных исследователей со всей страны — участников ежегодного образовательного проекта «Океанавтика», организованного Центром подводных исследований Русского географического общества (ЦПИ РГО).

«Океанавтика» — образовательная программа, ориентированная на развитие подростков, интересующихся гидросферой, совмещающая академическую основательность и современные технологии. Она была запущена в 2017 году ЦПИ РГО совместно с ВДЦ «Орлёнок».

Сначала ребята в возрасте от 13 до 16 лет прошли многомесячный конкурсный отбор, а в июне — интенсивный четырёхнедельный курс в «Орлёнке». Участники программы получили навыки в пяти профильных направлениях.



Торжественное начало смены
в лагере «Штормовой»



* Фотографии **В. Ляшенко**,
Д. Сосновский. Архив ЦПИ РГО



Сергей Фокин,
исполнительный директор ЦПИ РГО,
приветствует океанавтов



△
Участники программы ▶
во время мероприятий смены



44°15'29.3"N
38°48'45.3"E
+



АКВАНАВТЫ

прошли курс дайвинга Open Water Diver под руководством сертифицированных инструкторов, а профессиональные врачи познакомили их с основами водолазной медицины.

- ◁ Подготовка к погружению в бассейне лагеря «Штурмовой»

ГИДРОНАВТЫ

узнали азы управления ТНПА (телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом), берегового сопровождения погружений ОПА (обитаемого подводного аппарата) и основы работы с гидроакустическими средствами поиска.

- ▷ Погружения на ОПА только под руководством опытных операторов



ИЗОБРЕТАТЕЛИ

спроектировали, собрали и протестировали рабочие прототипы исследовательских аппаратов.

- ◁ Юные инженеры за учёбой



СПАСАТЕЛИ

под руководством опытных специалистов (ветеранов МЧС и врачей-специфизиологов) научились оказывать доврачебную помощь и применять азы водолазной медицины.

Океанавты учатся вязать морские узлы



ХРАНИТЕЛИ

изучили основы сохранения артефактов и своими руками восстановили предметы, поднятые со дна в экспедициях ЦПИ РГО.

Подводный археолог Роман Прохоров рассказывает о своей работе



Сайт программы <https://oceanautica.ru>



гидрокосмос.рф



HYDROCOSMOS

ГИДРОКОСМОС

ISSN 2949-3838 (Print)
ISSN 3033-7976 (Online)