ISSN 2949-3838 (Print)
ISSN 3033-7976 (Online)

HYDROCOSMOS ГИДРОКОСМОС '26

Том Vol. 4
№ No. 2



российский научный журнал | russian scientific journal

ЦЕНТР ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РФО



Артур Павлович Абеленцев
Генеральный директор ООО «Лаборатория подводной связи и навигации»

Уважаемые коллеги и читатели журнала «Гидрокосмос»!

Для нашей команды большая честь представить вступительное слово в этом номере. Лаборатория подводной связи и навигации, основанная в 2015 году, прошла путь от небольшой инициативной группы до полноценной коммерческой компании с полным циклом разработки и производства гидроакустических систем на территории Российской Федерации.

За эти годы мы не просто наращивали перечень изделий — мы последовательно проверяли свои решения в реальных условиях: на полигонах, в экспедициях, в составе комплексов, где отказ недопустим. Именно поэтому для нас особенно ценно сотрудничество с журналом «Гидрокосмос». Он даёт возможность не только рассказать о своих разработках, но и услышать тех, кто ежедневно решает прикладные задачи под водой: подводных археологов, специалистов водолазных служб, инженеров, работающих в сложных гидрологических условиях.

Мы убеждены, что именно в диалоге с конечными пользователями рождается по-настоящему востребованная техника: не «универсальная», а конкретно попадающая под реальные требования по точности, надёжности и удобству эксплуатации.

Отдельно хочется отметить высокий уровень рецензирования материалов в журнале «Гидрокосмос». Для нас это не формальность, а важный ориентир: строгая экспертная оценка помогает формулировать результаты так, чтобы они были полезны не только узкому кругу разработчиков, но и широкому сообществу специалистов.

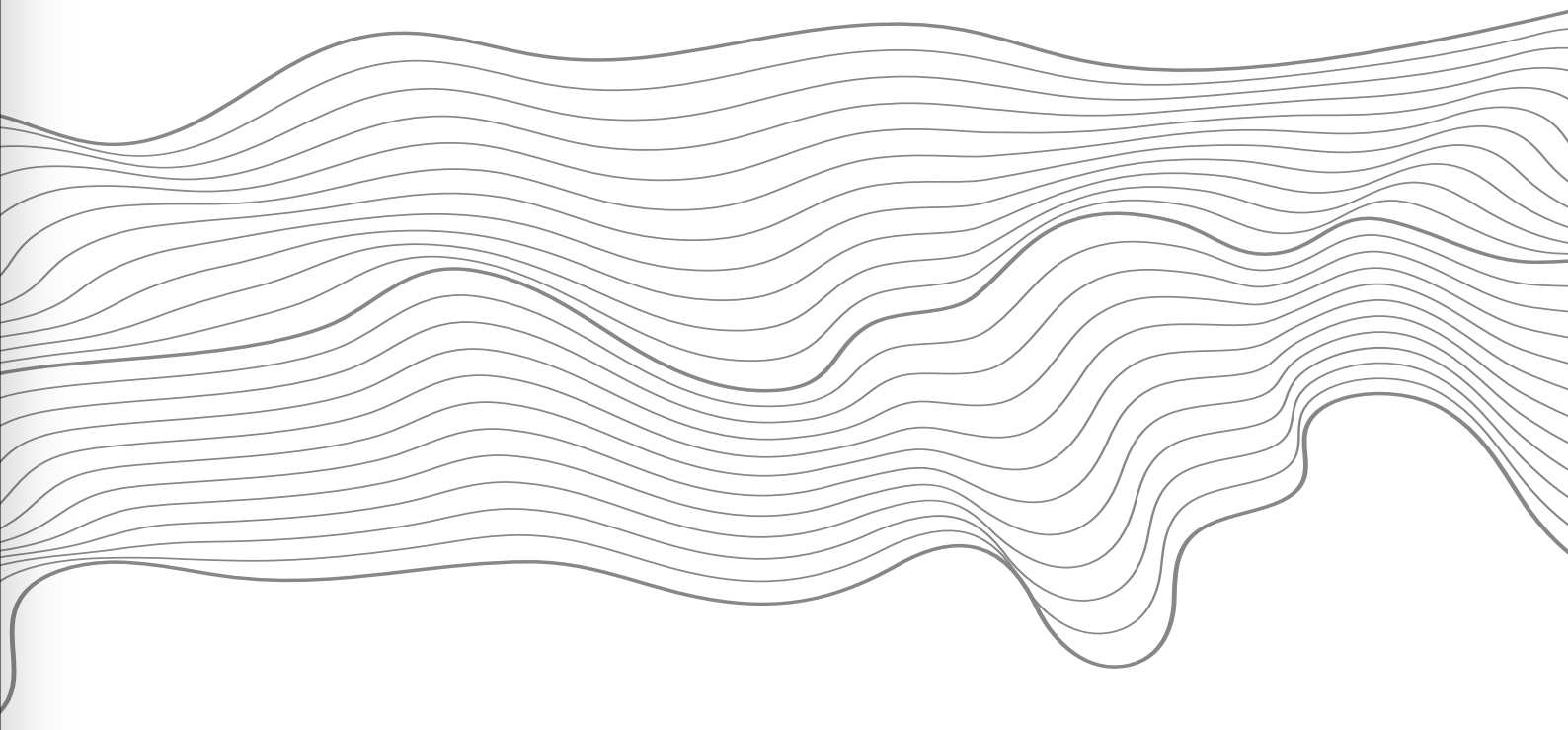
Благодарим редакцию за возможность быть частью этого профессионального пространства и надеемся, что наши публикации будут полезны коллегам, работающим на стыке науки, инженерии и практики.

Центр подводных исследований Русского географического общества

ГИДРОКОСМОС

Российский научный журнал

Том 4, № 2
2026



HYDROCOSMOS

Russian scientific journal

Vol. 4, No. 2
2026

Underwater Research Center of the Russian Geographical Society

ГИДРОКОСМОС

Российский научный журнал о подводных исследованиях

Гидрокосмос. 2026. Том 4. № 2.

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.



Фотография **В. Ляшенко**

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. Ваконеев, 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 РАЕН, 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. Мымрина, 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

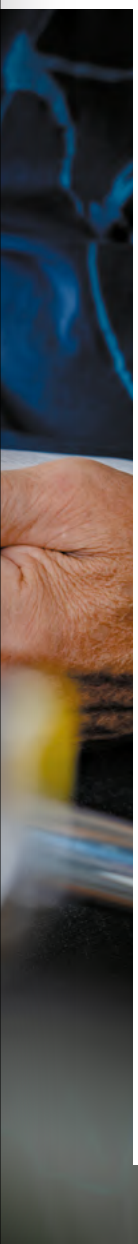
ВЫПУСКАЮЩИЙ РЕДАКТОР:
И. А. Аксенова, руководитель научно-просветительского направления АНО «ЦПИ РГО», г. Санкт-Петербург, Россия

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)	ISSN 3033-7976 (Online)
История издания журнала	Издаётся с 2023 г.
Префикс DOI	10.26175
Копирайт	© Оформление, составление, редактирование. Гидрокосмос, 2026
Индексирование	Индексируется в РИНЦ
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
	Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции
Учредитель и издатель	Автономная некоммерческая организация «Центр подводных исследований Русского географического общества» (https://urc-rgs.ru)
	Журнал финансируется за счёт средств учредителя
Периодичность	2 раза в год
Сайт	https://гидрокосмос.рф
Адрес учредителя и издателя	191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3., Лит. А
E-mail	hydrocosmos@urc-rgs.ru
Телефон	+7 812 327-45-05
Распространение	Распространяется бесплатно
Формат	60x90/8
Тираж	200 экз.
Отпечатано в типографии «АМ-Медиа»	197082, Санкт-Петербург, Камышовая ул., 34, корп. 2 E-mail: saenko@am-media.spb.ru тел.: +7 921 848–24–23
Подписано в печать: 20.11.2026	Дата выхода в свет: 15.12.2026

Знаком информационной продукции не маркируется

HYDROCOSMOS

Russian scientific journal on underwater research

Hydrocosmos. 2026. Vol. 4. No. 2.

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.



Photo by **V. Lyashenko**

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

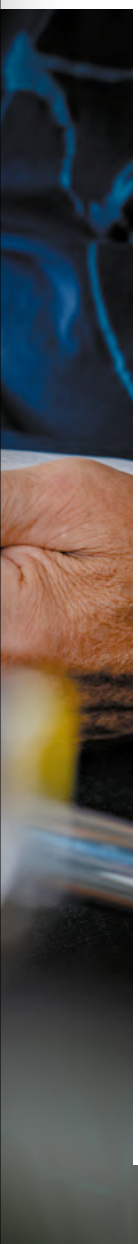
EXECUTIVE EDITOR:
Irina A. Aksenova, Autonomous Nonprofit Organisation "Underwater Research Centre of the Russian Geographical Society", St. Petersburg, Russia

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)	ISSN 3033-7976 (Online)
Founded	The journal has been published since 2023
DOI Prefix	10.26175
Copyright	© Compilation, design, editing. Hydrocosmos, 2026
Indexation	The journal is listed in the Russian Science Index
Distribution	Content is distributed under Creative Commons Attribution 4.0 License
	Views expressed in the journal are those of the authors and do not necessary represent those of the editorial team
Founder and Publisher	Autonomous Nonprofit Organisation "Underwater Research Centre of the Russian Geographical Society" (https://urc-rgs.ru)
	The "Hydrocosmos" is funded by the founder
Frequency	Semi-annually
Website	https://hydrocosmos.ru
Postal address	3-A Zakharyevskaya Street, St. Petersburg, 191123, Russia
E-mail	hydrocosmos@urc-rgs.ru
Phone	+7 812 327 45 05
Subscription	Free distribution
Format	60x90/8
Circulation	200 copies
Printed at the printed house AM-Media	Kamyshovaya St., 34, bldg. 2, St. Petersburg, 197082, Russia E-mail: saenko@am-media.spb.ru tel.: +7 921 848 24 23
Signed for publication: 20.11.2026	Publication date: 15.12.2026

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Уважаемые читатели, рад приветствовать вас на страницах журнала «Гидрокосмос»!

В 2026 году наше издание было принято в Российский индекс научного цитирования, и сейчас там проиндексированы все выпущенные научные публикации. Я сердечно благодарю всех авторов, которые отправляли свои рукописи и верили в наше начинание. Мы продолжаем делать качественное научное издание и будем стремиться к повышению статуса «Гидрокосмоса» в научной среде.

Этот год был удачным и для Центра подводных исследований Русского географического общества — издателя журнала. В ноябре в онлайн-музее подводной археологии underwatermuseum.ru запущена интерактивная выставка о канонерском баркасе — шведском военном корабле, погибшем в 1790 году в ходе Выборгского сражения. Это новый уровень цифровой передачи опыта подводных работ: впервые зритель «гуляет» на глубине по останкам и изучает в игровом формате реальные находки (3D-модели).

Осенью в пространствах батареи «Брылкин» форта Великий князь Константин открылся Музей археологии залива (zalivmuseum.ru) — совместный проект ЦПИ РГО и команды форта. Экспозиция в четырёх залах последовательно рассказывает о Финском заливе как важнейшей акватории, о затонувших здесь торговых судах и военных кораблях XVIII–XX веков, об экспедициях по их поиску. Многие из поднятых артефактов — а всего их представлено более трёхсот — впервые демонстрируются широкой публике. Экспозиция будет обновляться по мере того, как находки будут переходить в государственные музейные фонды, а их место займут новые объекты из текущих полевых работ.

Также 2026 год стал годом плодотворного сотрудничества и новых партнёрств. Совместно с Лабораторией палеогеномики Европейского университета идёт исследование черепа, поднятого с останков шведского канонерского баркаса. Полученные данные о ДНК позволят узнать, например, этническую принадлежность погибшего, а может, и найти его родственников среди современных жителей Европы. Другим перспективным проектом стали подводные археологические изыскания в акватории форта Тотлебен совместно с яхт-клубом Санкт-Петербурга. По итогам археологической разведки составлен план работ на 2027 год и далее. На следующий год у ЦПИ РГО серьёзные научно-технические планы. Этой осенью команда провела швартовные испытания отечественного обитаемого подводного аппарата «Ясон» с прозрачным прочным корпусом. В дальнейшем аппарат ждут приёмо-сдаточные испытания.

Этот номер «Гидрокосмоса» в очередной раз демонстрирует, какой комплексной сферой научно-практического знания являются подводные исследования. Особое внимание уделено вопросам медицинского обеспечения подводно-технических и подводно-исследовательских работ. Будучи практиками, редакционная команда рада способствовать продвижению новых знаний об оказании первой помощи, использовании разных газовых смесей в водолазных работах и так далее.

Хочется пожелать в новом году авторам, рецензентам и читателям новых научных открытий и достижений. Мы с радостью расскажем о них на страницах нашего журнала!

С наступающим Новым годом!

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



Художественная съёмка
на Голубом озере, Кабардино-
Балкарская Республика.
Архив ЦПИ РГО

* Фотография **П. Кошкин**

СОДЕРЖАНИЕ

АРХЕОЛОГИЯ

12 Пароход «Генерал Коцебу»: новые данные

Вахонеев В. В.

26 Исследование кораблекрушения деревянного парусного судна (предположительно, соймы) в акватории Финского залива

Горбунов П. А., Архангельский Е. Н.

КУЛЬТУРОЛОГИЯ

38 Сувенирная продукция с лайнера «Нормандия»: на стыке искусства и коммерции

Онегин Н. С.

ТЕХНИКА / ТЕХНОЛОГИИ

51 Оценка точности и повторяемости USBL-системы Zima2 по результатам натурных испытаний на сахалинском мелководье

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

68 Трёхмерная бинокулярная трассировка лучей в сферическом прозрачном прочном корпусе обитаемого подводного аппарата

Богданов А. А., Жданов Р. С.

МЕДИЦИНА

87 Единицы измерения концентрации газов в водолазном деле: ОБЗОР
Краморенко М. В., Ярков А. А.

93 Взгляды терапевта относительно некоторых аспектов первой помощи и этапной медицинской помощи на Военно-Морском Флоте
Чумаков А. В.

106 Сравнение и выбор химических поглотителей диоксида углерода: ОБЗОР
Комарова И. В., Ярков А. М.

РЕПОРТАЖ

118 Музей археологии залива

122 Как погрузиться на дно Финского залива, не вставая из-за компьютера?

CONTENTS

ARCHAEOLOGY

12 The Steamship *General Kotzebue*: New Evidence
Vakhoneev V. V.

26 Study of a Wooden Sailing Vessel Shipwreck (Tentatively Identified as a Soyma) in the Gulf of Finland
Gorbunov P. A., Arxangel`skij E. N.

CULTURAL STUDIES

38 Souvenirs from *SS Normandie*: at the intersection of Art and Commerce
Onegin N. S.

TECHNOLOGY / TECHNOLOGIES

51 Assessment of the Accuracy and Repeatability of the Zima2 USBL System Based on Field Tests in the Shallow Waters off Sakhalin
Dikarev A. V., Dmitriev S. M., Kubkin V. A., Vasilenko A. V., Abelencev A. P.

68 Three-Dimensional Binocular Ray Tracing Through a Spherical Transparent Hull of a Manned Submersible
Bogdanov A. A., Zhdanov R. S.

MEDICINE

87 Gas Concentration Units of Measurement: A Review
Kramorenko. M. V., Yarkov A. A.

93 A Therapist's Perspective on Selected Aspects of First Aid and Staged Medical Care in the Navy
Chumakov A. V.

106 Comparison and Selection of Chemical Carbon Dioxide Absorbents: A Review
Komarova I. V., Yarkov A. M.

REPORTAGE

118 Gulf Archaeology Museum

122 How Can You Dive to the Bottom of the Gulf of Finland Without Leaving Your PC?

АРХЕОЛОГИЯ | ARCHAEOLOGY

Оригинальная статья | Original article

DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2026.99.45.001 УДК 902.034:656.61

Пароход «Генерал Коцебу»: новые данные

В. В. Вахонеев

ФГБУН «Институт истории материальной культуры РАН», г. Санкт-Петербург, Россия
vvvkerch@mail.ru

Аннотация Статья посвящена колёсному товаро-пассажирскому пароходу Русского общества пароходства и торговли «Генерал Коцебу», построенному в Великобритании в 1866 году и погибшему у западного побережья Крыма в 1895 году. Цель исследования состоит в уточнении биографии судна, обстоятельств последнего рейса и возможностей кораблекрушения как археологического источника. Сопоставлены техническая документация Lloyd's, публикации в британской и российской прессе, мемуары, две одесские брошюры 1895 года, опубликованная резолютивная часть судебного решения, справочные сведения о флоте и результаты подводных обследований. Разграничены сообщения непосредственных участников, позднейшие интерпретации и наблюдения на самом объекте. Уточнена хронология постройки: спуск 14 июня по старому стилю соответствует 26 июня по новому стилю, тогда как 1 сентября по старому стилю относится к приёмке парохода от строителя. Первоначальная машина простого расширения отделена от установки, появившейся при перестройке 1883–1884 годов. Показано, что «Генерал Коцебу» участвовал в открытии Суэцкого канала, но не был первым русским судном, прошедшим по нему. Столкновение с транспортом «Пендераклия» произошло в 00:50 17 апреля 1895 года по старому стилю. Место гибели было обозначено буйком, а измеренная глубина в 21 сажень близка современной глубине около 44 м. Это соответствие рассматривается вместе с конструктивными признаками судна, а не как самостоятельное доказательство идентификации. Охарактеризованы сохранность корпуса, пассажирские помещения и находки. Подводный снимок плиточного пола сопоставлен с газетным описанием отделки Minton без отождествления даты изготовления конкретного фрагмента с годом постройки. Сообщение о живописи в салоне в 1866 году отделено от неподтверждённой атрибуции найденных произведений Айвазовскому. Рассмотрены исторические изображения судна и катастрофы, обозначены пределы их использования для реконструкции повреждений. Обоснована необходимость учитывать ремонты, коррозию, обрушения, заиливание и траловое воздействие, а также документировать контексты до подъёма предметов.

Ключевые слова подводная археология, кораблекрушение, пароход, «Генерал Коцебу», РОПиТ, Тарханкут, «Пендераклия», Суэцкий канал

Для цитирования Вахонеев В. В. Пароход «Генерал Коцебу»: новые данные. *Гидрокосмос.* 2026;4(2):12–25. https://doi.org/10.26175/URC.2026.99.45.001

The Steamship *General Kotzebue*: New Evidence

Viktor V. Vakhoneev

Institute for the History of Material Culture of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia
vvvkerch@mail.ru

Abstract

This article examines the paddle-wheel cargo-passenger steamship *General Kotzebue*, built in Great Britain in 1866 for the Russian Steam Navigation and Trading Company (ROPiT) and lost off the western coast of Crimea in 1895. The study aims to clarify the vessel's history, the circumstances of its final voyage, and the potential of the shipwreck as an archaeological source. It compares technical records from Lloyd's, British and Russian newspapers, memoirs, two pamphlets published in Odessa in 1895, the published operative part of the court decision, fleet reference works, and the results of underwater surveys. Accounts by direct participants are distinguished from later interpretations and observations made at the wreck site.

The construction chronology has been clarified: the launch on 14 June Old Style corresponds to 26 June New Style, whereas 1 September Old Style refers to the acceptance of the steamship from its builder. The original simple-expansion engine is distinguished from the machinery installed during the 1883–1884 reconstruction. The article demonstrates that *General Kotzebue* took part in the opening of the Suez Canal but was not the first Russian vessel to pass through it. The collision with the transport vessel *Penderaklia* occurred at 00:50 on 17 April 1895 Old Style. The sinking site was marked with a buoy, and the recorded depth of 21 sazhen is close to the modern depth of approximately 44 m. This correspondence is considered alongside the vessel's structural characteristics, rather than treated as independent proof of the wreck's identity.

The condition of the hull, passenger spaces, and recovered artifacts is described. An underwater photograph of tiled flooring is compared with a newspaper description of Minton decoration, without assuming that the date of manufacture of a particular surviving fragment coincides with the year the vessel was built. The 1866 account of paintings in the saloon is distinguished from the unverified attribution of recovered works to Aivazovsky. Historical depictions of the vessel and the disaster are examined, and the limitations of using them to reconstruct the damage are identified. The study emphasizes the need to account for repairs, corrosion, structural collapse, sediment accumulation, and trawling impacts, as well as to document archaeological contexts before artifacts are recovered.

Keywords underwater archaeology, shipwreck, steamship, *General Kotzebue*, Russian Steam Navigation and Trading Company, Tarkhankut, *Penderaklia*, Suez Canal

For citation Vakhoneev V. V. The Steamship *General Kotzebue*: New Evidence. *Hydrocosmos*. 2026;4(2):12–25. https://doi.org/10.26175/URC.2026.99.45.001

ВВЕДЕНИЕ

Затонувшие паровые суда второй половины XIX — начала XX века позволяют соединить изучение письменных, технических и изобразительных источников с исследованием материальных остатков. Судовые регистры, документация верфей, отчёты компаний, пресса и мемуары отражают историю постройки, эксплуатации и аварий. Сохранившийся на дне корпус дополняет эти сведения данными о конструкции, переоборудовании и судовом быте, позволяя проверять письменные свидетельства.

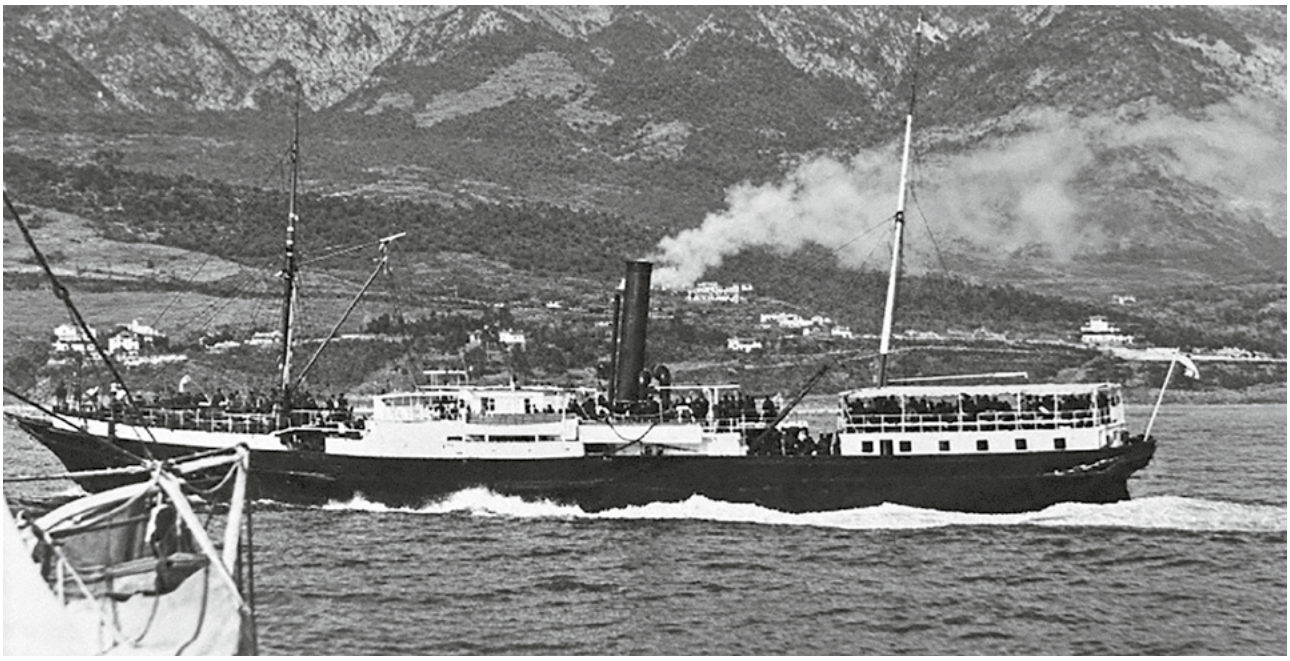


Рис. 1. *Пароход Русского общества пароходства и торговли «Генерал Коцебу». Историческая фотография (источник: Яровой В. В. «Русское общество пароходства и торговли. Исторический список судового состава 1856–1932 гг.». Одесса, 2017. С. 69)*

Fig. 1. *General Kotzebue, a steamship of the Russian Steam Navigation and Trading Company. Historical photograph (source: Yarovoj V. V. Russian Steam Navigation and Trading Company. Historical fleet list, 1856–1932. Odessa, 2017, p. 69)*

Цель исследования состоит в уточнении биографии парохода «Генерал Коцебу», обстоятельств последнего рейса и возможностей кораблекрушения как археологического источника. Проверке подлежат хронология постройки и перестроек, сведения об участии судна в открытии Суэцкого канала, дата и обстоятельства катастрофы, а также соотношение письменных описаний с сохранившимися конструкциями и предметами. Теоретическое значение работы связано с разграничением документальных свидетельств и археологической интерпретации, практическое — с определением задач дальнейшей фиксации объекта и контекстов находок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

История и первые результаты подводного обследования колёсного товаро-пассажирского парохода Русского общества пароходства и торговли (РОПиТ) «Генерал Коцебу», погибшего в 1895 году у западного побережья Крыма, были опубликованы автором в 2015 и 2017 годах [1; 2]. Повторное обращение к теме связано с привлечением новых данных: в первую очередь инспекционного отчёта Lloyd’s, публикаций британской прессы, двух одесских брошюр 1895 года и новых справочных данных[1]. Исследования организации РОПиТ и его регулярных линий позволяют рассмотреть биографию судна в контексте деятельности компании.

РЕЗУЛЬТАТЫ

«Генерал Коцебу» был заказан РОПиТ в ноябре 1865 года на верфи Charles Mitchell & Co. в Ньюкасле-на-Тайне под строительным № 142 (см. рис. 1, 2). В. В. Яровой характеризует его как головной в серии из двух колёсных товаро-пассажирских пароходов с железным однопалубным корпусом и машиной простого расширения. В каютах I и II классов предусматривалось размещение 100 пассажиров. Стоимость заказа составляла 28 500 фунтов стерлингов, а первоначальная стоимость судна в российском

[1] Гибель парохода Русского общества пароход. и торговли «Ген. Коцебу». Одесса: Логинов, 1895. С. 4–16; Новая катастрофа на Чёрном море. Гибель парохода «Генерал Коцебу». Одесса: Е. А. Губанов, 1895. С. 6–22



Рис. 2. *Батум. Пристань и пароход «Генерал Коцебу». Фотография Д. И. Ермакова, № 1753 (источник: Национальная парламентская библиотека Грузии, цифровая коллекция Iverieli; https://dspace.nplg.gov.ge/handle/1234/135119)*

Fig. 2. *Batum. The pier and the steamship General Kotzebue. Photograph by D. I. Ermakov, no. 1753 (source: National Parliamentary Library of Georgia, Iverieli digital collection; https://dspace.nplg.gov.ge/handle/1234/135119)*

учёте — 241 974 рубля[2]. Современная постройке британская печать дополняет эту характеристику. Newcastle Courant сообщала о помещениях для пассажиров первого, второго и третьего классов, причём различие с русским справочником, вероятно, объясняется тем, что последний учитывал именно число каютных пассажиров I и II классов. Особенно подробно британский корреспондент описывал салон первого класса, размещённый на палубе: стены были отделаны декоративным деревом, панели украшены живописью, а пол покрыт мозаичной плиткой Minton. В сообщении также отмечались размеры (около 230 футов в длину и 28 футов в ширину) и высокая экономичность машин, построенных фирмой J. Penn & Sons[3]. Сама газетная заметка представляет важный синхронный источник по первоначальному облику парохода.

Русская и британская хронология постройки согласуются при разграничении календарных систем и этапов достройки. В справочнике В. В. Яровой указаны спуск 14 июня и приёмка от строителя 1 сентября 1866 года[4]. При переводе с юлианского на григорианский календарь это 26 июня и 13 сентября. Первая дата совпадает с записью о спуске в отчёте Lloyd's[5]. Следовательно, 26 июня по новому стилю относится к спуску, а 13 сентября — к приёмке. Их смешение, вероятно, объясняет появление последней даты в позднейших справочниках как дня спуска. Оборотный лист этого отчёта со сведениями о снабжении, замечаниями инспектора и решением классификационного комитета представлен на рисунке 3.

После приёмки «Генерал Коцебу» 26 сентября 1866 года по старому стилю прибыл из Великобритании в Одессу, получил приписку к Одесскому коммерческому порту под № 238 и 20 октября вышел в первый рейс из Одессы к крымским и кавказским портам[6]. Судно было построено прежде всего для Крымско-Кавказской и Крымско-Азовской линий, но в дальнейшем использовалось также на Крымской и Азовской товаро-пассажирских линиях. На протяжении почти трёх десятилетий его эксплуатация была тесно связана именно с системой регулярного сообщения РОПиТ, где одно и то же судно могло переводиться между линиями в зависимости от навигации, ремонта и коммерческой нагрузки. Его появление пришлось на период быстрого расширения общества, созданного в 1856 году для организации регулярных сообщений между портами юга Российской империи и зарубежными портами [3].

Заказ парохода за рубежом и его последующие ремонты в Севастополе соответствовали организации хозяйства РОПиТ.

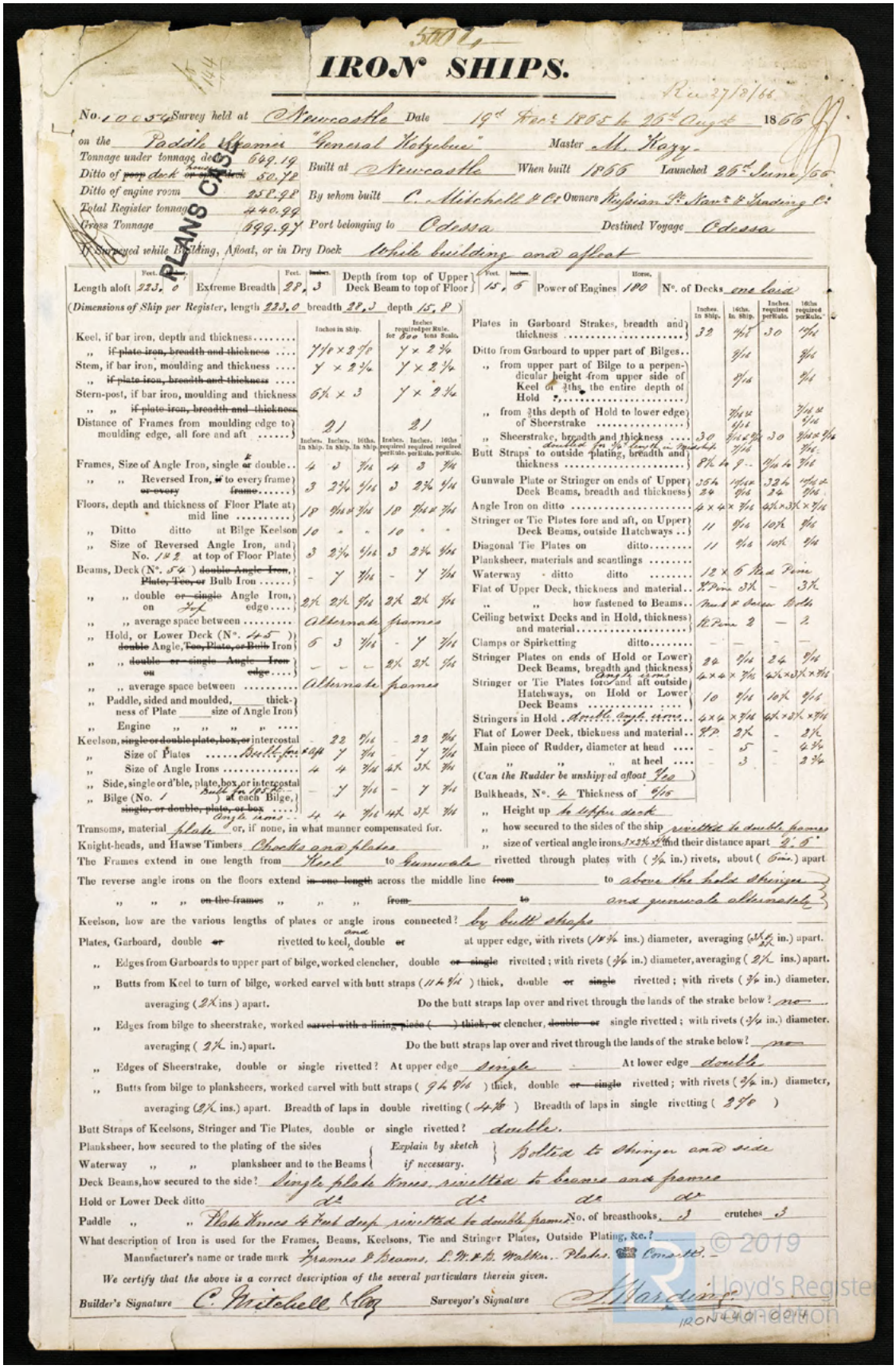
[2] Трифонов Ю. Н., Лемачко Б. В. Русское общество пароходства и торговли (краткий исторический справочник), 1856–1932. СПб.: ЛеКо, 2009. С. 37; Яровой В. В. Русское общество пароходства и торговли. Исторический список судового состава 1856–1932 гг. Одесса, 2017. С. 68–69.

[3] The Times. 8 September 1866, p. 6; Newcastle Courant. 14 September 1866. The Russian Mercantile Navy. (газетная вырезка; архив автора).

[4] Трифонов Ю. Н., Лемачко Б. В. Русское общество пароходства и торговли (краткий исторический справочник), 1856–1932. СПб.: ЛеКо, 2009. С. 37; Яровой В. В. Русское общество пароходства и торговли. Исторический список судового состава 1856–1932 гг. Одесса, 2017. С. 68–69.

[5] Lloyd's Register Foundation. Iron Ships Report for General Kotzebue, 26th August 1866. Ref. LRF-PUN-IRON440-0014-R [Эл. ресурс]. URL: https://hec.lrfoundation.org.uk/archive-library/documents/lrf-pun-iron440–0014-r (посл. посещение: 27.09.2026).

[6] Яровой В. В. Русское общество пароходства и торговли. Исторический список судового состава 1856–1932 гг. Одесса, 2017. С. 68.



IRON SHIPS.

No. 10034 Survey held at Newcastle Date 19th Feb.y 1866 & 26th August 1866
on the Paddle Steamer "General Kotzebue" Master M. Kozy.
Tonnage under tonnage deck 669.19
Ditto of ~~poop deck or other decks~~ 50.72
Ditto of engine room 258.98
Total Register tonnage 440.99
Gross Tonnage 899.97
Built at Newcastle When built 1866 Launched 26th June 66
By whom built C. Mitchell & Co Owners Russian St. Steam Nav.n & Trading Co.
Port belonging to Odessa Destined Voyage Odessa
If Surveyed while Building, Afloat, or in Dry Dock while building and afloat

PLANS CAS

Length aloft 223. 0 Extreme Breadth 28, 3 Depth from top of Upper Deck Beam to top of Floor 15, 8 Power of Engines 180 N°. of Decks one laid

(Dimensions of Ship per Register, length 223.0 breadth 28.3 depth 15.8)

	Inches in Ship.	Inches required per Rule for 800 tons Scale.
Keel, if bar iron, depth and thickness	7/0 × 2 9/0	7 × 2 3/4
,, if ~~plate iron, breadth and thickness~~		
Stem, if bar iron, moulding and thickness	7 × 2 3/4	7 × 2 3/4
,, ~~if plate iron, breadth and thickness~~		
Stern-post, if bar iron, moulding and thickness	6 1/2 × 3	7 × 2 3/4
,, ,, ~~if plate iron, breadth and thickness~~		
Distance of Frames from moulding edge to moulding edge, all fore and aft	21	21

	Inches. In Ship.	Inches. In Ship.	16ths. In Ship.	Inches required per Rule.	Inches. required per Rule.	16ths required per Rule.
Frames, Size of Angle Iron, single ~~or~~ double	4	3	7/16	4	3	7/16
,, ,, Reversed Iron, ~~if~~ to every frame ~~or every frame~~	3	2 3/4	9/16	3	2 3/4	9/16
Floors, depth and thickness of Floor Plate at mid line	18	9/16	7/16	18	9/16	7/16
,, Ditto ditto at Bilge Keelson	10	-	-	10	-	-
,, Size of Reversed Angle Iron, and No. 1 & 2 at top of Floor Plate	3	2 3/4	9/16	3	2 3/4	9/16
Beams, Deck (N°. 54) ~~double Angle Iron, Plate, Tee, or~~ Bulb Iron	-	7	7/16	-	7	7/16
,, ,, double ~~or single~~ Angle Iron, on ~~flat~~ edge	2 1/2	2 1/2	9/16	2 1/2	2 1/2	9/16
,, ,, average space between	Alternate frames					
,, Hold, or Lower Deck (N°. 45) ~~double~~ Angle, ~~Tee, Plate, or Bulb~~ Iron	6	3	7/16	-	7	7/16
,, ,, ~~double or single Angle Iron on edge~~	-	-	-	2 1/2	2 1/2	9/16
,, ,, average space between	Alternate frames					
,, Paddle, sided and moulded, ____ thickness of Plate ____ size of Angle Iron						
,, Engine ,, ,, ,, ,,						
Keelson, ~~single or double plate, box, or~~ intercostal	-	22	9/16	-	22	9/16
,, Size of Plates Built for 1866	8 9/16	7	9/16	-	7	7/16
,, Size of Angle Irons	4	4	9/16	4 1/2	3 1/2	7/16
,, Side, single or d'ble, plate, box, or intercostal	-	7	7/16	-	7	7/16
,, Bilge (No. 1 Built for 1867 at each Bilge, ~~single, or double, plate, or box~~ Angle irons	4	4	7/16	4 1/2	3 1/2	7/16

Transoms, material plate or, if none, in what manner compensated for.
Knight-heads, and Hawse Timbers Chocks and plates
The Frames extend in one length from Keel to Gunwale rivetted through plates with (7/8 in.) rivets, about (6 ins.) apart
The reverse angle irons on the floors extend ~~in one length~~ across the middle line ~~from~~ to above the hold Stringer
,, ,, ,, ~~on the frames~~ ,, ,, ,, ~~from~~ ~~to~~ and gunwale alternately
Keelson, how are the various lengths of plates or angle irons connected? by butt straps
Plates, Garboard, double ~~or~~ and rivetted to keel, double ~~or~~ at upper edge, with rivets (1 1/16 ins.) diameter, averaging (3 1/2 in.) apart.
,, Edges from Garboards to upper part of bilge, worked clencher, double ~~or single~~ rivetted; with rivets (7/8 in.) diameter, averaging (2 1/2 ins.) apart.
,, Butts from Keel to turn of bilge, worked carvel with butt straps (11 1/16) thick, double ~~or single~~ rivetted; with rivets (7/8 in.) diameter, averaging (2 1/2 ins) apart. Do the butt straps lap over and rivet through the lands of the strake below? no
,, Edges from bilge to sheerstrake, worked ~~carvel with a lining piece ( ) thick, or~~ clencher, ~~double or~~ single rivetted; with rivets (7/8 in.) diameter, averaging (2 1/2 in.) apart. Do the butt straps lap over and rivet through the lands of the strake below? no
,, Edges of Sheerstrake, double or single rivetted? At upper edge single At lower edge double
,, Butts from bilge to planksheers, worked carvel with butt straps (9 1/16) thick, double ~~or single~~ rivetted; with rivets (7/8 in.) diameter, averaging (2 1/2 ins.) apart. Breadth of laps in double rivetting (4 1/2) Breadth of laps in single rivetting (3 1/2)
Butt Straps of Keelsons, Stringer and Tie Plates, double or single rivetted? double.
Planksheer, how secured to the plating of the sides / Waterway ,, ,, planksheer and to the Beams } Explain by sketch if necessary. Bolted to Stringer and side
Deck Beams, how secured to the side? Single plate knees rivetted to beams and frames
Hold or Lower Deck ditto do do do do
Paddle ,, ,, Plate knees 4 feet deep rivetted to double frame No. of breasthooks 3 crutches 3
What description of Iron is used for the Frames, Beams, Keelsons, Tie and Stringer Plates, Outside Plating, &c.?
Manufacturer's name or trade mark Frames & Beams, L. W. & Co. Walker. Plates Consett.

We certify that the above is a correct description of the several particulars therein given.

Builder's Signature C. Mitchell & Co Surveyor's Signature S. Mardin

	Inches. In Ship.	16ths. In Ship.	Inches required per Rule.	16ths required per Rule.
Plates in Garboard Strakes, breadth and thickness	32	7/16	30	14/16
Ditto from Garboard to upper part of Bilges		9/16		9/16
,, from upper part of Bilge to a perpendicular height from upper side of Keel of 1/3ths the entire depth of Hold		9/16		9/16
,, from 1/3ths depth of Hold to lower edge of Sheerstrake		7/16		7/16
,, Sheerstrake, breadth and thickness	30	9/16	30	9/16 × 9/16
Butt Straps to outside plating, breadth and thickness	8 1/2	9/16	11/16	7/16
Gunwale Plate or Stringer on ends of Upper Deck Beams, breadth and thickness	25 1/2 24	11/16 9/16	32 1/2 24	14/16 × 9/16
Angle Iron on ditto	4 × 4	× 7/16	4 1/2 × 3 1/2	× 7/16
Stringer or Tie Plates fore and aft, on Upper Deck Beams, outside Hatchways	11	9/16	10 1/2	9/16
Diagonal Tie Plates on ditto	11	9/16	10 1/2	9/16
Planksheer, materials and scantlings	12 × 6		Teak Pine	
Waterway ,, ditto ditto				
Flat of Upper Deck, thickness and material	N. Pine	3 1/2	-	3 1/2
,, ,, how fastened to Beams	Treenails & Screws			Bolts
Ceiling betwixt Decks and in Hold, thickness and material	N. Pine	2	-	2
Clamps or Spirketting ditto	-	-	-	-
Stringer Plates on ends of Hold or Lower Deck Beams, breadth and thickness	22	9/16	24	9/16
Stringer or Tie Plates fore and aft outside Hatchways, on Hold or Lower Deck Beams	4 × 4	× 7/16	4 1/2 × 3 1/2	× 7/16
Stringers in Hold	10	9/16	10 1/2	9/16
Flat of Lower Deck, thickness and material	4 × 4	× 7/16	4 1/2 × 3 1/2	× 7/16
Main piece of Rudder, diameter at head	N.P.	2 1/2	-	2 1/2
,, ,, ,, at heel	-	5	-	4 3/4
(Can the Rudder be unshipped afloat Yes)	-	3	-	2 3/4
Bulkheads, N°. 4 Thickness of 6/16				

,, Height up to upper deck
,, how secured to the sides of the ship rivetted to double frames
,, size of vertical angle irons 3 × 3 1/2 × 7/16 and their distance apart 2' 6"

© 2019 Lloyd's Register Foundation

IRON440-0014-R

Рис. 3. *Оборотный лист инспекционного отчёта Lloyd's на пароход General Kotzebue от 26 августа 1866 г. (источник: Lloyd's Register Foundation, LRF-PUN-IRON440-0014-R, изображение 2 из 2)*

Fig. 3. *Reverse side of Lloyd's survey report for General Kotzebue, dated 26 August 1866 (source: Lloyd's Register Foundation, LRF-PUN-IRON440-0014-R, image 2 of 2)*

В исследованиях М. Н. Барышникова и А. Сидоренко развитие флота рассматривается вместе с созданием собственной ремонтной и портовой базы. Уже в первые годы работы общества приобретение судов сопровождалось строительством эллинга и механического завода в Севастополе, обустройством причалов и обеспечением топливом [4; 5, с. 488–489].

Первоначальная силовая установка парохода также требует уточнения. Инспекционный отчёт Lloyd's указывает 180 л. с., Newcastle Courant — 185 л. с., а В. В. Яровой приводит для раннего состояния судна соотношение 180/900 л. с., то есть номинальную и индикаторную мощность[7]. В справочнике для судна также приведены водоизмещение 1100 т, валовая и чистая регистровая вместимость 700 и 441 рег. т, размерения 67,97 × 8,23 × 4,60 м при осадке 3,51 м и скорость 13 уз. Эти цифры нельзя смешивать с длиной 230 футов, указанной в прессе: регистровые и общие линейные размерения могли определяться по различным правилам. Поэтому встречавшееся ранее обозначение 1080 л. с. как мощности первоначальной машины ошибочно. Более того, справочник В. В. Ярового прямо указывает, что первоначально на судне стояла паровая машина простого расширения, тогда как машина двойного расширения была установлена только во время крупной перестройки в 1883–1884 годах.

Самым известным рейсом «Генерала Коцебу» стало путешествие в Египет в 1869 году на торжества по случаю открытия Суэцкого канала. В отечественной системе датировки это событие приходилось на 5 ноября, в западноевропейской — на 17 ноября. 27 октября по старому стилю из Одессы вышли два парохода РОПиТ — «Генерал Коцебу» и «Владимир». К Суэцу направлялись также русские военные суда. На борту «Генерала Коцебу» находились представители государственных учреждений, флота, инженерного сообщества и печати, в том числе Н. М. Чихачёв, М. О. Дюгамель, М. П. Манганари, К. А. Скальковский и И. К. Айвазовский [6, с. 156–157; 7, с. 20–21; 8, с. 179]. К. А. Скальковский образно называл пассажиров парохода «сливками русских гостей», подчёркивая необычный состав этой поездки. Натан Эпплтон, присоединившийся к группе в Одессе, независимо подтверждает маршрут через Константинополь, Родос и Порт-Саид к Суэцкому каналу.

В прежней литературе неоднократно повторялось утверждение, что «Генерал Коцебу» первым вошёл в новый канал. Однако современное событиям свидетельство Н. Мосолова показывает иную последовательность: русскому клиперу «Яхонт» удалось пройти раньше, в то время как «Генерал Коцебу» и «Владимир» ещё ожидали очереди [9; 6, с. 156–157]. Следовательно, корректнее говорить об участии парохода в церемониальном проходе и перевозке российской делегации, а не о первенстве. Сам И. К. Айвазовский позднее вспоминал задержку движения после посадки шедшего впереди судна на мель и импровизированный концерт пассажиров во время ночного ожидания [10, с. 289].

После этого рейса пароход продолжал интенсивную службу. С ноября 1871 по март 1872 года он прошёл капитальный ремонт в Севастополе, а весной и летом 1874 года там же получил новые котлы. В период Русско-турецкой войны 1877–1878 годов «Генерал Коцебу» сначала находился в Николаеве без употребления. 17 ноября 1877 года он перешёл в Севастополь для ремонта и после окончания военных действий с открытием навигации 1878 года вновь начал движение по Крымско-Кавказской линии[8]. Таким образом, уже до перестройки 1880-х годов судно несколько раз проходило крупные ремонтные циклы, что необходимо учитывать при оценке сохранности первоначальных деталей конструкции и интерьера.

Крупнейшая перестройка произошла с декабря 1883 по май 1884 года в Севастополе. Именно тогда старые механизмы были заменены новой паровой машиной двойного расширения мощностью 225 номинальных и 1080 индикаторных лошадиных сил[9]. Эта деталь особенно важна для интерпретации технических характеристик судна: показатель 1080 л. с., приводившийся ранее как первоначальный, относится к результату модернизации почти через восемнадцать лет

[7] Яровой В. В. Русское общество пароходства и торговли. Исторический список судового состава 1856–1932 гг. Одесса, 2017. С. 68–69; Lloyd's Register Foundation. Iron Ships Report for General Kotzebue, 26 August 1866. LRF-PUN-IRON440-0014-R; Newcastle Courant. 14 September 1866.

[8] Яровой В. В. Русское общество пароходства и торговли. Исторический список судового состава 1856–1932 гг. Одесса, 2017. С. 68–69.

[9] Там же.

после постройки. С сентября 1892 по февраль 1893 года «Генерал Коцебу» прошёл очередной капитальный ремонт с заменой котлов и был направлен на Николаевскую линию[10].

В ночь на 11 июля 1893 года при возвращении из Николаева пароход столкнулся у Аджигольской косы с судном РОПиТ «Князь Потёмкин» и серьёзно повредил носовую часть. К 1 августа его отремонтировали в Одессе. Этот эпизод важен не только как предшествующая авария: он показывает, что носовая часть, позднее вновь повреждённая при столкновении 1895 года, незадолго до гибели уже подвергалась ремонту. В мае 1894 года пароход снова вышел на Крымско-Кавказскую линию. Последняя крупная модернизация проводилась с декабря 1894 по апрель 1895 года в Севастополе: судно капитально отремонтировали и переоборудовали, в том числе надстроили полубак с учётом условий эксплуатации на Крымско-Кавказской линии[11]. Это уточнение позволяет отказаться от расплывчатой формулы о некоей «двойной палубе»: справочник В. В. Ярового даёт более конкретное определение выполненной работы. Эти сведения существенно меняют и общую оценку технического состояния парохода. Почти тридцатилетний возраст не означал подготовки к списанию. Напротив, непосредственно перед гибелью РОПиТ вложило средства в продолжение его службы.

Возвращение парохода на Крымско-Кавказское направление следует соотносить с организацией сообщения начала 1890-х годов. Как показал М. Н. Барышников, условия 1891 года предусматривали две еженедельные линии между Одессой и Батумом: круговую с многочисленными заходами в крымские и кавказские порты и прямую через Севастополь, Ялту, Феодосию, Керчь и Новороссийск [11, с. 95]. Эти условия характеризуют организацию сообщения, но не позволяют без рейсовой документации отнести «Генерала Коцебу» к одному из двух вариантов маршрута.

После завершения работ «Генерал Коцебу» вышел из Севастополя в Одессу в балласте. На борту находилась команда и лишь несколько случайных пассажиров,



Рис. 4. *Карта части Чёрного моря с обозначением места столкновения «Генерала Коцебу» и «Пендераклии». Иллюстрация из брошюры 1895 г. (источник: «Новая катастрофа на Чёрном море. Гибель парохода „Генерал Коцебу“». Одесса, 1895)*

Fig. 4. *Map of part of the Black Sea showing the collision site of General Kotzebue and Penderaklia. Illustration from an 1895 pamphlet (source: A new disaster in the Black Sea. The loss of the steamship General Kotzebue. Odessa, 1895)*

поэтому человеческие потери оказались значительно меньше тех, которые могли бы сопровождать гибель судна в обычном пассажирском рейсе. В ранних публикациях катастрофа датировалась 16 апреля 1895 года, однако официальная телеграмма командира транспорта «Пендераклия» капитана 2 ранга Уклонского позволяет разделить дату выхода и дату столкновения. В документе прямо сказано, что оно произошло «в двенадцать часов пятьдесят минут пополуночи, семнадцатого апреля» приблизительно в 12 милях от Тарханкутского маяка (см. рис. 4)[12].

[10] Яровой В. В. Русское общество пароходства и торговли. Исторический список судового состава 1856–1932 гг. Одесса, 2017. С. 68–69.

[11] Там же. С. 69.

[12] Гибель парохода Русского общества пароход. и торговли «Ген. Коцебу». Одесса: Логинов, 1895. С. 14–15; ср.: Яровой В. В. Русское общество пароходства и торговли. Исторический список судового состава 1856–1932 гг. Одесса, 2017. С. 69.



Рис. 5. *Портрет капитана Скуфати (источник: «Гибель парохода Русского общества пароход. и торговли „Ген. Коцебу“». Одесса, 1895)*

Fig. 5. *Portrait of Captain Skufati (source: The loss of the Russian Steam Navigation and Trading Company steamship General Kotzebue. Odessa, 1895)*

Следовательно, 16 апреля было днём выхода из Севастополя, а погиб пароход уже 17 апреля по старому стилю, то есть 29 апреля по григорианскому календарю.

Не все ранние сообщения одинаково определяли время: во второй одесской брошюре фигурирует 00:45[13]. Расхождение в пять минут может отражать приблизительность первых телеграфных известий, тогда как сообщение Уклонского имеет характер официального донесения непосредственного участника события. Поэтому для реконструкции предпочтительно время 00:50. Версия о том, что вахтенный «Пендераклии» принял огни «Генерала Коцебу» за Тарханкутский маяк, воспроизводилась в прежних публикациях автора. Однако опубликованные свидетельства не позволяют считать её установленной судом причиной столкновения. Конкретную последовательность наблюдения огней и отдачи команд следует проверять по полному комплексу следственных материалов.

Более устойчиво восстанавливается общая последовательность последних минут. На «Генерале Коцебу» вахту нёс помощник капитана. Капитан Скуфати (см. рис. 5) поднялся на мостик уже после обнаружения опасного сближения. Согласно одному из рассказов, огни встречного судна были замечены примерно за полторы минуты до удара. На «Пендераклии» обстановка также была оценена слишком поздно. Когда суда оказались на малой дистанции, предпринимались попытки уменьшить или остановить ход, однако своевременных предупредительных свистков, по показаниям спасшихся, не последовало. «Пендераклия» продолжала движение по инерции. Её нос и бушприт вошли в правый борт «Генерала Коцебу» в районе носовых жилых помещений[14]. Сила удара была такова, что бушприт глубоко внедрился в корпус, а передняя часть гражданского парохода оказалась приподнята. В брошюрах 1895 года столкновение передано также в рисунках (см. рис. 6, 7).

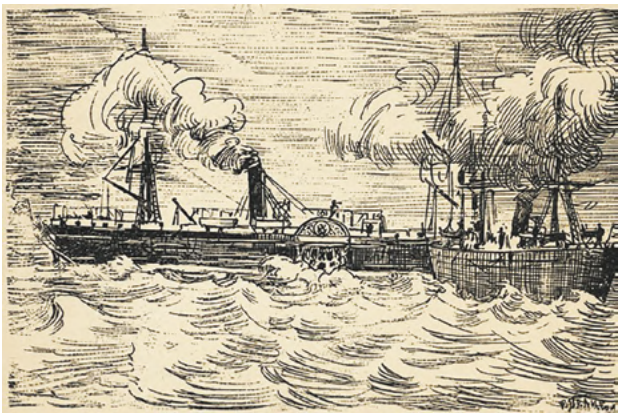


Рис. 6. *Столкновение пароходов «Генерал Коцебу» и «Пендераклия». Рисунок на передней обложке брошюры 1895 г. (источник: «Гибель парохода Русского общества пароход. и торговли „Ген. Коцебу“». Одесса, 1895)*

Fig. 6. *Collision between General Kotzebue and Penderaklia. Drawing on the front cover of an 1895 pamphlet (source: The loss of the Russian Steam Navigation and Trading Company steamship General Kotzebue. Odessa, 1895)*

[13] Новая катастрофа на Чёрном море. Гибель парохода «Генерал Коцебу». Одесса: Е. А. Губанов, 1895. С. 7–8.

[14] Гибель парохода Русского общества пароход. и торговли «Ген. Коцебу». Одесса: Логинов, 1895. С. 6–10; Новая катастрофа на Чёрном море. Гибель парохода «Генерал Коцебу». Одесса: Е. А. Губанов, 1895. С. 10–16.

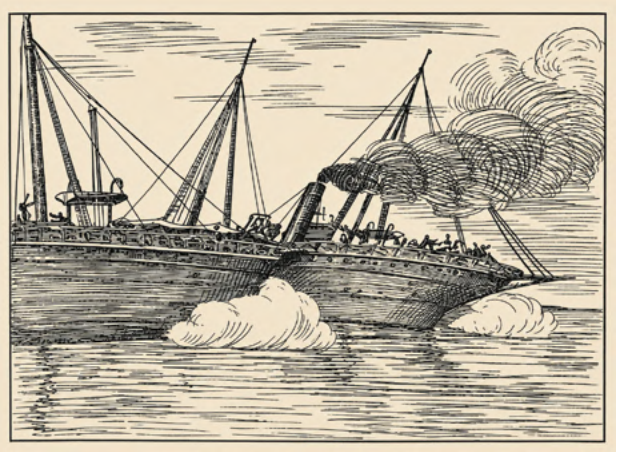


Рис. 7. *«Столкновение пароходов». Иллюстрация из брошюры 1895 г. (источник: «Новая катастрофа на Чёрном море. Гибель парохода „Генерал Коцебу“». Одесса, 1895)*

Fig. 7. *“Collision of steamships”. Illustration from an 1895 pamphlet (source: A new disaster in the Black Sea. The loss of the Steamship General Kotzebue. Odessa, 1895)*

Эти иллюстрации отражают представление современников о катастрофе, но не могут использоваться как точные схемы манёвров или повреждений.

Удар вызвал тяжёлые разрушения. Боцман Бондаренко, находившийся в кубрике, погиб практически сразу. О последних минутах юнги Мандрова ранние сообщения рассказывают по-разному; точная последовательность его попыток спастись остаётся неясной. После первоначального замешательства стало понятно, что гражданский пароход быстро принимает воду. Началась эвакуация. Капитан парохода «Рюрик» И. Х. Лазаревич и неизвестная пассажирка оказались в одной из спускаемых шлюпок, которая не успела отойти от борта, была прижата к корпусу и опрокинулась при погружении судна. Оба погибли. На «Пендераклии» также спустили шлюпки и приняли большую часть экипажа «Генерала Коцебу»[15].

Пароход оставался на поверхности около двадцати минут и погружался прежде всего повреждённой носовой частью. Всего погибли пять человек: И. Х. Лазаревич, неизвестная пассажирка, боцман Бондаренко, повар Никон Лазарчук и юнга Мандров[16]. Первые телеграфные сообщения давали несколько иной состав жертв, что хорошо показывает предварительный характер сведений первых часов. Через некоторое время к месту аварии подошёл пассажирский пароход «Пётр», следовавший из Севастополя в Одессу. На «Пендераклии» для привлечения его внимания зажигали ракеты и фальшфейеры. С «Петра» спустили шлюпки, которые до рассвета обследовали поверхность моря и плававшие обломки в поисках людей и тел погибших. Затем «Пётр» по просьбе командира сопровождал повреждённую «Пендераклию» к Акмечетской бухте, где транспорт мог временно заделать пробоины, после чего доставил спасённых в Одессу[17].

Сведения о действиях сразу после затопления позволяют сопоставить письменное описание места гибели с данными подводных обследований. В рассказе капитана «Петра» А. А. Приткова сообщается, что для обозначения места был брошен 12-пудовый якорь с буйком, а глубина определена в 21 сажень[18]. В метрической системе это около 44,8 м, тогда как опубликованная современная глубина составляет приблизительно 44 м. Следовательно, место было промерено и обозначено уже после аварии. При этом сведения сами по себе не устанавливают, когда именно была утрачена возможность его точной локализации.

Разбирательство продолжалось более года. Резолютивная часть решения Главного военно-морского суда от 5 августа 1896 года приведена в предыдущей публикации автора со ссылкой на дело РГАВМФ. Бывший командир «Пендераклии» капитан 2 ранга Уклонский был приговорён к выговору в приказе, мичман Саблин — к пяти неделям гауптвахты, поручик корпуса флотских штурманов Гурин — к семи дням гауптвахты, шкипер дальнего плавания Торубаев — к трём месяцам тюремного заключения. Капитан «Генерала Коцебу» Скуфати был оправдан [2, с. 6][19].

[15] Гибель парохода Русского общества пароход. и торговли «Ген. Коцебу». Одесса: Логинов, 1895. С. 8–12; Новая катастрофа на Чёрном море. Гибель парохода «Генерал Коцебу». Одесса: Е. А. Губанов, 1895. С. 12–18, 28–29.

[16] Гибель парохода Русского общества пароход. и торговли «Ген. Коцебу». Одесса: Логинов, 1895. С. 10–12; Новая катастрофа на Чёрном море. Гибель парохода «Генерал Коцебу». Одесса: Е. А. Губанов, 1895. С. 28–29.

[17] Гибель парохода Русского общества пароход. и торговли «Ген. Коцебу». Одесса: Логинов,1895. С. 12–14.

[18] Там же. С. 13–14. Сведения о якоре с буйком и промере глубины содержатся в рассказе капитана «Петра» А. А. Приткова непосредственно перед опубликованной телеграммой командира «Пендераклии».

[19] Резолютивная часть решения опубликована со ссылкой на РГАВМФ. Ф. 1025. Оп. 1. ед. хр. 36.

От назначенных наказаний осуждённых освободили в силу манифеста от 14 мая 1896 года. Для части из них сохранялось церковное покаяние. Это освобождение следует отличать от оправдания Скуфати. Опубликованная резолюция не содержит полной мотивировки, поэтому конкретные нарушения каждого участника можно установить лишь по всему судебному делу. До такой проверки версии об ошибке в распознавании огней, несвоевременном манёвре и отсутствии сигналов нельзя выдавать за окончательные выводы суда.

В 2013 году объект был обнаружен М. В. Шевчуком и обследован сотрудниками Черноморского центра подводных исследований (см. рис. 8). Судно находится к западу

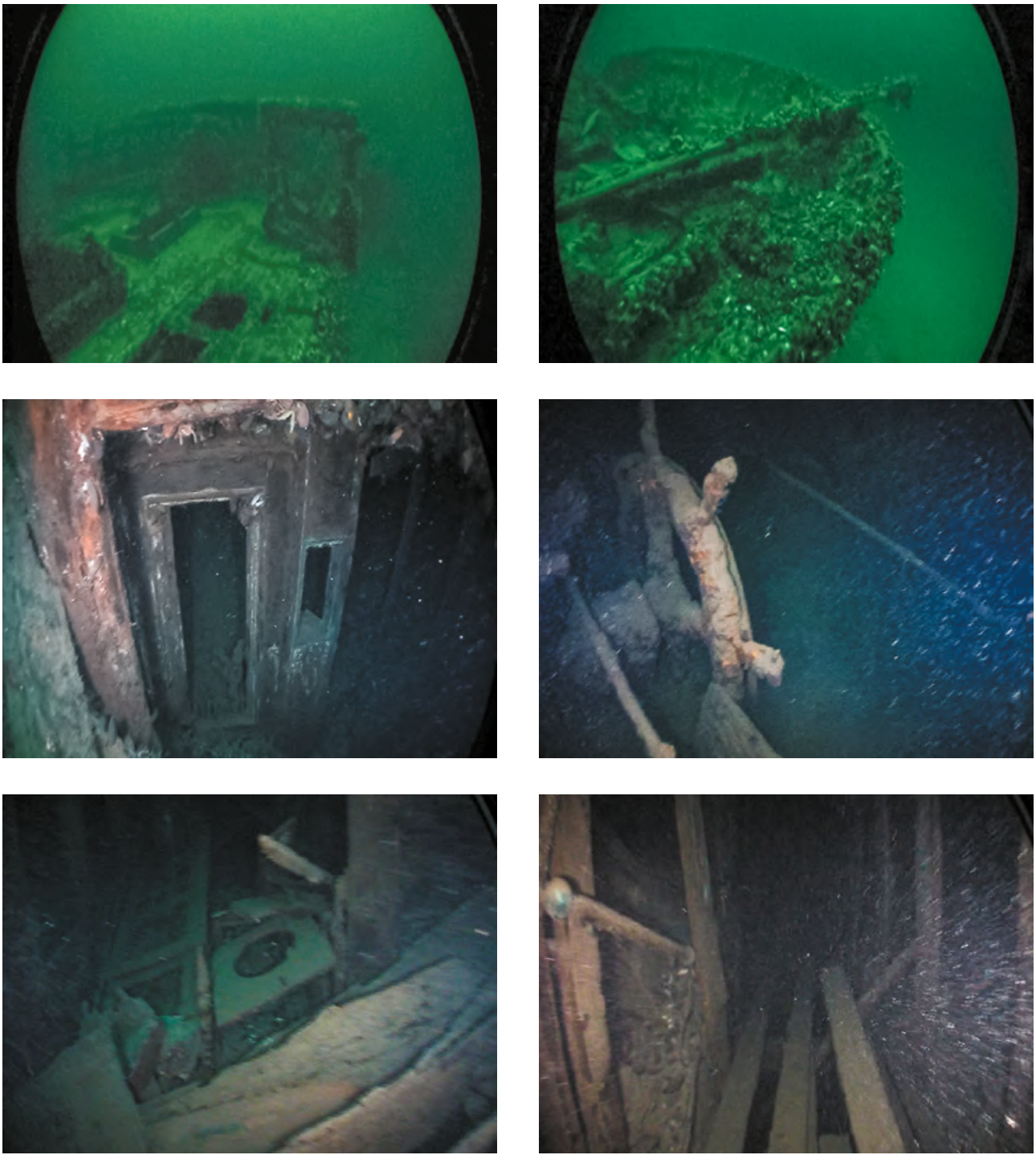


Рис. 8. *Подводные исследования затонувшего парохода «Генерал Коцебу» (источник: архив автора)*
Fig. 8. *Underwater investigation of the wreck of General Kotzebue (source: author's archive)*

от Тарханкутского полуострова на глубине около 44 м и лежит на ровном киле [1, с. 58–59, 64–65; 2, с. 1, 6–7, 12]. Близость этой глубины к промеру 1895 года согласуется с историческим описанием места гибели, однако должна оцениваться вместе с конструктивными признаками и другими данными идентификации.

Носовая часть корпуса сильно разрушена от верхней палубы до уровня вхождения в грунт. На баке — брашпиль и якорь, часть носовых помещений заполнена илом и раковиной. Через открытый световой люк просматривается помещение с большим столом и сохранившейся над ним люстрой. Рубка отсутствует. В средней части по обоим бортам сохраняются гребные колеса, а разрушения палубы позволяют наблюдать отдельные элементы их механизмов. Кормовая надстройка также разрушена, дымовая труба сорвана и лежит у левого борта. В пассажирских помещениях отмечены шкафы, кровати, умывальники и фрагменты мебели. По первоначальному описанию, корпус местами погружён в донные отложения не менее чем на 4 м [1, с. 62–65; 2, с. 6–7].

Современное состояние судна нельзя воспринимать как прямую фиксацию момента катастрофы. Методическую основу для такого разграничения даёт модель И. Уорд, П. Ларкомба и П. Вета: формирование кораблекрушения рассматривается как взаимодействие физических, биологических и химических процессов, зависящих от свойств судна, поступления осадков и гидродинамической обстановки [12]. Применительно к «Генералу Коцебу» опубликованные наблюдения позволяют отметить разрушение конструкций, заиливание и присутствие рыболовных снастей, но не определить скорость и последовательность всех изменений или уверенно отделить следы самой аварии. Первоначальные повреждения были связаны со столкновением и затоплением. Современная конфигурация корпуса сложилась также под воздействием коррозии, обрушений и рыболовных снастей, остатки которых отмечались вдоль судна. Поэтому разрушение носа само по себе не локализует пробоину 1895 года. Необходима фиксация деформаций обшивки и набора правого борта с отделением первичных повреждений от последующих и учётом ремонта носовой части после аварии 1893 года.

Наглядное сопоставление письменных и материальных данных даёт пассажирский интерьер. В сентябре 1866 года британская



Рис. 9. *Участок полихромного плиточного пола в пассажирском помещении «Генерала Коцебу», сохранившийся in situ (источник: архив автора)*

Fig. 9. *A section of polychrome tiled flooring preserved in situ in a passenger compartment of General Kotzebue (source: author's archive)*

печать отмечала мозаичную плитку Minton в помещениях первого класса[20]. На подводной фотографии виден участок полихромного плиточного пола, сохранившийся внутри судна (см. рис. 9). Отдельный фрагмент плитки, определённой в публикации как продукция Minton, был поднят с кораблекрушения [1, с. 60, 64–65; 2, с. 6–7]. Снимок покрытия in situ и сведения о поднятом фрагменте следует различать. Они подтверждают наличие подобной отделки, но не устанавливают время изготовления или укладки каждого сохранившегося элемента. Для этого необходимы клейма, технологические признаки и контекст находки.

Среди поднятых на поверхность находок выделяются также сертификат Lloyd's на якоря и цепи, компас, судовой фонарь, чайник, фарфоровая посуда и столовые приборы с маркировкой РОПиТ [1, с. 62–65; 2, с. 7]. Сам сертификат особенно интересен, поскольку связывает материальный комплекс кораблекрушения с той же британской системой технического освидетельствования, документы которой сохранились в архиве Lloyd's Register Foundation. Вещевой комплекс принципиально неоднороден по времени. Предметы могли поступать на судно при первоначальном

[20] The Times. 8 September 1866. P. 6; Newcastle Courant. 14 September 1866.

оснащении, в ходе ремонтов 1870-х годов, после перестройки 1884 года, при замене котлов в 1892–1893 годах или во время последнего переоборудования в 1894–1895 годах.

Особую ценность представляют предметы, оставшиеся в помещениях in situ. Стол, люстра, мебель и санитарное оборудование образуют не набор случайных находок, а остатки функционально организованного пассажирского пространства. Отдельные каюты, проходы и салонные помещения потенциально могут рассматриваться как самостоятельные археологические комплексы. Для археологии индустриальной эпохи именно сохранение взаимного положения предметов позволяет реконструировать назначение помещений, социальную дифференциацию пассажирских пространств и изменения внутреннего устройства судна. При этом значительная часть нижнего корпуса погружена в ил. К таким участкам доступ труднее, но они могли оказаться лучше защищены от тралов и последующего механического разрушения. По этой причине дальнейшее исследование должно быть ориентировано прежде всего на пространственную фиксацию, а не на выборочный подъём эффектных вещей.

Во время последних обследований внимание было привлечено к остаткам живописных произведений внутри судна. Поскольку И. К. Айвазовский путешествовал на «Генерале Коцебу» в 1869 году, в средствах массовой информации возникла версия о принадлежности картин кисти художника, однако участники обследования первоначально её не подтверждали[21]. При этом наличие живописи в салоне документировано ещё при постройке: Newcastle Courant в сентябре 1866 года сообщала, что панели были украшены «highly-finished paintings» — тщательно выполненными живописными произведениями[22]. Таким образом, появление живописи на борту нельзя связывать исключительно с рейсом И. К. Айвазовского: она входила в убранство судна за три года до этой поездки. Но газетное описание не доказывает и то, что обнаруженные под водой остатки принадлежат именно первоначальному убранству, а также не устанавливает авторов, сюжеты и число картин. Для такой связи необходимо исследование основы, грунта и красочного слоя, проверка подписей и документов о поступлении произведений на судно. Пока находки следует определять как остатки живописных произведений неизвестного авторства.

Первоочередной задачей дальнейших работ представляется фотограмметрическая фиксация корпуса и прилегающего поля обломков. Опыт документирования и реконструкции судовых остатков методом многокадровой фотограмметрии представлен, в частности, в работе К. Ямафунэ, Р. Торреса и Ф. Кастро [13]. Для «Генерала Коцебу» такая съёмка предлагается как следующий этап, а не как уже выполненная работа. Единая модель должна сохранять связь между корпусом, деталями механизмов, помещениями и отдельными находками и служить основой для сопоставления повторных обследований. Особого внимания требуют правый борт носовой части, заиленные помещения и обломки за пределами корпуса. Их фиксация позволит проверить предполагаемую зону удара, уточнить направление обрушения конструкций и перемещения деталей тралами. Документирование положения предметов должно предшествовать расчистке и подъёму.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Привлечение новых источников позволяет уточнить историю парохода «Генерал Коцебу» и пересмотреть ряд положений прежних публикаций. Согласованы даты спуска и приёмки, разграничены первоначальная силовая установка и результат модернизации 1883–1884 годов. Участие судна в открытии Суэцкого канала отделено от неподтвержденного утверждения о его первенстве. Телеграмма командира «Пендераклии» позволяет датировать столкновение. Оно произошло в 00:50 17 апреля 1895 года по старому стилю. Археологические наблюдения согласуются с отдельными письменными сведениями: промер 21 сажень близок современной глубине, а плиточная отделка, описанная в 1866 году, представлена на подводных снимках и среди опубликованных находок. Однако эти соответствия не заменяют анализа конструкции и контекста. Газетное сообщение фиксирует живопись в первоначальном салоне, но не определяет авторство найденных произведений. Состояние носовой части требует учёта ремонтов, последующих обрушений, коррозии, заиливания и тралового воздействия.

[21] Исследователи обнаружили коллекцию картин на затонувшем в Чёрном море пароходе // Крыминформ. 21.06.2018 [Эл. ресурс]. URL: https://www.c-inform.info/news/id/66335 (посл. посещение: 27.09.2026).

[22] Newcastle Courant. 14 September 1866. The Russian Mercantile Navy (газетная вырезка из архива автора, номер страницы на вырезке не указан).

Таким образом, «Генерал Коцебу» представляет собой историко-археологический комплекс, сохранивший следы почти тридцатилетней эксплуатации. Его изучение должно соединять документальную историю с анализом конструкции, контекстов находок и последующих изменений кораблекрушения. Такой подход позволяет не только уточнять биографию парохода, но и исследовать материальную культуру пассажирского флота РОПиТ.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках программы ФНИ ГАН по теме государственного задания «Методы сохранения археологического наследия на основе применения современных технологий» (FMZF-2025-0012).

FUNDING

The study was carried out within the framework of the Fundamental Scientific Research of the State Academy of Sciences Program on the topic of the state assignment “Methods of preserving archaeological heritage based on the use of modern technologies” (FMZF-2025-0012).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declares no conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахонеев В. В. Колёсный пароход «Генерал Коцебу» // Нептун. 2015. № 6. С. 58–65.
2. Вахонеев В. В. Пароходы XIX в. «Генерал Коцебу» и «Веста»: новейшие подводные открытия у берегов Западного Крыма // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2017. Т. 14. Вып. 1. Крымоведение: пространство и время Крыма [Эл. ресурс]. URL: http://j-spacetime.com/actual%20content/t14v1/PDF/2227-9490e-aprovr_e-ast14-1.2017.43.pdf (посл. посещение: 27.09.2026).
3. Степанов Д. А. Учреждение Русского общества пароходства и торговли (1856–1857 годы) // Вестник Челябинского государственного университета. 2011. № 22 (237). Вып. 46: История. С. 30–38.
4. Барышников М. Н. Русское общество пароходства и торговли: учреждение, функционирование, перспективы развития (1856–1864 гг.) // Terra Economicus. 2015. Т. 13. № 2. С. 106–130.
5. Sydorenko A. The Russian Steam Navigation and Trading Company: The Transition from Sail to Steam in the Russian Black Sea (1856–1914). Mediterranean Seafarers in Transition: Maritime Labour, Communities, Shipping and the Challenge of Industrialization 1850s–1920s. Leiden, Boston, Brill, 2022, pp. 478–505. DOI: https://doi.org/10.1163/9789004514195_018
6. Любарская А. М. Русские путешественники и моряки на строительстве Суэцкого канала // Страны и народы Востока. Вып. I: География, этнография, история. М.: Издательство восточной литературы, 1959. С. 148–160.
7. Скальковский К. А. Путевые впечатления в Испании, Египте, Аравии и Индии. 1869–1872. СПб., 1873. 326 с.
8. Appleton N. Russian Life and Society as Seen in 1866–’67 by Appleton and Longfellow, Two Young Travelers from the United States of America, Who had Been Officers in the Union Army, and a Journey to Russia with General Banks in 1869. Boston, 1904, 312 p.
9. Мосолов Н. Открытие Суэзского канала // Всемирная иллюстрация. 1870. Т. III. № 54. С. 30.
10. Каратыгин П. П. Иван Константинович Айвазовский и его художественная XLII-летняя деятельность // Русская старина. 1878. Т. XXIII. Кн. 9. С. 281–306.
11. Барышников М. Н. Батум в операциях Русского общества пароходства и торговли (1874–1913 гг.) // Петербургский исторический журнал. 2025. № 2 (46). С. 91–102. DOI: https://doi.org/10.51255/2311-603X_2025_2_91
12. Ward I. A. K., Larcombe P., Veth P. A New Process-Based Model for Wreck Site Formation. Journal of Archaeological Science. 1999, vol. 26, no. 5, pp. 561–570. DOI: https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0331
13. Yamafune K., Torres R., Castro F. Multi-Image Photogrammetry to Record and Reconstruct Underwater Shipwreck Sites. Journal of Archaeological Method and Theory. 2017, vol. 24, no. 3, pp. 703–725. DOI: https://doi.org/10.1007/s10816-016-9283-1

REFERENCES

1. Vakhoneev V. V. *Kolyosny`j paroxod ˝General Kocebu˝: novy`j re`k u my`sa Tarxankut* [The Paddle Steamer General Kotzebue: a New Shipwreck off Cape Tarkhankut]. Neptun. 2015, no. 6, pp. 58–65. (In Russ.)
2. Vakhoneev V. V. *Paroxody` XIX v. ˝General Kocebu˝ i ˝Vesta˝: novejshie podvodny`e otkry`tiya u beregov*

Zapadnogo Kry`ma* [Nineteenth-century Steamers General Kotzebue and Vesta: The Newest Submarine Discoveries off the Western Crimea Coast]. *E`lektronnoe nauchnoe izdanie Al`manax Prostranstvo i Vremya* [Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time]. 2017, vol. 14, issue 1. *Kry`movedenie: prostranstvo i vremya Kry`ma [Crimean Regional Studies: Space and Time of Crimea]. [Digital resource]. URL: http://j-spacetime.com/actual%20content/t14v1/PDF/2227-9490e-aprovr_e-ast14-1.2017.43.pdf (last visit: 27.09.2026). (In Russ.)

3. Stepanov D. A. *Uchrezhdenie Russkogo obshhestva paroxodstva i torgovli (1856–1857 gody`)* [The Establishment of the Russian Steam Navigation and Trading Company (1856–1857)]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Chelyabinsk State University]. 2011, no. 22 (237), issue 46: History, pp. 30–38. (In Russ.)
4. Bary`shnikov M. N. *Russkoe obshhestvo paroxodstva i torgovli: uchrezhdenie, funkcionirovanie, perspektivy` razvitiya (1856–1864 gg.)* [The Russian Steam Navigation and Trading Company: Establishment, Operations, and Development Prospects (1856–1864)]. Terra Economicus. 2015, vol. 13, no. 2, pp. 106–130. (In Russ.)
5. Sydorenko A. The Russian Steam Navigation and Trading Company: The Transition from Sail to Steam in the Russian Black Sea (1856–1914). Mediterranean Seafarers in Transition: Maritime Labour, Communities, Shipping and the Challenge of Industrialization 1850s–1920s. Leiden, Boston, Brill, 2022, pp. 478–505. DOI: https://doi.org/10.1163/9789004514195_018
6. Lyubarskaya A. M. *Russkie puteshestvenniki i moryaki na stroitel`stve Sue`zkogo kanala* [Russian Travelers and Sailors at the Construction of the Suez Canal]. *Strany` i narody` Vostoka. Vy`p. I: Geografiya, e`tnografiya, istoriya* [Countries and Peoples of the East. Issue I: Geography, Ethnography, History]. Moscow, Izdatel`stvo vostochnoj literatury`, 1959, pp. 148–160. (In Russ.)
7. Skal`kovskij K. A. *Putevy`e vpechatleniya v Ispanii, Egipte, Aravii i Indii. 1869–1872* [Travel Impressions in Spain, Egypt, Arabia, and India. 1869–1872]. St. Petersburg, 1873, 326 p. (In Russ.)
8. Appleton N. Russian Life and Society as Seen in 1866–'67 by Appleton and Longfellow, Two Young Travelers from the United States of America, Who had Been Officers in the Union Army, and a Journey to Russia with General Banks in 1869. Boston, 1904, 312 p.
9. Mosolov N. *Otkry`tie Sue`zskogo kanala* [Opening of the Suez Canal]. *Vsemirnaya illyustraciya* [World Illustration]. 1870, vol. III, no. 54, p. 30. (In Russ.)
10. Karaty`gin P. P. *Ivan Konstantinovich Ajvazovskij i ego xudozhestvennaya XLII-letnyaya deyatel`nost`* [Ivan Konstantinovich Aivazovsky and His Forty-Two-Year Artistic Career]. *Russkaya starina* [Russian Antiquity]. 1878, vol. XXIII, book 9, pp. 281–306. (In Russ.)
11. Bary`shnikov M. N. *Batum v operaciyax Russkogo obshhestva paroxodstva i torgovli (1874–1913 gg.)* [Batum in the Operations of the Russian Steam Navigation and Trading Company (1874–1913)]. *Peterburgskij istoricheskij zhurnal* [Petersburg Historical Journal]. 2025, no. 2(46), pp. 91–102. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.51255/2311-603X_2025_2_91
12. Ward I. A. K., Larcombe P., Veth P. A New Process-Based Model for Wreck Site Formation. Journal of archaeological Science. 1999, vol. 26, no. 5, pp. 561–570. DOI: https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0331
13. Yamafune K., Torres R., Castro F. Multi-Image Photogrammetry to Record and Reconstruct Underwater Shipwreck Sites. Journal of Archaeological Method and Theory. 2017, vol. 24, no. 3, pp. 703–725. DOI: https://doi.org/10.1007/s10816-016-9283-1

ВКЛАД АВТОРОВ

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

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

Вахонеев Виктор Васильевич, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Институт истории материальной культуры РАН» (Россия, 191186, Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 18, Литер А); WoS ResearcherID: ABA-1073-2020; Scopus Author ID: 57356481400; eLibrary AuthorID: 937494; SPIN: 8071-5207; e-mail: vvvkerch@mail.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8845-0628

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Viktor Vasil'evich Vakhoneev, Candidate of Historical Sciences, Senior Researcher of the Institute for the History of Material Culture of the Russian Academy of Sciences (Dvorczovaya nab., d. 18, lit. A, St. Petersburg, 191186, Russia); WoS ResearcherID: ABA-1073-2020; Scopus Author ID: 57356481400; eLibrary AuthorID: 937494; SPIN: 8071-5207; e-mail: vvvkerch@mail.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8845-0628

Поступила в редакцию	29.09.2026	**Received**	29.09.2026
Прошла рецензирование	21.10.2026	**Revised**	21.10.2026
Принята к публикации	01.11.2026	**Accepted**	01.11.2026

АРХЕОЛОГИЯ | ARCHAEOLOGY

Оригинальная статья | Original article

DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2026.70.91.002 УДК: 902.21

Исследование кораблекрушения деревянного парусного судна (предположительно, соймы) в акватории Финского залива

П. А. Горбунов, Е. Н. Архангельский

АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества», г. Санкт-Петербург, Россия
p.gorbunov@urc-rgs.ru

Аннотация В данной работе показаны результаты изучения кораблекрушения деревянного парусного судна, являющегося объектом традиционного народного судостроения, предварительно идентифицированного как сойма. Данный объект лежит на дне акватории Копорской губы Финского залива Балтийского моря. В статье приводится описание всего процесса исследования и его хронология, археологическое описание объекта на морском дне. Также приведена историческая справка по такому типу судна, как сойма.

Ключевые слова сойма, ладожская сойма, деревянное парусное судно, традиционное народное судостроение, кораблекрушение, подводное обследование, клинкерная обшивка, подводные артефакты, фотограмметрия

Для цитирования Горбунов П. А., Архангельский Е. Н. Исследование кораблекрушения деревянного парусного судна (предположительно, соймы) в акватории Финского залива. *Гидрокосмос.* 2026;4(2):26–37. https://doi.org/10.26175/URC.2026.70.91.002

Study of a Wooden Sailing Vessel Shipwreck (Tentatively Identified as a Soyma) in the Gulf of Finland

Pavel A. Gorbunov, Evgenij N. Arxangel`skij

ANO "Underwater Research Center of the Russian Geographical Society", St. Petersburg, Russia
p.gorbunov@urc-rgs.ru

Abstract This paper presents the results of an investigation of a shipwreck involving a wooden sailing vessel belonging to the tradition of vernacular shipbuilding and tentatively identified as a soyma. The wreck lies on the seabed in Koporye Bay, in the Gulf of Finland, Baltic Sea. The article describes the entire research process, provides a chronology of the investigation, and presents an archaeological description of the wreck on the seabed. It also provides historical background on the soyma as a type of vessel.

Keywords soyma, Lake Ladoga soyma, wooden sailing vessel, vernacular shipbuilding, shipwreck, underwater survey, clinker-built hull, underwater artifacts, photogrammetry

For citation Gorbunov P. A., Arxangel`skij E. N. Study of a Wooden Sailing Vessel Shipwreck (Tentatively Identified as a Soyma) in the Gulf of Finland. *Hydrocosmos.* 2026;4(2):26–37. https://doi.org/10.26175/URC.2026.70.91.002

ВВЕДЕНИЕ

За последние два-три года южное направление — южное побережье Финского залива — получило свою долю популярности в экспедиционных исследованиях. Как правило, наибольший интерес у исследователей всегда вызывало северное направление — акватория Выборгского залива и Берёзовых островов. Во многом это связано с изучением знаменитого Выборгского сражения 1790 года. Все корабли, погибшие в ходе этого «великого шведского похода» Густава III, до сих пор лежат на дне и представляют собой крупнейший в мире подводный музей истории кораблестроения второй половины XVIII века [1, с. 564]. Акватория вдоль южного побережья Финского залива Ленинградской области в археологическом отношении всегда была менее изучена.

В настоящей публикации как раз показаны результаты одного из экспедиционных этапов исследований ЦПИ РГО — обследование акватории Копорской губы Финского залива (см. рис. 1). Летом 2024 года здесь проводилась площадная гидроакустическая съёмка акватории гидролокатором бокового обзора (ГБО) с целью поиска затонувших объектов [2, с. 18]. В результате было обнаружено несколько новых, ранее неизвестных точек.

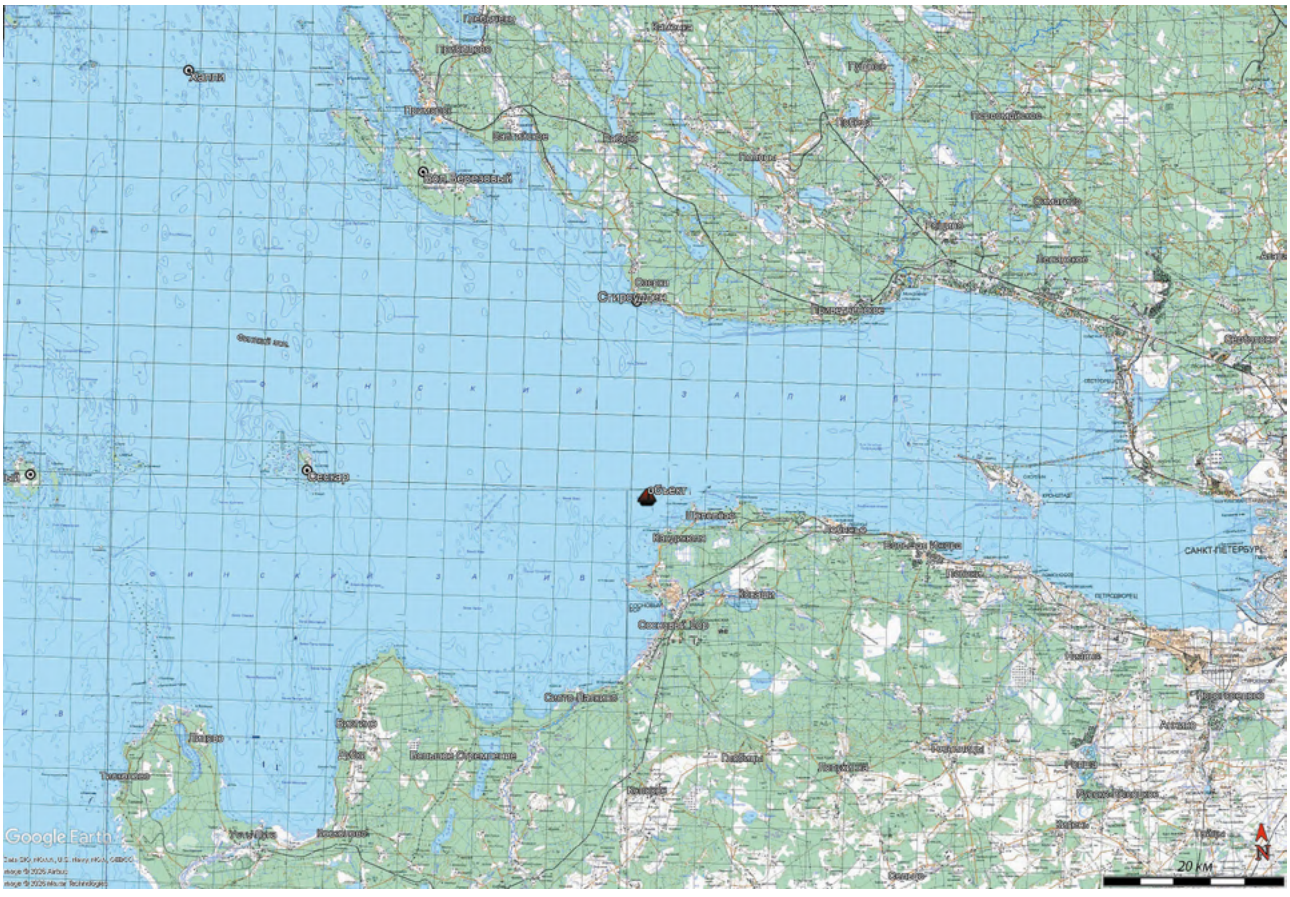


Рис. 1. *Карта восточной части Финского залива (источник: Google Карты, 2026)*
Fig. 1. *Map of the eastern part of the Gulf of Finland (source: Google Maps, 2026)*

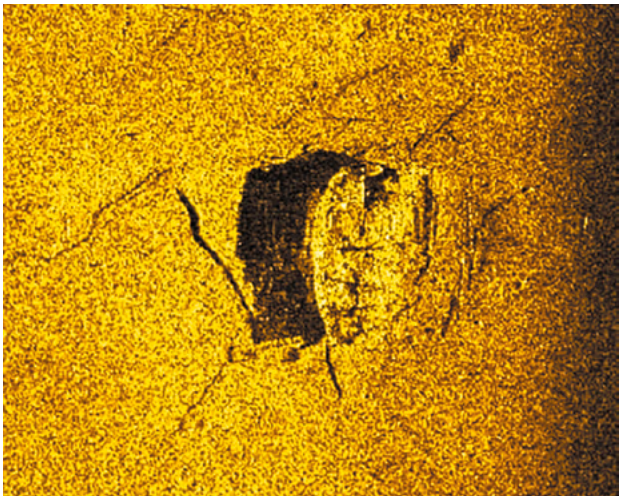


Рис. 2. *Эхограмма ГБО судна (источник: архив авторов)*

Fig. 2. *Side-scan sonar echogram from a vessel (source: authors' archive)*

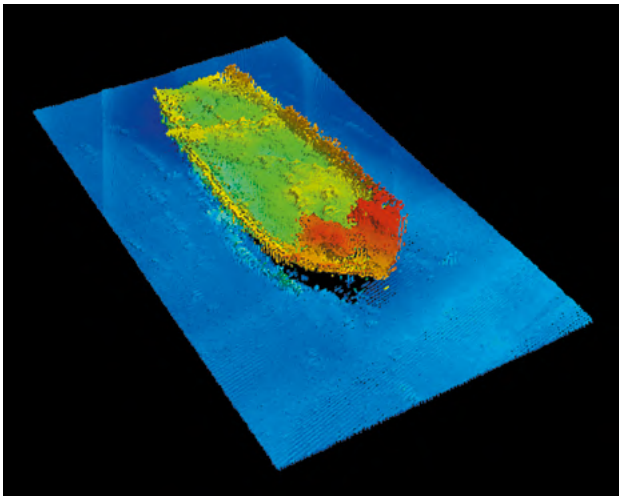


Рис. 4. *Изображение судна, сделанное с помощью МЛЭ (многолучевого эхолота) (источник: архив авторов)*

Fig. 4. *Image of a vessel, produced using a multibeam echosounder (source: authors' archive)*



Рис. 3. *Фотограмметрическое изображение палубной части судна (источник: архив авторов)*

Fig. 3. *Photogrammetric image of the deck section of a vessel (source: authors' archive)*

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной статье мы более подробно остановимся на изучении только одного объекта — деревянного парусного судна, затонувшего в восточной части Копорской губы, неподалёку от мыса Осиновый. Уже по эхограмме ГБО в целом было понятно, что обнаруженный объект является затонувшим судном (см. рис. 2). В том же 2024 году туда был спущен подводный дрон, телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА) «Аргус», и проведено первичное обследование кораблекрушения. На тот момент прозрачность воды и видимость были крайне низкими. Но всё же объект удалось идентифицировать именно как кораблекрушение старинного деревянного парусного судна.

В мае 2025 года было проведено уже водолазное обследование этого кораблекрушения. Сделаны необходимые ручные измерения, а также художественная фотосъёмка объекта. Тогда же удалось поднять несколько артефактов.

В 2026 году проведена повторная экспедиция по обследованию данного судна.

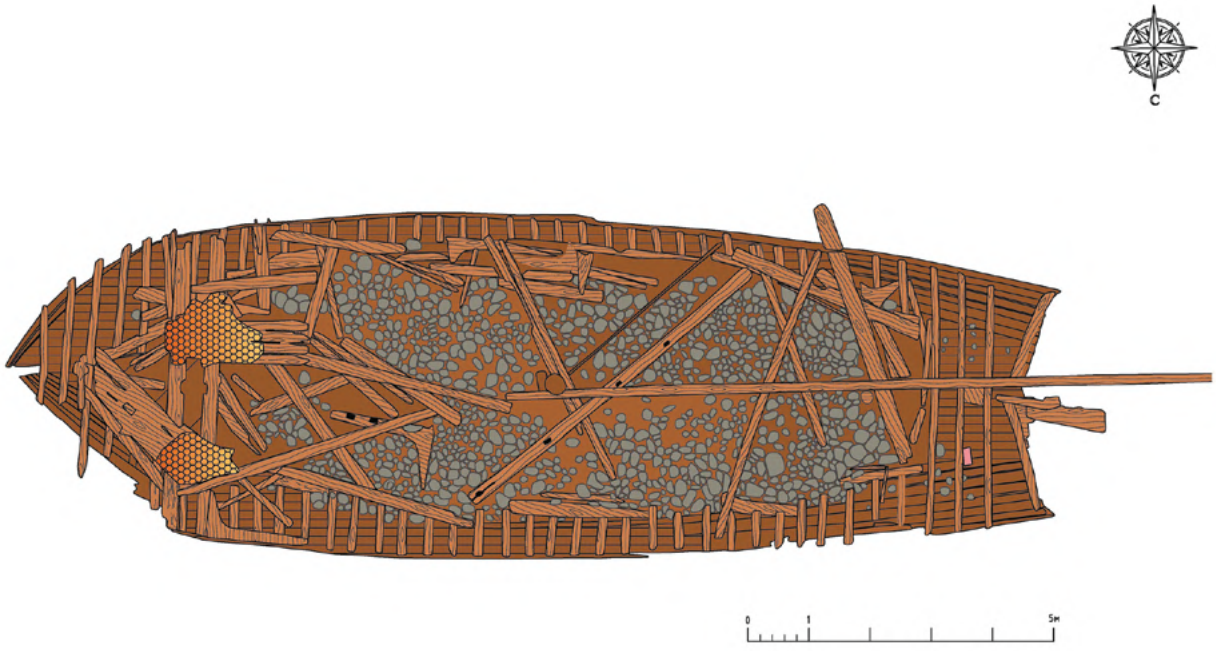


Рис. 5. *Археологический чертёж объекта (в планиграфии) (источник: архив авторов)*
Fig. 5. *Archaeological drawing of the feature (in plan view) (source: authors' archive)*

В результате не только были сделаны новые фотографии, но также удалось построить фотограмметрическое изображение палубной части судна (см. рис. 3). Кроме того, была проведена съёмка объекта многолучевым эхолотом (см. рис. 4). В итоге получилось сделать достаточно точный археологический чертёж объекта (в планиграфии) (см. рис. 5).

РЕЗУЛЬТАТЫ

По итогам трёх сезонов обследований можно сделать следующие выводы:

1. Найденный объект представляет собой кораблекрушение небольшого деревянного парусного судна второй половины XIX века.

2. Деревянный корпус судна относительно хорошо сохранился, лежит на глубине 24 метров на ровном песчаном грунте. Корпус расположен прямо на киле, без видимого крена, ориентирован носом на восток.

3. Размеры судна: длина 16 метров, наибольшая ширина 5,5 метра, возвышение корпуса над грунтом до двух метров.

Деревянный корпус в целом сохраняет свою форму и обводы, лишь в кормовой части борта немного раскрылись, оторвавшись от ахтерштевня. Хорошо читается клинкерная обшивка корпуса: доски крепятся внахлёст. Борт собран из 10 рядов досок. Лишь в некоторых местах доски верхнего ряда обшивки оторваны. Также хорошо прослеживаются шпангоуты: 40 штук от носа до кормы. Шпангоуты вытесаны с уступами, под клинкерную обшивку. Расстояние между шпангоутами (шпация) 30–40 сантиметров. В носовой части судна форштевень выпал и лежит рядом на грунте. Однако в остальном нос сохранился довольно хорошо, борта здесь ещё не раскрылись и сохраняют свою форму (см. рис. 6–10).

Палубный настил отсутствует. Возможно, судно было беспалубным по своей конструкции, но также возможен вариант, что палубный настил был снят. Внутреннее пространство корпуса заполнено камнем-булыжником. Вероятно, это был груз судна, хотя камень мог использоваться и просто в качестве балласта. Также внутри корпуса остались хаотично разбросанные деревянные части судна: оторвавшиеся доски, элементы рангоута и несколько книц. Из рангоута можно увидеть мачту и рею (вероятно, шпринтов-рей). Так, в центральной части судна расположена конструкция крепления основной мачты вместе с её обломком, а сама мачта лежит поперёк корпуса, ближе к кормовой части. Также от конструкции крепления мачты вдоль всего корпуса лежит длинный шпринтов-рей. Длина мачты около пяти метров, длина реи около 11 метров (см. рис. 11–15).

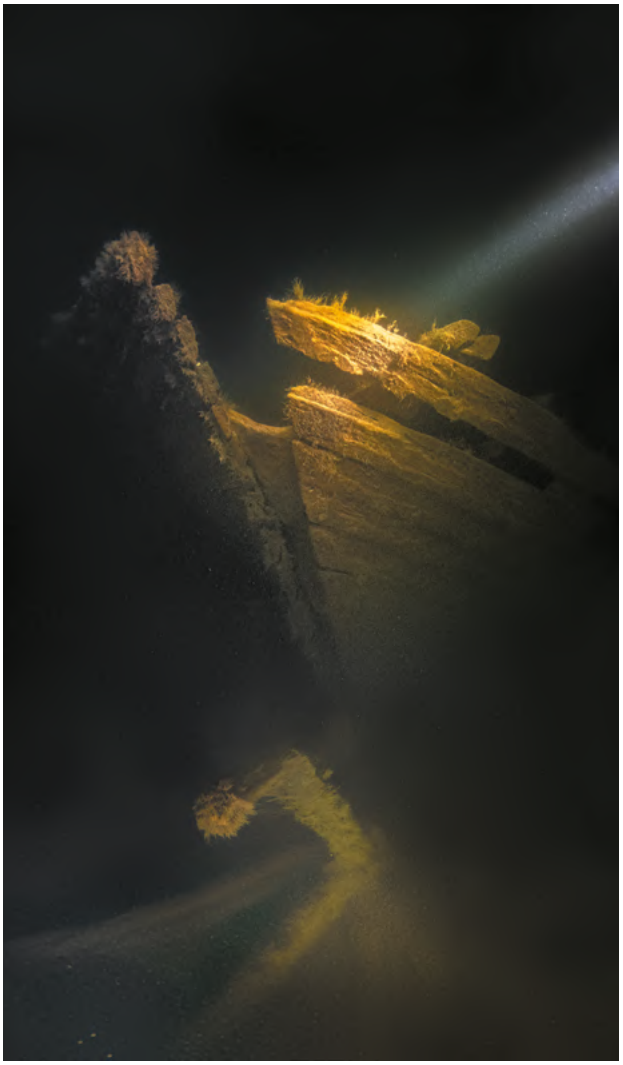


Рис. 6. *Нос судна (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 6. *Bow of a ship (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*

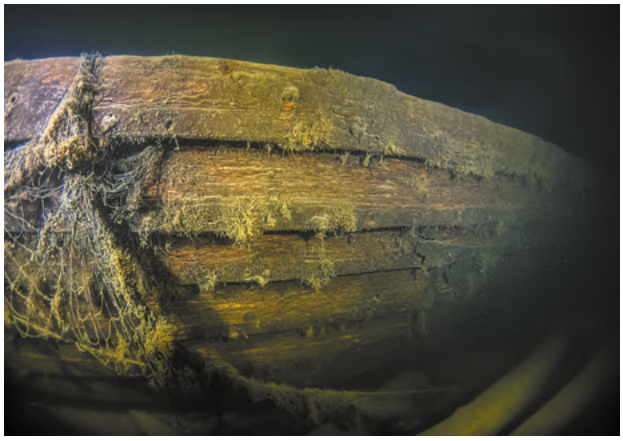


Рис. 8. *Борт судна (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 8. *Ship's side (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*



Рис. 9. *Шпангоут (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 9. *Frame (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*



Рис. 7. *Нос судна, вид изнутри (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 7. *Bow of the vessel, viewed from the inside (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*



Рис. 10. *Корма судна, вид изнутри (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 10. *Stern of the vessel, viewed from the inside (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*

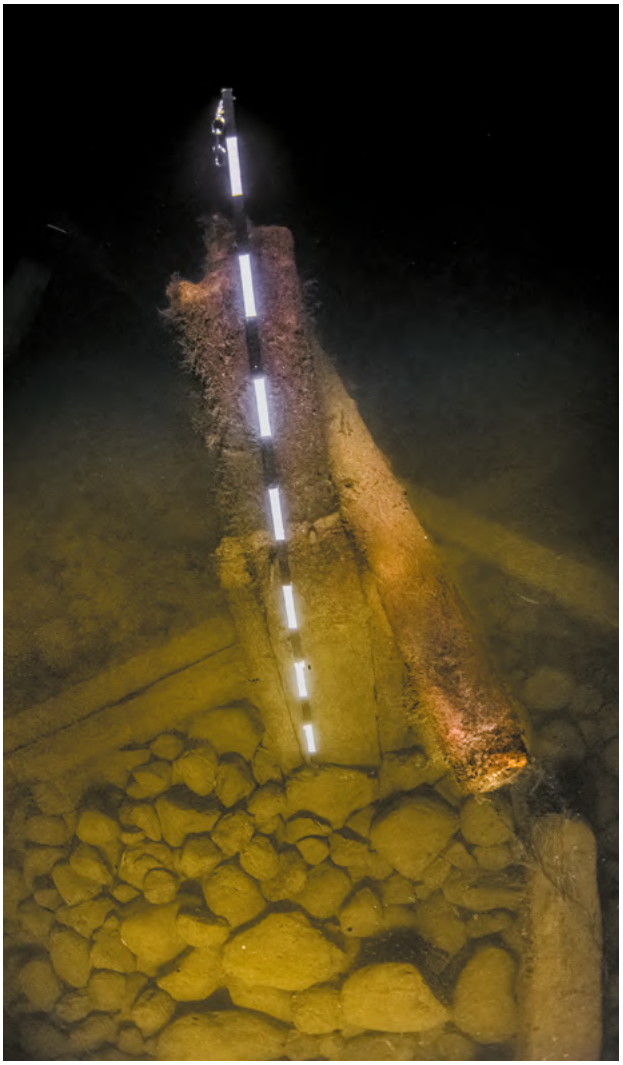


Рис. 11. *Основание мачты (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 11. *Mast base (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*



Рис. 12. *Кницы и другие фрагменты внутри судна (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 12. *Knees and other components inside the vessel (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*



Рис. 13. *Камень-булыжник внутри судна (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 13. *A cobblestone inside the vessel (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*



Рис. 14. *Мачта, рея и другие фрагменты внутри судна (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 14. *Mast, yard, and other fragments inside the vessel (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*



Рис. 15. *Шпринтов-рея и ахтерштевень (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 15. *Sprit-yard and sternpost (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*



Рис. 16. *Брашпиль (источник: архив ЦПИ РГО)*
Fig. 16. *Windlass (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*

В носовой части можно обнаружить отверстие, вероятно используемое для крепления передней мачты. Здесь же расположены элементы деревянной конструкции: небольшой, разломанной на две части, дощатой площадки, на которой лежат смотки якорной цепи. В то время как брашпиль оторван и лежит снаружи, под правым бортом. Также снаружи, под носом судна, лежат два якоря с элементами такелажа (см. рис. 16–19).

В кормовой части судна удалось обнаружить и поднять небольшое количество артефактов. В небольшом ящичке лежала посуда: два фаянсовых блюдца и фарфоровая кофейная чашечка. Рядом, в непосредственной близости, среди камней лежал медный кухонный чайник. Кроме того, в кормовой части возвышается труба водоотливного насоса. За кормой можно увидеть перо руля, подломившееся и вывернутое под углом, но всё ещё прикреплённое к судну (см. рис. 20–22).

Вокруг, за пределами корпуса судна, можно увидеть отломанные доски обшивки, кницу, брашпиль. Вдоль левого борта лежат длинные деревянные конструкции рангоута, возможно являющиеся передней фок-мачтой и шпринтов-реем[1] (см. рис. 23).

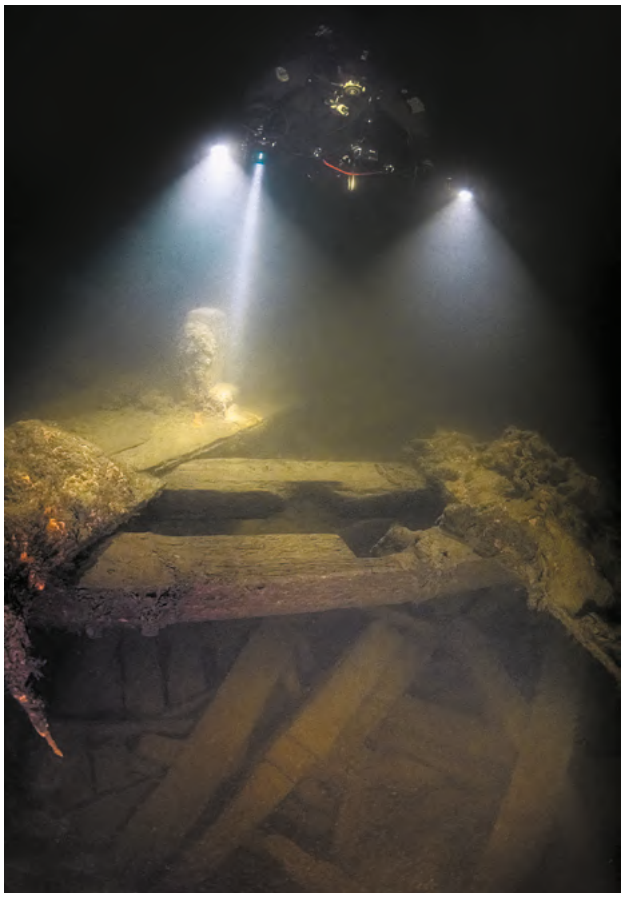


Рис. 17. *Дощатая площадка с якорной цепью, в носовой части судна (источник: архив ЦПИ РГО)*
Fig. 17. *Planked deck area with an anchor chain, in the bow section of the vessel (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*

[1] Горбунов П. А. Отчёт о проведении археологических разведок в акватории Финского залива Балтийского моря в Ленинградской области в 2025 г. СПб., 2026.



Рис. 18. *Якорь (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 18. *Anchor (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*



Рис. 19. *Второй якорь (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 19. *Second anchor (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*



Рис. 20. *Рулевое перо (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 20. *Rudder blade (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*

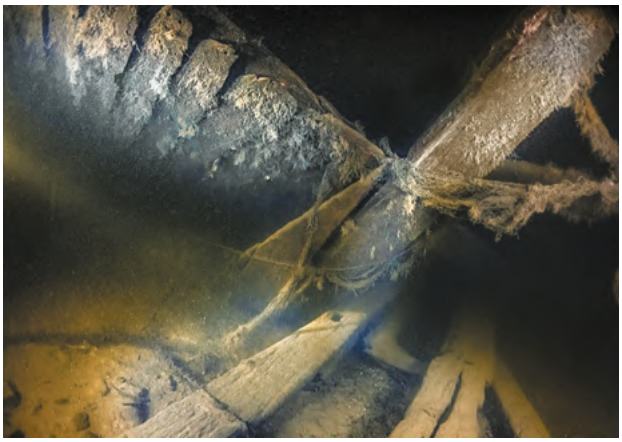


Рис. 21. *Корма судна (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 21. *Stern of a vessel (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*

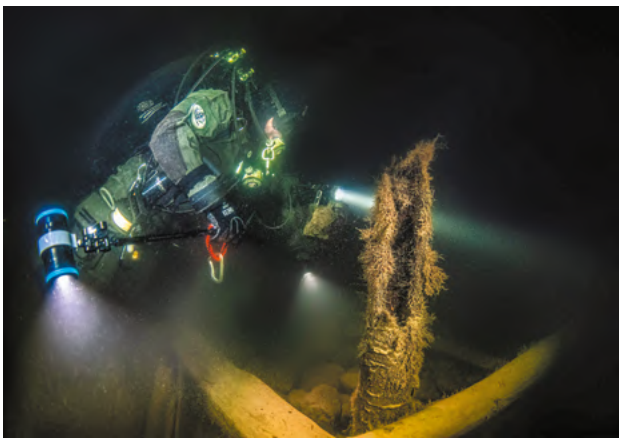


Рис. 22. *Труба водоотливного насоса (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 22. *Dewatering pump pipe (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*



Рис. 23. *Деревянные фрагменты судна, за бортом (источник: архив ЦПИ РГО)*

Fig. 23. *Wooden fragments of a vessel, overboard (source: archive of the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society)*

По поводу поднятой посуды стоит отметить, что два блюдца стали хорошим датирующим материалом.

Установлено:

— *материал — фаянс с изображением, нанесённым методом деколь;*

— *производство фирмы Davenport (Соединённое Королевство Великобритании и Ирландии), 1855 год* [3, с. 45]*;*

— *на лицевой стороне — изображение деколью, восточные мотивы (беседка);*

— *на оборотной стороне — клеймо деколью «Canton / Davenport», а также клеймо, вдавленное по фаянсу с изображением якоря и короны и указанием года — 1855 г.* (см. рис. 24).

Исходя из характерных элементов конструкции корпуса, наше исследуемое судно можно идентифицировать как судно традиционного народного судостроения, и наиболее вероятным типом является сойма. По найденным артефактам его можно датировать второй половиной XIX века.

Сойма — это небольшое промысловое и транспортное судно. Понятие «сойма» объединяло целую группу судов озёрного и прибрежного морского плавания, как очень схожих между собой, так и довольно сильно отличавшихся, пригодных к тому же для крупных и средних рек [4, с. 307] (см. рис. 25). Различия были связаны не только с разнообразным назначением, но и во многом с местом изготовления судна: ведь по мере расширения ареала распространения данного судового типа в конструкции сойм появлялись новые черты, связанные с местными судостроительными традициями [5, с. 169].

Происхождение соймы и время её появления остаются дискуссионными. Встречается информация о разном времени появления сойм: от XI века до XVI века. Также можно встретить две основные версии о её национальном происхождении: исконно русское (новгородское) или же карело-финское.

Область первоначального распространения — Онежское и Ладожское озёра, впоследствии озеро Ильмень, Белое море и Финский залив Балтийского моря.



Рис. 24. *Блюдце (источник: архив авторов)*
Fig. 24. *Saucer (source: authors' archive)*

Выделяется несколько типов сойм: ладожская, онежская, ильменская, финская, невская, а также сойма Белого моря. Исследуемое нами судно ближе всего по типологии к ладожской сойме. Хотя для окончательной идентификации потребуется дополнительное обследование.

Приведём интересные сведения о технологии постройки и подробное описание ладожских сойм, сделанные во второй половине XIX века: «Ладожская сойма наборная; шпангоуты лекальные; оба штевня наклонены снаружи и судно острокилевое. Особенность сойм есть именно та, что в них скрепление деревянное. Шпангоуты крепятся как к килю, так и к обшивке деревянными нагелями;



Рис. 25. *Современная реконструкция ладожской соймы (источник: архив авторов)*

Fig. 25*. Modern reconstruction of a Ladoga soima (source: authors' archive)*

бимсы и балки укрепляются на кницах тоже нагелями. Обшивные доски кладутся кромка на кромку, в набор и сшиваются корнем; концы тоже сшиваются вичиной, но как крепко и надёжно этот шов держит доски, что удивляться надо!

Сойма на воде сидит довольно низко, а так как киля у неё почти нет, то для лавировки, или, как говорится на местном языке, чтобы идти в рей — под соймой, на треть расстояния киля, в корме и носу прибивается фальшкиль. Все соймы вооружаются непременно двумя мачтами. Фок-мачта становится в самый форштевень, а грот-мачта помещается на середине. Обе мачты не высоки; на них два шпринтованные паруса, довольно широкие. На больших соймах имеется летучий марсель» [6, с. 35–36].

Известно несколько типоразмеров сойм, отличавшихся по своему назначению:

— *сойма лёгкая (сойминка) имела длину от 4,5 до 6 метров;*

— *сойма крючная (для неводов) имела длину около 7,5 метра;*

— *сойма марежная (для крупного вылова) имела длину до 9 метров;*

— *сойма живорыбная (просольная) с садком для рыбы — около 12 метров;*

— *сойма грузовая могла достигать 20 метров.*

«Все эти суда не имели постоянных размеров и строились такой величины, какая была удобна владельцу».

«На больших соймах палуба глухая, посередине с люками, имеет скат к бокам судна; бортов на сойме нет; помещение для экипажа определяется в корме, а в носу есть небольшое помещение для разных принадлежностей судна».

«Большие соймы проходят большие расстояния. Они беспрерывно в продолжение всей навигации, перевозят разную кладь и живую рыбу из Ладожского озера и рек в него впадающих — в Петербург, также плавают и по Финскому заливу — именно в Выборг, Роченсальм, Аборфорс, Лугу и далее. Экипаж на сойме 2 человека и весьма достаточен. Сойма на волнении легка, ходит и лавирует весьма хорошо, малые же — на вёслах весьма легки» [6, с. 36–37].

Соймы отличались хорошими мореходными качествами, своими формами и размерами были приспособлены к характеру волнения Ладожского и Онежского озёр и, конечно же, Балтийского моря. Грузовые соймы ещё в XVII веке применялись в морской торговле со Швецией, совершая рейсы в Стокгольм. Также известен рейс онежской соймы через Атлантический океан в Северную Америку и обратно в 1834 году [4, с. 308].

Известно, что Пётр I в 1702 году для начала боевых действий со шведами на Неве реквизировал у населения побережий Ладожского и Онежского озёр около сотни традиционных лодок. Большие ладожские соймы приняли участие в некоторых боевых действиях Северной войны: петровская пехота, переправившись на соймах, произвела взятие крепости Нотебург (Шлиссельбург). Под командой Петра после успешного ночного боя на нескольких соймах были захвачены два фрегата эскадры шведского адмирала Нуммерса [7, с. 86].

Строительство больших грузовых сойм продолжалось до конца XIX — начала XX века. Длина их возросла до 26 м, грузоподъёмность — до 100 т. Большие соймы вышли из употребления в первой половине XX века, а малые — в послевоенный период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение стоит отметить, что изучение данного кораблекрушения представляет

большой интерес, причём не только в качестве объекта подводной археологии, но и в разрезе изучения темы традиционного народного судостроения. Обладая выходами к морям и имея самые протяжённые внутренние водные пути в мире (более 2,5 млн. рек), в России сложился уникальный пласт народной судостроительной культуры, отличающийся широким разнообразием типов и видов плавсредств [8, с. 5].

Безусловно, найденное нами судно достойно дальнейших исследований для его окончательной идентификации.

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. Величайшая морская битва льва с орлом. История шведского морского похода на Россию в 1790 году, воссозданная на основе подводных археологических исследований. СПб.: БЛИЦ, 2016. 655 с. ISBN: 978-5-86789-438-5
2. Лукошков А. В. Поиски и обследование останков советских самолетов в водах восточной части Финского залива // Гидрокосмос. 2025. Т. 3, 2. № 11–12. С. 16–36. DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2025.32.98.001
3. Godden G. A., Lockett T. A. Davenport: China, Earthenware and Glass, 1794-1887. London, Barrie & Jenkins, 1989, 302 p. ISBN: 9780712620024
4. Филин П. А., Курноскин С. П. Народное судостроение в России : энциклопедический словарь судов народной постройки. СПб.: Гангут, 2016. 395 с. ISBN: 978-5-85875-507-4
5. Дубровин Г. Е., Окороков А. В., Старков В. Ф., Черносвитов П. Ю. История северорусского судостроения. – СПб.: Алетейя, 2001. 404 с. ISBN: 5-89329-414-9
6. Андреев А. П. Ладожское озеро. Ч. 1. СПб.: типография Морского министерства, 1875. 263 с.
7. Традиционное судостроение как часть культурного наследия народов России. Т. 3 / Под ред. А. В. Окорокова. М.: Институт Наследия, 2023. 359 с. DOI: https://doi.org/10.34685/HI.2022.44.81.002
8. Традиционное судостроение как часть культурного наследия народов России. Т. 1 / Под ред. А. В. Окорокова. М.: Институт Наследия, 2021. 558 с. DOI: https://doi.org/10.34685/HI.2021.49.65.001

REFERENCES

1. Lukoshkov A. V. *Velichajshaya morskaya bitva l`va s orlom. Istoriya shvedskogo morskogo poxoda na Rossiyu v 1790 godu, vossozdannaya na osnove podvodny`x arxeologicheskix issledovanij* [The Biggest Sea Battle Between a Lion and an Eagle. The History of the Swedish Naval Campaign Against Russia in 1790, Reconstructed on the Basis of Underwater Archaeological Research]. St. Petersburg, BLITZ Publ., 2016, 655 p. (In Russ.) ISBN: 978-5-86789-438-5
2. Lukoshkov A. V. *Poiski i obsledovanie ostankov sovetskix samoletov v vodax vostochnoj chasti Finskogo zaliva* [Search and Survey of Soviet Aircraft Wrecks in the Eastern Gulf of Finland]. Gidrokosmos [Hydrocosmos]. 2025, vol. 3, 2, no. 11–12, pp. 16–36. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2025.32.98.001
3. Godden G. A., Lockett T. A. Davenport: China, Earthenware and Glass, 1794-1887. London, Barrie & Jenkins, 1989, 302 p. ISBN: 9780712620024
4. Filin P. A., Kurnoskin S. P. *Narodnoe sudostroenie v Rossii : e`nciklopedicheskij slovar` sudov narodnoj postrojki* [Folk Shipbuilding in Russia. An Encyclopedic Dictionary of Traditionally Built Vessels]. St. Petersburg, Gangut, 2016, 395 p. (In Russ.) ISBN: 978-5-85875-507-4
5. Dubrovin G. E., Okorokov A. V., Starkov V. F., Chernosvitov P. Yu. *Istoriya severorusskogo sudostroeniya* [History of Shipbuilding in the North Russia]. St. Petersburg, Aletheia Publ., 2001. 404 p. (In Russ.) ISBN: 5-89329-414-9
6. Andreev A. P. *Ladozhskoe ozero* [Lake Ladoga]. Part 1. St. Petersburg, Maritime Ministry Publ., 1875, 263 p. (In Russ.)

7. *Tradicionnoe sudostroenie kak chast` kul`turnogo naslediya narodov Rossii* [Traditional Shipbuilding as Part of the Cultural Heritage of the Peoples of Russia]. Vol. 3. Moscow, Institut Naslediya Publ., 2023, 359 p. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.34685/HI.2022.44.81.002
8. *Tradicionnoe sudostroenie kak chast` kul`turnogo naslediya narodov Rossii* [Traditional Shipbuilding as Part of the Cultural Heritage of the Peoples of Russia]. Vol. 1. Moscow, Institut Naslediya Publ., 2021, 558 p. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.34685/HI.2021.49.65.001

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, археолог, научный сотрудник АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А); e-mail: p.gorbunov@urc-rgs.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-5498-309X

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, Archaeologist, Scientific Employer, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia); e-mail: p.gorbunov@urc-rgs.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-5498-309X

**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 13.09.2026
Прошла рецензирование 11.10.2026
Принята к публикации 01.11.2026

Received 13.09.2026
Revised 11.10.2026
Accepted 01.11.2026

КУЛЬТУРОЛОГИЯ | CULTURAL STUDIES

Оригинальная статья | Original article

DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2026.86.98.003 УДК 93/94 + 747 + 745/749 + 629.5/092.2

CC BY ND

Сувенирная продукция с лайнера «Нормандия»: на стыке искусства и коммерции

Н. С. Онегин

ФГБУК «Государственный Эрмитаж», г. Санкт-Петербург, Россия
Onegin@hermitage.ru

Аннотация В научный оборот вводится комплекс сувенирной продукции 1930-х годов из частных собраний, связанный с трансатлантическим французским лайнером «Нормандия» (1935–1939). Эти памятники отражают эстетику стиля ар-деко и вкусы своего времени, но также являются уникальными иконографическими материалами для исследования интерьеров знаменитого парохода. Изучение таких сувениров позволяет обогатить знания о том, что могли приобрести пассажиры на борту, а также лучше понять культурный и коммерческий контекст, в котором существовала «Нормандия».

Ключевые слова Нормандия, трансатлантический лайнер, ар-деко, французский дизайн, частная коллекция, сувенирная продукция, Юркевич, коммерческие рейсы, Ильф и Петров, старинные открытки, цветная фотография, дизайн интерьера

Для цитирования Онегин Н. С. Сувенирная продукция с лайнера «Нормандия»: на стыке искусства и коммерции. *Гидрокосмос*. 2026;4(2):38–50. https://doi.org/10.26175/URC.2026.86.98.003

Souvenirs from *SS Normandie*: at the intersection of Art and Commerce

Nicholas S. Onegin

The State Hermitage Museum, St. Petersburg, Russia
Onegin@hermitage.ru

Abstract This article introduces, for the first time in Russian-language scholarship, examples of souvenir items from the 1930s that were sold aboard the French transatlantic liner *Normandie* (1935–1939). These artifacts reflect the aesthetics of Art Deco and the tastes of the period while also serving as unique iconographic sources for the study of the interiors of this famous ocean liner. Examining these souvenirs broadens our understanding of the items available for purchase by passengers on board and provides further insight into the cultural and commercial context in which the *Normandie* operated.

Keywords *SS Normandie,* transatlantic liner, Art Deco, French design, private collection, souvenirs, Yourkevitch, commercial voyages, Ilf and Petrov, vintage postcards, color photography, interior design

For citation Onegin N. S. Souvenirs from *SS Normandie*: at the intersection of Art and Commerce. *Hydrocosmos*. 2026;4(2):38–50. https://doi.org/10.26175/URC.2026.86.98.003

ВВЕДЕНИЕ

В теме морского наследия и его влияния на искусство особое место занимает лайнер «Нормандия» — знаменитое французское судно, построенное под руководством русского эмигранта В. И. Юркевича, которое стало ярким образцом стиля ар-деко (см. рис. 1).

Элегантный внешний облик и импозантные интерьеры судна современники признавали примерами нового французского искусства, а правительство и фирма-владелец стремились всячески подчеркнуть преимущества парохода в скорости и роскоши [1, с. 351–352].

Слава лайнера была громкой, но недолгой. В 1935 году он отправился в первый рейс, а с началом Второй мировой войны в 1939 году судно было интернировано в порту Нью-Йорка для временной стоянки, которая оказалась последней. В 1947 году знаменитый лайнер перестал существовать.

Несмотря на короткую биографию в пять лет, роскошь судна нашла отражение в кинематографе, фотографиях, журналах и газетах, а также очерках писателей, включая Ильфа и Петрова. Сохранились даже некоторые детали изысканной отделки его помещений, демонтированные и проданные в 1940-е годы в США.

Однако малоизученным пластом остаются другие подлинные артефакты: сувенирная продукция, которую покупали пассажиры на борту «Нормандии» или туристы в порту Гавра. Находившиеся на стыке искусства и бизнеса, памятные вещи отражали эстетику Art Deco и дух эпохи, а их поиск в музейных собраниях и частных коллекциях стал сродни археологическим исследованиям. Введение в научный оборот некоторых сохранившихся сувениров из частных собраний России с анализом контекста их создания является целью данной статьи.

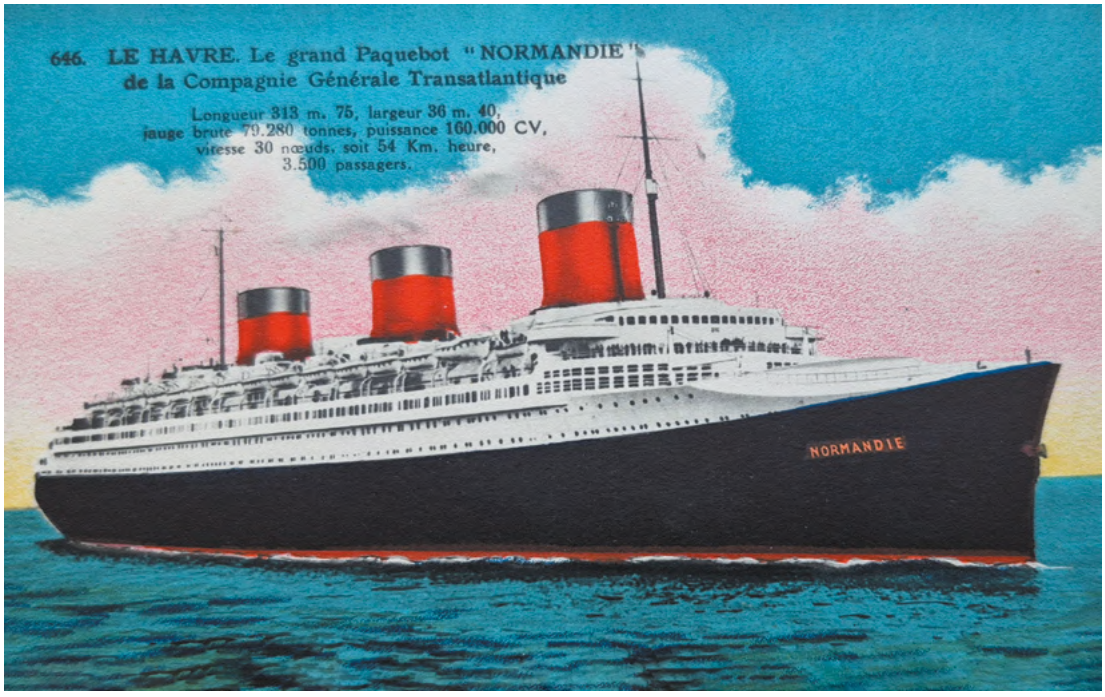


Рис. 1. *Лайнер «Нормандия». Открытка. Издательство C. M. Le Havre, Франция, 1935–1939. Размер 9 x 14 см (источник: коллекция автора)*

Fig. 1. *The SS Normandie liner. Postcard. Published by C. M. Le Havre, France, 1935–1939. 9 × 14 cm (source: author's collection)*

О «НОРМАНДИИ»

Судно «Нормандия» призвано было заменить устаревшие суда Paris и Île de France и стать главным французским лайнером на маршруте между Европой и США, конкурируя с Великобританией, Германией и Италией [2, с. 6]. Металлический исполин был заложен в 1931 году и строился фирмой CGT (Compagnie Générale Transatlantique) на верфи Chantiers de l'Atlantique Penhoët. Его создание субсидировалось также правительством республики[1].

Примечательно, что основным проектировщиком корпуса был Владимир Иванович Юркевич. Сын географа и члена Русского географического общества, выпускник Политехнического института в Санкт-Петербурге, он был перспективным инженером Балтийского завода и одним из разработчиков первого российского линкора-дредноута «Севастополь»[2]. Эмигрировав в 1920 году в Париж, Юркевич вскоре стал сотрудником верфи, а в 1928 году запатентовал особую конструкцию корпуса, которая легла в основу формы лайнера «Нормандия» (см. рис. 2) [3, с. 16].

Поскольку судно напоминало роскошный плавучий отель длиной 313 метров и расценивалось как образец французского вкуса, над его интерьерами работали самые модные дизайнеры. Среди них Ричард Боуэнс, Роджер Экспер, Жак-Эмиль Рульманн, Пьер Пату, Франсуа Дежан, Андре Гру, мадам Клотц и русский эмигрант Александр Яковлев[3] [4]. Отметим, что проекты отделки кают проходили конкурс и были утверждены после нескольких отборочных туров[4] [5, с. 20–25].

Наиболее известным помещением был ресторан I класса (см. рис. 3), который стал самым большим в мире пространством на корабле (длина 91 метр, высота 9 метров).



Рис. 2. *Лайнер «Нормандия». Открытка. Издательство La Cigogue, Франция, 1935–1939. Размер 9 x 14 см (источник: коллекция автора)*

Fig. 2. *The SS Normandie liner. Postcard. Published by La Cigogue, France, 1935–1939. 9 × 14 cm (source: author's collection)*

[1] SS Normandie. L'Illustration. № 4679 (5 November 1932), p. 301.

[2] Во время службы в России В. И. Юркевич был награждён орденами Святого Станислава III степени и Святой Анны III степени.

[3] Уроженец Санкт-Петербурга, один из авторов росписей Казанского вокзала в Москве.

[4] Le Paquebot Normandie. L'Illustration. № 4813 (1 June 1935), С. 6–7.



Рис. 3. *Ресторан I класса. По акварели Ж. Симона в журнале L'Illustration от 1 июня 1935 года. Размер 38 x 28,5 см (источник: коллекция автора)*

Fig. 3. *First-class restaurant. Based on a watercolor by J. Simon in the magazine L'Illustration dated June 1, 1935. 38 x 28,5 cm (source: author's collection)*

Помимо размеров публику поражали отделка стен мраморными панелями разных оттенков, золочёная штукатурка на плафоне, золочёная скульптура «Мир», люстры с гравированными стеклянными подвесками и необычные напольные «световые фонтаны», созданные фирмой Рене Лалика [6, с. 75–87]. Изящества добавляли серебряные столовые приборы от фабрики Christofle et Cie и фарфоровая посуда из Лиможа [7, с. 110].

Другим знаменитым образцом парижского шика был Главный, или Большой, салон (Grand Salon, см. рис. 4). Паркет, повторявший пол во дворце Фонтенбло, резные деревянные панели с росписями в китайском стиле, стеклянные панно с сюжетами на тему мореплавания в Античности и фонари-фонтаны — все эти детали передавали роскошную эстетику современного стиля [8, с. 23–24].

Внимание прессы и пассажиров привлекли также часовня, которая могла трансформироваться из католической домовой церкви в протестантскую (см. рис. 5), кинотеатр на 380 мест, зимний сад с живыми птицами, детские комнаты и каюты I класса. В отделке жилых пространств дизайнеры прибегали не только к модным тенденциям, но и нередко обращались к художественным направлениям прошлого, создавая изысканные каюты в духе Людовика XV или Людовика XVI. Все интерьеры судна так или иначе несли в себе отпечаток французского вкуса [9, с. 124].

В произведении «Одноэтажная Америка» И. Ильф и Е. Петров так описывают «Нормандию»: «В тихую погоду — это колоссальная гостиница с роскошным видом на море, которая внезапно сорвалась с набережной модного курорта и со скоростью тридцати миль в час поплыла в Америку».

На борту лайнера побывали многие известные личности: лётчик Валерий Чкалов, певец Фёдор Шаляпин, мультипликатор Уолт Дисней, актрисы Мэри Пикфорд и Марлен Дитрих, политики Александр Керенский и Джозеф Кеннеди, деятели моды Пьер Картье и Макс Фактор [2; 10]. Свои впечатления о путешествии на «Нормандии» оставили также советские писатели И. Ильф и Е. Петров («Одноэтажная Америка»).

Примечательно, что мнения пассажиров об интерьерах лайнера были различными. Так, супруга В. И. Юркевича Ольга отмечала «красоту отделки и изящество убранства» [11, с. 132]. С другой стороны, дипломат и писатель Гарольд Никсон записал в дневнике: «Здесь преобладают золото, алый цвет и стекло Лалика. Это выглядит весёлым, но через неделю я начну сходить с ума от этого!» [11, с. 157]. Многие современники полагали, что комнаты лайнера подавляли и были скорее прекрасными декорациями для фотосессий кинозвёзд, нежели уютными помещениями для пассажиров.

Писатели И. Ильф и Е. Петров согласились с критикой: «В области искусства французы знали лучшие времена <...>. Очень много богатства и очень мало настоящего искусства. В общем, это то, что французские художники, безнадёжно разводя руками, называют „стиль Триумф". Жалко! Хотелось бы, чтобы в создании „Нормандии" партнёрами замечательных французских инженеров были замечательные



Рис. 4. *Большой салон. Открытка (желатиновый отпечаток, раскрашенный вручную). Неизвестное издательство, Франция, 1935–1939. Размер 9 x 14 см (источник: коллекция автора)*

Fig. 4. *Grand Salon. Postcard (hand-colored gelatin print). Publisher unknown, France, 1935–1939. 9 × 14 cm (source: author's collection)*



Рис. 5. *Часовня. Открытка (желатиновый отпечаток, раскрашенный вручную). Неизвестное издательство, Франция, 1935–1939. Размер 9 x 14 см (источник: коллекция автора)*

Fig. 5. *Chapel. Postcard (hand-colored gelatin print). Publisher unknown, France, 1935–1939. 9 × 14 cm (source: author's collection)*

французские художники и архитекторы. Это тем более жалко, что такие люди во Франции есть».

Первый рейс «Нормандии» начался 29 мая 1935 года в порту французского Гавра. К этому знаменательному событию вышло большое количество публикаций в европейской и американской прессе. Поводом для гордости французов стал также рекорд и первая победа: лайнер сумел пройти путь из Европы в США быстрее конкурентов и заполучить символический приз — «Голубую ленту Атлантики».

На фоне этих событий французский журнал L'Illustration посвятил лайнеру специальный июньский выпуск (см. рис. 6), в котором были освещены различные аспекты судна: технические стороны, особенности конструкции и дизайн интерьеров, виды кают и рисунки различных удобств на борту (теннисный корт, бассейн и другое). Сегодня именно это богато иллюстрированное издание является основным источником информации о «Нормандии»[5].



Рис. 6. *Номер журнала L'Illustration от 1 июня 1935 г. Размер 38 x 28,5 см (источник: коллекция автора)*

Fig. 6. *Issue of L'Illustration magazine dated June 1, 1935. 38 x 28,5 cm (source: author's collection)*



Рис. 7. *Морской трансатлантический вокзал в Гавре для посадки пассажиров на борт лайнера. Кадр из фильма «Париж – Нью-Йорк» (Франция, 1940 г.)*

Fig. 7. *The transatlantic Maritime terminal in Le Havre for passengers boarding of the ocean liner. A still from the film "Paris – New York" (France, 1940)*

Примечательно, что тематический номер журнала активно покупали сами пассажиры: не только на память о летнем вояже, но и чтобы во всей красе, на фотографиях, рассмотреть само судно! Дело в том, что для рейсов «Нормандии» прямо в порту Гавра был построен морской трансатлантический вокзал, куда прибывали поезда с путешественниками из Парижа и других городов (см. рис. 7). Гости оказывались внутри павильона, поднимались по эскалатору на нужный уровень (соответственно классу) и по мостикам-трапам входили прямо внутрь лайнера[6]. Иными словами, удобство обернулось парадоксом: те, кто плыл на судне, не имели возможности его оценить в полной мере. Об этом нонсенсе «Нормандии» упоминают И. Ильф и Е. Петров: «Каков её внешний вид — пассажирам неизвестно, потому что парохода они так и не увидели».

Именно поэтому июньский выпуск L'Illustration с цветными фотографиями корпуса и помещений внутри лайнера пользовался большим спросом среди туристов.

Не могли оценить пассажиры и роскошь парадных интерьеров: система классов строго соблюдалась, а нарушителей ловили и провожали обратно. Советские писатели Ильф и Петров тоже акцентировали на этом

[5] Le Paquebot Normandie. L'Illustration. № 4813 (1 June 1935), 82 p.

[6] Прибытие пассажиров можно увидеть в фильме «Париж — Нью-Йорк» 1940 года.

внимание: «Даже трубы «Нормандии», которые, казалось бы, должны принадлежать всему пароходу, на самом деле принадлежат только первому классу».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Невозможность познакомиться с «Нормандией» в полной мере привела на фоне ажиотажа вокруг лайнера к большому спросу на сувенирную продукцию. Её могли приобрести как пассажиры туристического класса, так и первого. Для последних существовала отдельная торговая галерея на главной палубе, где находились не только бюро путешествий, аптека и цветочный магазин, но также отдел универмага «Бомарше» и книжный киоск с памятными сувенирами.

У гостей судна была возможность купить буклеты, обложки для документов, портмоне, ленты с надписью «NORMANDIE», плакаты и литографии с видами судна, декоративные тарелки, бумажные модели, а также тот самый выпуск журнала L'Illustration, посвящённый «гордости Франции». Для эффекта почти полного погружения внутрь роскошных залов судна фирма Bruguière Жоржа Брюгьера выпускала наборы стереофотографий с видами интерьеров.

Большой популярностью пользовались наборы открыток, поскольку у пассажиров была возможность написать на оборотной стороне какое-то послание, прямо на борту наклеить марку, поставить на неё специальный штамп и отправить открытку адресату.

Сохранившиеся образцы таких комплектов демонстрируют их многообразие: различные форматы, разное оформление обложек, а сами открытки могли быть как чёрно-белыми, так и раскрашенными вручную.

Один из наборов выпущен в городе Шильтигайме парижским издательством La Compagnie des Arts Photomécaniques (CAP), созданном в 1932 году вместо компании Lévy & Neurdein Réunis. Небольшой формат напоминает блокнот и удобно помещается в руке. На бумажной обложке размещён цветной рисунок лайнера и надпись «NORMANDIE» на голубой ленте — отсылка к призу «Голубая лента Атлантики», который получил французский пароход за рекордно короткий путь между Европой и США. Комплект включает в себя 24 открытки с чёрно-белыми фотографиями интерьеров лайнера (фотограф Desboutin),



Рис. 8. *Набор открыток с перфорацией: обложка. Издательство CAP, Франция, 1935–1939. Размер 9,4 x 15 см (источник: коллекция Игоря и Татьяны Ямшановых)*

Fig. 8. *Perforated postcard set: cover. CAP Publishing, France, 1935–1939. 9,4 × 15 cm (source: Igor and Tatyana Yamshanov collection)*



Рис. 9. *Набор открыток с перфорацией: бассейн на борту лайнера. Издательство CAP, Франция, 1935–1939. Размер 9,4 x 15 см (источник: коллекция Игоря и Татьяны Ямшановых)*

Fig. 9. *Set of perforated postcards: swimming pool. CAP Publishing, France, 1935–1939. 9,4 × 15 cm (source: Igor and Tatyana Yamshanov collection)*

которые можно легко отделить по линии перфорации и отправить по почте. Перед каждым листом помещена тонкая бумага для защиты лицевой стороны. Первый лист является информационным: на нём указано расписание движения лайнеров фирмы CGT (см. рис. 8, 9).

Другой комплект от неизвестного издательства напоминает бумажник из фактурной бумаги, внутри которого есть два отделения: первое для портретной фотографии, второе для хранения (см. рис. 10, 11).



Рис. 10. *Набор открыток (желатиновых отпечатков, раскрашенных вручную): обложка. Неизвестное издательство, Франция, 1935–1939. Размер 16,5 x 10 см (источник: коллекция автора)*

Fig. 10. *Set of postcards (hand-colored gelatin prints): cover. Publisher unknown, France. 1935–1939. 6,5 x 10 cm (source: author's collection)*



Рис. 11. *Набор открыток (желатиновых отпечатков, раскрашенных вручную). Неизвестное издательство, Франция, 1935–1939. Размер 16,5 x 10 см (источник: коллекция автора)*

Fig. 11. *Set of postcards (hand-colored gelatin prints). Publisher unknown, France, 1935–1939. 16,5 x 10 cm (source: author's collection)*

Можно предположить, что это портмоне для денег, однако тот факт, что футляр выполнен из тонкой бумаги, приводит к мысли о том, что предмет является всё же комплектом для хранения открыток. На обложке изображены название судна (чёрной краской) и надпись «Le Grand Paquebot» (большой океанский лайнер), а также геометрические линии, исполненные золотистой краской и напоминающие лестницу внутри парохода. По краю обложка прошита нитками чёрного цвета.

Особенно интересны находящиеся внутри комплекта открытки — это желатиновые отпечатки фотографий (ателье Hamon), которые были раскрашены вручную анилиновыми красителями прямо по картону. Поскольку колоризация проходила в годы существования «Нормандии» и продавалась на её борту, то можно с большой долей вероятности утверждать, что эти иллюстрации передают цветовую гамму достаточно правдиво. К сожалению, не все участки на изображениях раскрашены. Кроме того, некоторые краски немного изменились за 90 лет. Однако высочайшее качество печати фотографий позволяет увидеть детали интерьеров, не всегда доступные в журнальных иллюстрациях, а частичная колоризация помогает лучше представить себе цветовую гамму конкретных помещений.

Такие наборы открыток пользовались спросом как среди пассажиров лайнера, так и среди туристов на берегу, поскольку позволяли лучше представить всю роскошь внешнего облика судна и его интерьеров.

Заметим, что имевшиеся на различной печатной сувенирной продукции реклама французских лайнеров и расписание рейсов между Гавром и Нью-Йорком, несомненно, способствовали повышению продаж билетов — основного источника доходов компании CGT. Это было крайне важно, поскольку «Нормандия» и другие суда фирмы редко были заполнены пассажирами полностью [4, с. 56].

Другим интересным направлением в сувенирной продукции стал выпуск металлических пепельниц. Их появление среди тематических подарков, вероятно, частично связано с необычным явлением, с которым столкнулись владельцы «Нормандии», — мелкими кражами предметов с борта. Это была оборотная сторона популярности лайнера: после каждого рейса и после групповых экскурсий на судно команда недосчитывалась большого количества полотенец, авторучек, стаканов, вазочек и так далее. А наибольшим «спросом» пользовались небольшие фарфоровые пепельницы [12, с. 37].

Пепельницы для лайнера были специально разработаны одним из ведущих дизайнеров столовой посуды Жаном Люсом (Jean Luce, 1895–1964) и выпускались на фабрике Digoin-Sarreguemin-Vitry-le-Francois (см. рис. 12) [13]. Привлекала внимание не только геометрическая форма, но и нанесённые на боковые стороны пепельниц надписи «FRENCH LINE»



Рис. 12. *Пепельница с борта лайнера. Автор дизайна Ж. Люс. Фабрика D. S. V., Франция, ок. 1935. Размер 2 x 7,95 x 6,7 см (источник: коллекция автора)*

Fig. 12. *Ashtray from the ocean liner. Designed by J. Luce. D. S. V. factory, France, c. 1935. 2 x 7,95 x 6,7cm (source: author's collection)*

и «NORMANDIE»[7] — именно за этим гнались коллекционеры и воришки. Неслучайно, когда компания CGT решила выпустить обновлённую версию пепельниц, поменяв фарфор на стекло, она заменила название «NORMANDIE» на «Cie Gle TRANSATLANTIQUE»[8]. Уменьшились ли при этом кражи, неизвестно, но отсутствие надписи наверняка сохранило немало функциональных пепельниц на борту лайнера.

Возможно, именно в контексте проблемы с воровством был запущен выпуск сувенирных металлических пепельниц для их продажи туристам (см. рис. 13). Пока не удалось точно установить автора дизайна, на дне лишь есть надпись: «Depose 307» (артикул изделия). Там же указано «Fabrication Francaise», то есть производство находилось на территории республики.

Сохранившиеся в частных собраниях сувенирные пепельницы выполнены методом литья по форме из сплавов недорогих металлов, что позволяло снизить их итоговую стоимость. Сверху изделия покрыты чёрной краской. На дне сделаны невысокие ножки, что придавало устойчивость всей конструкции. Пепельницы имеют форму многогранника, по ободку выполнен рельефный орнамент, а в центре — объёмное изображение лайнера. Несомненно, в дизайне пепельниц декоративная составляющая превалирует над функциональной. Утилитарный предмет напоминает сувенирные плакетки, которые можно поставить на подставку вертикально либо повесить на стене, или пресс-папье, которыми можно прижать бумаги на столе.

Примечательно, что среди сохранившихся в частных коллекциях металлических пепельниц можно увидеть их вариативность. При единой геометрической форме конструкции встречается разный декор: стилизованные морские мотивы или цветочный орнамент. Кроме того, производители помещали в центральное поле пепельницы рельефное изображение то лайнера Normandie, то парохода Il de France. Различны также надписи в нижней части: на некоторых пепельницах это «NORMANDIE», а в ряде случаев «LE HAVRE». Образцы с названием порта Гавра позволяют предположить, что металлические пепельницы продавались преимущественно в самом городе — эти сувениры можно было приобрести непосредственно перед отплытием в США или, наоборот, по возвращении во Францию.

Следует отметить немаловажный фактор: различные тематические сувениры, посвящённые Normandie, выпускались небольшими артелями или крупными предприятиями непосредственно на территории Франции. С одной стороны, эти предметы отражали художественные вкусы республики и несли в себе



Рис. 13. *Сувенирная пепельница. Неизвестная мастерская, Франция, 1935–1939. Размер 9,5 x 18 x 0,2 см (источник: коллекция автора)*

Fig. 13. *Souvenir ashtray. Unidentified workshop, France, 1935–1939. 9,5 x 18 x 0,2 cm (source: author's collection)*

[7] Jean Luce Ashtray for the SS Normandie. Modernism [Эл. ресурс]. URL: https://modernism.com/items/39/tobaccosmoking/1850–1609-jean-luce-ashtray-ss-normandie (посл. посещение 14.09.2026).

[8] Ashtray from S. S. Normandie. Yale University Art Gallery [Эл. ресурс]. URL: https://artgallery.yale.edu/collections/objects/175341 (посл. посещение 14.09.2026).

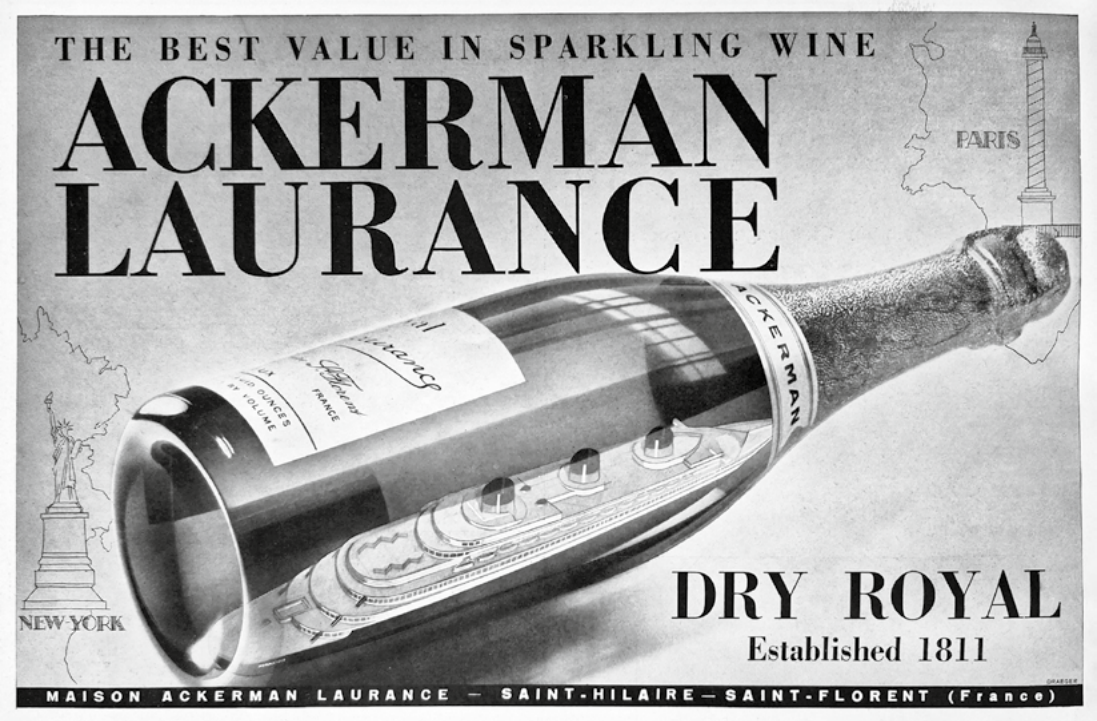


Рис. 14. *Реклама игристого вина Ackerman Laurance в журнале L'Illustration от 1 июня 1935 года (источник: коллекция автора)*

Fig. 14. *Advertising for sparkling wine Ackerman Laurance in the magazine L'Illustration dated June 1, 1935 (source: author's collection)*

«французский шарм», а с другой — спрос на них обеспечивал различных изготовителей заказами, поддерживая экономику государства.

Общий ажиотаж вокруг лайнера привёл к популярности тематических сувениров среди обывателей и коллекционеров. В Европе (чуть меньше в Великобритании[9]) и в США «разразилась модная лихорадка на „Нормандию" — одежда, аксессуары, косметика и даже причёски <...>. Бармены придумывали коктейли „Нормандия". Вскоре всё то, что могло быть съедено, выпито, изношено и использовано потенциальными путешественниками-покупателями, красовалось в витринах магазинов» [11, с. 123].

Журналист Эллиот Гарольд Пол вспоминал, что «продавщицы магазинов, рассыльные, сёстры милосердия и клерки сохраняли рекламки, буклеты и газетные вырезки о громадном судне, покорившем океан не силой, а элегантностью» (см. рис. 14) [11, с. 155].

Ярким образцом тематических предметов, вдохновлённых «Нормандией», является дамский клатч, хранящийся в Музее Виктории и Альберта (см. рис. 15). Согласно исследованиям сотрудников музея, необычный модный аксессуар продавался непосредственно на борту судна в магазинах на палубе



Рис. 15. *Сумочка-клатч Normandie. Франция, ок. 1935. Размер 16 x 32 см. Музей Виктории и Альберта, Великобритания*

Fig. 15. *The Normandie clutch bag. France, c. 1935. 16 x 32 cm. Victoria and Albert Museum, UK*

[9] В Великобритании предпочитали продавать и покупать сувениры с английскими ведущими лайнерами той эпохи — Queen Mary и Queen Elizabeth. См.: Stevenson G. Art Deco ceramics. UK, Shire, 2008. 40 p.

I класса[10]. Выполненный в форме лайнера с тремя трубами, сделанный из металла и обитый чёрной кожей, клатч является самобытным примером того, как дизайн в области кораблестроения может оказаться источником вдохновения для представителей модной индустрии.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучение имеющихся на сегодняшний день тематических предметов, связанных с «Нормандией», позволяет выявить их многообразие и обнаружить две основные группы. Первая — это вещи, вдохновлённые лайнером, а вторая — предметы, выпущенные специально для продажи в качестве сувениров. Однако не представляется возможным однозначно и аргументированно разделить эти вещи по местам реализации — что продавалось непосредственно на борту, а что в городских магазинах. Затрудняет подобную дифференциацию и тот факт, что точки продаж на судне были филиалами крупных торговых сетей.

Тем не менее, совершенно очевидно, что сувениры, приобретённые на борту или подписанные на «Нормандии», ценились туристами и коллекционерами больше, чем просто тематические предметы, купленные на берегу.

Пик продаж сувенирной продукции пришёлся, разумеется, на первые годы выхода «Нормандии» в море. Затем ажиотаж начал спадать, но спрос был всегда достаточно высоким, ведь судно было образцом французского стиля и неизменно вызывало интерес.

Пароход Normandie бороздил Атлантический океан, соревнуясь с британским лайнером Queen Mary, лишь несколько лет. Рейс судна из Гавра в Нью-Йорк в сентябре 1939 года совпал с началом Второй мировой войны, и 8 сентября «Нормандию» поставили на причал. В декабре 1941 года «Нормандия» перешла под юрисдикцию властей США. В один из вечеров члены новой, американской, команды поднялись на борт и стали осматривать интерьеры: «Мы были здесь единственными обитателями. Мы бродили небольшими группами по коридорам, делая всё новые и новые открытия. Мы напоминали толпу крестьян, попавших в королевский дворец», — вспоминал повар местной береговой охраны [11, с. 246].

Вскоре «плавучий дворец» пришлось разбирать: начался демонтаж отделки интерьеров для переделки судна в военный корабль «Лафайет». Снятые фрагменты декора, панели, двери, ковры, светильники и различные мелкие предметы упаковывали в ящики и увозили на склады Нью-Йорка.

9 февраля 1942 года, во время этих ремонтных работ, на лайнере начался пожар, в результате которого «Нормандия» легла на один борт и частично затонула. Долгое время некогда роскошное судно, с вынесенными предметами и фрагментами отделки, лишённое надстроек и труб, словно ограбленная и брошенная в канаву леди, лежало на одном боку в доке Нью-Йорка. Некоторые современники видели в этом символический образ временно поверженной Франции. В ноябре 1943 года лайнер подняли и отправили на ремонт. Однако целесообразность его восстановления оказалась сомнительной, особенно после завершения войны. Поэтому в 1946 году бывший «плавучий дворец» продали на металлолом, и к октябрю 1947 года разбор знаменитого судна был завершён [14]. «Нормандия» перестала существовать.

Оставшиеся на складах предметы с борта знаменитого лайнера начали распродавать на аукционах — так остатки былого величия распространились по различным учреждениям, церквям, музейным собраниям и частным коллекциям [8, с. 150–151]. Примечательно, что В. И. Юркевич стал обладателем фрагмента стальной обшивки корпуса, переделанного в пресс-папье.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Век «Нормандии» оказался недолгим, но её судьба сопровождалась беспрецедентным ажиотажем и вниманием. Инженерный и дизайнерский блеск лайнера нашёл отражение в очерках и журнальных статьях, запечатлён в шести художественных кинофильмах и множестве фотоснимков [14].

Однако подлинные тематические артефакты редко встречаются в музейных собраниях и частных коллекциях. В этом ряду большое значение имеют сохранившиеся

[10] The SS Normandie clutch. Victoria and Albert Museum [Эл. ресурс]. URL: https://collections.vam.ac.uk/item/O1486659/normandie-clutch-bag-bag/ (посл. посещение 14.09.2026)

и представленные в данной статье некоторые примеры тематической сувенирной продукции из частных коллекций — самобытные образцы стиля ар-деко, созданные на стыке искусства и коммерции. Впервые опубликованные, эти предметы дополняют имеющиеся знания не только о самом лайнере, его конструкции и интерьерах, но и о той культурной среде, которая возникла вокруг «Нормандии».

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 author declares no conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пайл Д. Дизайн интерьеров: 6000 лет истории. М.: АСТ-Астрель, 2006. 468 с. ISBN: 5-271-16268-0
2. Foucart B., Offrey C., Robichon F. Normandie. Queen of the seas. New York, Vendome Press, 1985, 207 p. ISBN: 978-0865650572
3. Carey S. SS Normandie 1935. 2015, 60 p.
4. Miller W. H. SS Normandie: Classic Liners. USA, The History Press, 2013, 96 p. ISBN: 978-0752488080
5. Maxtone-Graham J. Normandie: France's Legendary Art Deco Ocean Liner. USA, W. W. Norton & Co., 2007, 260 p. ISBN: 978-0-393-06120-8
6. Лопатинский К., Хафизов И. Сто лет великолепия: ар-деко и французское художественное стекло // Искусство + антиквариат. 2025. № 5. С. 75–87.
7. McCready K. Art Deco and Modernist ceramics. London, Thames & Hudson, 1997, 192 p. ISBN: 978-0500278253
8. Bayer P. Art Deco Interiors : Decoration and Design Classics of the 1920's and 1930's. London, Thames and Hudson Ltd, 2000, 224 p. ISBN: 978-0-500-28020-1
9. Петухов А. Короткий век «плавучего Версаля» // Yachting. Russia's premier marine magazine. 2021. № 112. С. 122–127.
10. Braynard F. Picture History of the Normandie. New York, Dover publications, 1987, 145 p.
11. Широков А. Н. «Нормандия». Гибель флагмана эпохи. М.: Вече, 2016. 400 с. ISBN: 978-5-4444-5118-2
12. Stevenson G. Art Deco ceramics. UK, Shire Publ., 2008. 40 p. ISBN: 139780747803782
13. Pelicher E. La Céramique Art deco. Paris, Bibliotheque des Arts, 1988, 200 p. ISBN: 978-2881480072
14. Ardman H. Normandie: Her Life and Times. USA, Franklin Watts, 1985, 435 p.

REFERENCES

1. Pajl D. *Dizajn inter`erov: 6000 let istorii* [Interior Design: 6,000 Years of History]. Moscow, AST-Astrel` Publ., 2006, 468 p. (In Russ.) ISBN: 5-271-16268-0
2. Foucart B., Offrey C., Robichon F. Normandie. Queen of the seas. New York, Vendome Press, 1985, 207 p. ISBN: 978-0865650572
3. Carey S. SS Normandie 1935. 2015, 60 p.
4. Miller W. H. SS Normandie: Classic Liners. USA, The History Press, 2013, 96 p. ISBN: 978-0752488080
5. Maxtone-Graham J. Normandie: France's Legendary Art Deco Ocean Liner. USA, W. W. Norton & Co., 2007, 260 p. ISBN: 978-0-393-06120-8
6. Lopatinskij K., Xafizov I. *Sto let velikolepiya: ar-deko i franczuzskoe xudozhestvennoe steklo* [A Century of Splendor: Art Deco and French Art Glass]. *Iskusstvo + antikvariat* [Art + Antiques]. 2025, no. 5, pp. 75–87. (In Russ.)
7. McCready K. Art Deco and Modernist ceramics. London, Thames & Hudson, 1997, 192 p. ISBN: 978-0500278253
8. Bayer P. Art Deco Interiors : Decoration and Design Classics of the 1920's and 1930's. London, Thames and Hudson Ltd, 2000, 224 p. ISBN: 978-0-500-28020-1
9. Petuxov A. *Korotkij vek ″plavuchego Versalya″* [The Short Life of the ″Floating Versailles″]. Yachting. Russia's premier marine magazine. 2021, no. 112, pp. 122–127. (In Russ.)
10. Braynard F. Picture History of the Normandie. New York, Dover publications, 1987, 145 p.

11. Shirokov A. N. *˝Normandiya˝. Gibel` flagmana e`poxi* [Normandie. The Demise of an Era's Flagship]. Moscow,Veche Publ., 2016, 400 p. (In Russ.) ISBN: 978-5-4444-5118-2
12. Stevenson G. Art Deco ceramics. UK, Shire Publ., 2008. 40 p. ISBN: 139780747803782
13. Pelicher E. La Céramique Art deco. Paris, Bibliotheque des Arts, 1988, 200 p. (In French) ISBN: 978-2881480072
14. Ardman H. Normandie: Her Life and Times. USA, Franklin Watts, 1985, 435 p.

ВКЛАД АВТОРОВ

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

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

Онегин Николай Сергеевич, кандидат культурологии, старший научный сотрудник ФГУБК «Государственный Эрмитаж» (Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, Дворцовая пл. 2); e-mail: Onegin@hermitage.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-8244-7254

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Nicholas Sergeevich Onegin, PhD in Cultural Studies, the Senior Researcher the State Hermitage Museum (Dvorczovaya pl., d. 2, St. Petersburg, 190000, Russia); e-mail: Onegin@hermitage.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-8244-7254

Поступила в редакцию 16.09.2026
Прошла рецензирование 17.10.2026
Принята к публикации 01.11.2026

Received 16.09.2026
Revised 17.10.2026
Accepted 01.11.2026

ТЕХНИКА / ТЕХНОЛОГИИ | TECHNOLOGY / TECHNOLOGIES

Оригинальная статья | Original article

DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2026.82.52.004 УДК 629.5.058.46

Оценка точности и повторяемости USBL-системы Zima2 по результатам натурных испытаний на сахалинском мелководье

А. В. Дикарев ✉, С. М. Дмитриев, В. А. Кубкин, А. В. Василенко, А. П. Абеленцев

ООО «Лаборатория подводной связи и навигации», г. Москва, Россия
✉ *a.dikarev@unavlab.com*

Аннотация

Представлены результаты натурных испытаний 4-элементной USBL-системы Zima2, проведённых в акватории Охотского моря у восточного побережья Сахалина на глубине около 22 м. Особенностью системы является совмещение в одном гидроакустическом сигнале длительностью 100 мс функций пеленгации и цифровой телеметрии (глубина маяка, напряжение батареи, адресные команды управления), что принципиально отличает её от систем, использующих короткие тональные посылки исключительно для пеленгации. В качестве эталона использовалась промышленная 46-элементная система Kongsberg mPAP-201. Измерения проводились в разные дни, что исключает прямое сравнение абсолютной точности, однако позволяет независимо оценить повторяемость (precision) каждой из систем. Обработка выполнялась по единой методике: координаты маяков-ответчиков переводились из географических координат в локальную метрическую систему относительно центроида облака точек, вычислялись среднеквадратические отклонения (σ), круг вероятной ошибки (CEP), среднеквадратичное радиальное отклонение (DRMS). Выбросы отфильтровывались по критерию 3DRMS.

Система Zima2 испытывалась в расширенном диапазоне дальностей до 930 м без предварительной калибровки антенной решётки. После удаления выбросов (2,1 % точек) получены следующие оценки: $\sigma_{EW} = 5{,}78$ м, $\sigma_{NS} = 6{,}51$ м, DRMS = 8,71 м. Радиальное смещение центроида решений от заявленного положения маяка составило 4,3 м. На дистанциях до 150 м разброс решений снижается более чем вдвое (DRMS = 3,65 м), однако возрастает систематическая составляющая ошибки, что предположительно связано с влиянием корпуса судна при недостаточном заглублении антенны (1,5 м) и эффектом размытия пеленга из-за длительности сигнала при маневрировании. Рост числа выбросов и увеличение разброса зафиксированы на дистанциях свыше 500 м.

Эталонная система mPAP-201, работавшая на дистанциях до 100 м в штатном режиме с предварительной калибровкой, после фильтрации показала DRMS = 3,45 м. Обнаруженный разброс оценок глубины маяка ($\sigma_Z = 5{,}16$ м) является следствием фундаментального ограничения метода вычисления глубины из вертикального угла на мелководье. Система Zima2, получающая глубину напрямую от датчика давления на маяке по гидроакустическому каналу, продемонстрировала $\sigma_Z = 0$ при дискретности 0,1 м. Полученные результаты подтверждают работоспособность Zima2 USBL в прибрежной зоне и определяют направления дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова Zima2, USBL, гидроакустическая навигация, подводное позиционирование, precision (повторяемость), accuracy (точность), DRMS, мелководье, натурные испытания, Kongsberg mPAP-201

Для цитирования *Дикарев А. В.*, *Дмитриев С. М.*, *Кубкин В. А.*, Василенко А. В., Абеленцев А. П. Оценка точности и повторяемости USBL-системы Zima2 по результатам натурных испытаний на сахалинском мелководье. *Гидрокосмос.* 2026;4(2):51–67. https://doi.org/10.26175/URC.2026.82.52.004

Assessment of the Accuracy and Repeatability of the Zima2 USBL System Based on Field Tests in the Shallow Waters off Sakhalin

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

Limited Liability Company "Underwater Communication and Navigation Laboratory", Moscow, Russia
✉ *a.dikarev@unavlab.com*

Abstract

This paper presents the results of field tests of the four-element Zima2 ultra-short baseline (USBL) system conducted in the Sea of Okhotsk off the eastern coast of Sakhalin, at a water depth of approximately 22 m. A distinctive feature of the system is its integration of direction finding and digital telemetry functions, including beacon depth, battery voltage, and addressed control commands, into a single 100-ms acoustic signal. This design fundamentally distinguishes Zima2 from systems that use short tonal pulses exclusively for direction finding.

A commercially available 46-element Kongsberg mPAP-201 system was used as a reference. Measurements were conducted on different days, precluding a direct comparison of absolute accuracy but allowing the repeatability (precision) of each system to be assessed independently. Data were processed using a common methodology. The coordinates of the transponder beacons were transformed from geographic coordinates into a local metric coordinate system centered on the centroid of the point cloud. The standard deviations (σ), circular error probable (CEP), and distance root mean square (DRMS) were calculated. Outliers were removed using the 3DRMS criterion.

The Zima2 system was tested over an extended range of distances, up to 930 m, without prior calibration of the antenna array. After outlier removal (2.1 % of points), the following estimates were obtained: $\sigma_{EW} = 5.78$ m, $\sigma_{NS} = 6.51$ m, and DRMS = 8.71 m. The radial offset between the solution centroid and the beacon's stated position was 4.3 m. At ranges of up to 150 m, the scatter of the position estimates decreased by more than half (DRMS = 3.65 m); however, the systematic component of the error increased. This increase is tentatively attributed to interference from the vessel's hull because the antenna was deployed at a depth of only 1.5 m, as well as to angular smearing caused by the signal duration during vessel maneuvering. An increase in both the number of outliers and the scatter was observed at ranges exceeding 500 m.

The reference mPAP-201 system, operated at ranges of up to 100 m in its standard mode after prior calibration, yielded a DRMS of 3.45 m after filtering. The observed scatter in beacon depth estimates ($\sigma_Z = 5.16$ m) reflects a fundamental limitation of the method used to calculate depth from the vertical angle in shallow water. In contrast, the Zima2 system obtains depth directly from a pressure sensor on the beacon via the acoustic channel.

It yielded $\sigma_z = 0$ at a depth resolution of 0.1 m. The results confirm that the Zima2 USBL system is operationally viable in coastal waters and identify areas for further improvement.

Keywords Zima2, USBL, acoustic navigation, underwater positioning, precision (repeatability), accuracy, DRMS, shallow water, field testing, Kongsberg mPAP-201

For citation Dikarev A. V., Dmitriev S. M., Kubkin V. A., Vasilenko A. V., Abelencev A. P. Assessment of the Accuracy and Repeatability of the Zima2 USBL System Based on Field Tests in the Shallow Waters off Sakhalin. *Hydrocosmos*. 2026;4(2):51–67. https://doi.org/10.26175/URC.2026.82.52.004

ВВЕДЕНИЕ

Позиционирование подводных объектов является одной из важнейших задач при проведении океанологических исследований, инженерных изысканий и эксплуатации морской техники. Гидроакустические системы подводного позиционирования класса USBL (Ultra-Short BaseLine) широко применяются при выполнении подводно-технических работ на континентальном шельфе: установка и мониторинг донных станций, сопровождение телеуправляемых аппаратов (ROV), позиционирование при геологоразведочных работах. Ключевым преимуществом USBL перед альтернативными методами (LBL, SBL) является оперативность развёртывания: достаточно одного судна с забортной антенной и одного маяка-ответчика.

Точность позиционирования в USBL-системах определяется совокупностью факторов: угловой разрешающей способностью антенной решётки, точностью измерения наклонной дальности, геометрией расположения гидрофонов, отношением сигнал/шум[1] [1], а также гидрологическими условиями (профиль скорости звука, рефракция, уровень помех) [2]. В условиях шельфа, тем более на мелководье, значимым фактором становится и влияние корпуса судна (отражения, турбулентность), особенно при недостаточном заглублении антенны.

Коммерческие системы высокого класса используют многоэлементные антенны (до 40–50 гидрофонов и более), что позволяет достигать точности пеленгования порядка 0,1–0,2° [3]. Однако высокая стоимость таких систем и ограничения на их поставку в Российскую Федерацию делают актуальной задачу разработки отечественных USBL-систем на основе компактных антенных решёток, способных обеспечивать приемлемую точность при учёте указанных факторов.

В рамках данной работы представлены результаты натурных испытаний 4-элементной USBL-системы Zima2, разработанной авторами. Целью испытаний являлась объективная оценка точностных характеристик системы в морских условиях на характерных для шельфовых и мелководных работ дистанциях.

Для получения независимой оценки точности в качестве эталона использовалась промышленная навигационная система с 46-элементной пеленгационной антенной решёткой. Важно подчеркнуть:

— *все измерения эталонной системой выполнены без участия авторов, силами эксплуатирующей организации;*

— *сравнительный анализ проводился исключительно на основе первичных (сырых) измерений обеих систем;*

— *производитель эталонной системы не привлекался к планированию эксперимента, обработке или интерпретации данных.*

Такой подход, по мнению авторов, обеспечивает максимально возможную объективность при оценке системы её собственными разработчиками.

Основными задачами работы являлись:

1. Определить повторяемость (precision) позиционирования системы Zima2

[1] New third generation HiPAP system takes acoustic positioning performance to the next level.Kongsberg Maritime [Эл. ресурс]. URL: https://www.kongsbergmaritime.com/news-and-events/news-archive/2015/new-third-generation-hipap-system-takes-acoustic-positioning-performance-to-the/ (посл. посещение 24.09.2026)

на дистанциях ~50 м и ~730 м, оценив её по метрикам СКО (среднеквадратическое отклонение) и DRMS.

2. Сопоставить статистические характеристики решений Zima2 и эталонной системы.

3. Оценить зависимость стабильности решений от наклонной дальности и выявить зоны деградации точности для 4-элементной антенной решётки, в том числе при неблагоприятных условиях, связанных с недостаточным заглублением антенны.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Район и условия проведения работ

Натурные испытания проводились в акватории Охотского моря у восточного побережья Сахалина 28–29 апреля 2026 года. Глубина в районе работ составляла около 22 метров. Измерения выполнялись при благоприятной погоде: волнение моря не превышало 2 баллов, ветер — до 5 м/с. Скорость звука в воде определялась погружным гидрологическим зондом ИСЗ-500 и загружалась в обе системы перед началом работ.

2. Оборудование

В работе использовались два набора оборудования: испытуемая система Zima2 USBL и эталонная USBL-система Kongsberg mPAP-201.

Обе системы работали в режиме Real-time позиционирования с определением положения маяка по измеренным углу прихода сигнала (пеленгу) и наклонной дальности. При этом эталонная система использует горизонтальный и вертикальный углы и методы трассировки лучей, в то время как в Zima2 USBL вертикальный угол не используется, а проекция наклонной дальности рассчитывается из наклонной дальности и разности глубин пеленгационной антенны Zima2B и маяка-ответчика Zima2R — оба прибора имеют встроенные датчики глубины, маяк измеряет и передаёт на пеленгационную антенну собственную глубину в цифровом виде.

Гидроакустический сигнал Zima2 имеет длительность 100 мс и помимо навигационной функции обеспечивает цифровую телеметрию: передачу глубины маяка, напряжения его батареи, а также приём широковещательных команд и адресных управляющих кодов (23 команды) от пеленгационной антенны на маяк. Адресация до 16 маяков реализована посредством кодового разделения каналов. Таким образом, длительность сигнала определяется не требованием к энергетической дальности, а объёмом передаваемых данных.

В обеих системах определение углов прихода осуществляется при помощи антенной решётки, при этом используемый экземпляр эталонной системы имеет антенную решётку из 46 элементов против 4 элементов у Zima2.

В эталонной системе использовался маяк-ответчик C-Node Mini S, в Zima2 — штатный маяк-ответчик Zima2R в автономном исполнении (с подводной аккумуляторной сборкой на основе LiFePO4 элементов).

Оба маяка — и маяк эталонной системы, и маяк Zima2R — крепились на одну растяжку, которая показана на рисунках 1 и 2.



Рис. 1. *Якорная система и маяки-ответчики. 1 — Zima2R, 2 — C-Node Mini S, 3 — подводная аккумуляторная сборка SB-24-48-LF, питающая маяк Zima2R (источник: архив авторов)*

Fig. 1. *Mooring system and acoustic transponders. 1 — Zima2R, 2 — C-Node Mini S, 3 — SB-24-48-LF underwater battery pack powering the Zima2R transponder (source: authors' archive)*



Рис. 2. *Схема крепления маяков на растяжке. 1 — Zima2R, 2 — C-Node Mini S, 3 — подводная аккумуляторная сборка SB-24-48-LF, питающая маяк Zima2R. Расстояние маяка Zima2R от якоря порядка 1,5 м (источник: архив авторов)*

Fig. 2. *Diagram showing the attachment of beacons to a mooring line. 1 — Zima2R, 2 — C-Node Mini S, 3 — SB-24-48-LF underwater battery pack powering the Zima2R beacon. The distance from the Zima2R beacon to the anchor is approximately 1.5 m (source: authors' archive)*

Для работ использовалось небольшое судно (см. рис. 3), оснащённое системой динамического позиционирования и оборудованное для проведения гидрографических работ. На нём присутствует вертикальная шахта для установки антенны mPAP. В эту шахту при помощи переходного фланца на штанге устанавливалась пеленгационная антенна Zima2B. При этом обеспечивалось заглубление только 1,5 м от поверхности воды (см. рис. 4). Такое расположение является нерекомендуемым, так как расстояние от нижней точки судна до антенны в этом случае было меньше требуемого — 1,5–2 м.



Рис. 3. *Гидрографическое судно, используемое в испытаниях (источник: архив авторов)*

Fig. 3. *Hydrographic vessel used in the tests (source: authors' archive)*



Рис. 4. *Пеленгационная антенна Zima2B (жёлтая) на штанге (источник: архив авторов)*

Fig. 4. *Zima2B direction-finding antenna (yellow) on a pole (source: authors' archive)*

В качестве системы курса-положения в обоих случаях использовалась судовая система (GNSS-компас). В эталонную систему дополнительно передавались данные о крене и дифференте судна. Антенна Zima2B использует встроенный двухосевой инклинометр для оценки углов крена и дифферента.

Стоит также отметить, что эксплуатирующая эталонную систему организация приобрела систему до введения санкций.

3. Схема измерений

Измерения проводились в два этапа, в разные дни.

День 1. Эталонная система.

Маяк C-Node Mini S эталонной системы был установлен на дне в точке P_1 (N46.620014°, E142.703034°). Скорость судна составляла 1,5 м/с. Вокруг транспондера судно прошло по схеме галсов в виде лепестка клевера. Длина каждого галса составляла 200 метров (по 100 м в каждую сторону от транспондера, установленного на дне). В течение продолжительного времени (несколько десятков минут) выполнялась запись координат маяка, выдаваемых эталонной системой в реальном времени. Данные записывались в локальной проекции (UTM) с частотой примерно одно решение в 1–2 секунды.

День 2. Испытуемая система (Zima2).

Маяк был переставлен в новую точку P_2 (N46.6200135°, E142.703034°), находящуюся на удалении около 150 метров от P_1. Координаты точки установки определялись по показаниям судового GNSS-приёмника в момент сброса маяка с учётом известного вылета за борт. Судно в этот момент удерживало позицию на DP.

В ходе работы судно перемещалось с севера на юг с дальности ~530 метров в направлении на маяк. Далее несколько раз прошло по окружности вокруг маяка в разных направлениях. Затем отошло на запад, выполнило разворот и, минуя маяк, ушло на ~900 метров в восточном направлении, где снова выполнило разворот и вернулось к маяку. Скорость судна оставалась практически неизменной и сохранялась в диапазоне 1,0–1,5 м/с.

При работе системы Zima2 записывается полный журнал информационного обмена между пультовым ПО и пеленгационной антенной Zima2B, а также данные с системы курса-положения (GNSS-компас), при этом все сообщения имеют точные временные метки.

Вычисляемые положения маяка сохранялись дополнительно в формате UTM, NMEA GGA. Дополнительно полный набор данных, включающий в себя положения судна, сохранён в формате CSV.

Также треки обоих маяков сохранены в формате Google KML для удобства визуализации, анализа и сравнения.

Разное расположение маяков и проведение измерений в разное время накладывает принципиальное ограничение на возможность сравнения абсолютной точности, поэтому оценивается независимо только повторяемость для каждой системы. Дополнительно можно оценить смещение среднего вычисленного положения маяка Zima2R от заявленного положения.

4. Обработка данных

Сравнение систем проводилось на уровне первичных измерений. Для mPAP-201 использовались данные, полученные после выполненной эксплуатирующей организацией штатной калибровки антенны. При работе с системой Zima2 USBL использовалась заводская калибровочная таблица данной антенны.

Данные о вычисленном положении маяка эталонной системы были получены в виде текстовых файлов следующего формата:

```
Beacon B62 CoG Easting, Beacon B62 CoG Northing, Beacon B62 CoG Latitude, Beacon B62 CoG Longitude, Beacon B62 CoG Height

,,,,

630569.72,5164545.91,4637.3057127, N,14242.3276370, E,1.60

630563.19,5164541.55,4637.3034327, N,14242.3224461, E,-7.19

630560.82,5164544.33,4637.3049626, N,14242.3206322, E,-17.07

630561.80,5164543.99,4637.3047696, N,14242.3213943, E,-15.66.
```

Последние три параметра в каждой строке соответственно являются вычисленными широтой, долготой и глубиной маяка-ответчика.

ПО Zima2 USBL позволяет экспортировать данные в различные форматы. Для удобства визуализации и анализа данные от обеих систем были преобразованы в формат Google KML.

Согласно предварительному анализу, треки маяков от обеих систем имеют выбросы, поэтому анализ проводился в два этапа: на первом этапе определялись статистические параметры облака точек трека и из него удалялись точки, лежащие за пределами круга радиусом 3DRMS. На втором этапе повторно вычислялись статистические параметры для оставшейся совокупности, а смещение центроида этой совокупности от истинного положения принималось за абсолютную ошибку.

Расчёты статистических показателей производились в метрической системе, для чего координаты перевели в локальную прямоугольную систему (восток E, север N, вниз Up) относительно центроида (среднего арифметического всех точек трека — $\varphi_{ср}$, $\lambda_{ср}$) облака точек.

Пересчёт градусов в метры:

$$\Delta E = (\lambda - \lambda_{ср}) \times 111320 \times \cos(\varphi_{ср}),$$

$$\Delta N = (\varphi - \varphi_{ср}) \times 111320.$$

Показатели повторяемости рассчитываются относительно центроида и характеризуют случайную ошибку (см. табл. 1).

Показатели точности характеризуют систематическую ошибку — вектор смещения центроида — разницу между центроидом и истинным положением по осям и его норму.

Точки с радиальным отклонением от центроида > 3DRMS помечаются как выбросы. Статистика после фильтрации пересчитывается по тому же принципу.

Таблица 1. *Статистические показатели*
Table 1. *Statistical indicators*

Показатель	Формула	Описание
σ_{EW}, σ_{NS}	$\sqrt{(\Sigma\Delta^2/n)}$	Стандартное отклонение по осям
CEP	$0{,}589 \times (\sigma_{EW} + \sigma_{NS})$	Круг вероятной ошибки (~50 % точек)
DRMS	$\sqrt{(\sigma^2_{EW} + \sigma^2_{NS})}$	Среднеквадратичное радиальное отклонение (~63 %)
2DRMS	2 × DRMS	Удвоенное DRMS (~95 % точек)
3DRMS	3 × DRMS	Утроенное DRMS (~99 % точек)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рисунке 5 и 6 представлены треки от эталонной системы до и после удаления выбросов.

На рисунке 7 и 8 соответственно представлены треки маяка Zima2R, полученные при помощи системы Zima2 USBL.

Существенные различия в объёме и характере выборок обусловлены разными режимами эксплуатации систем. Эталонная система mPAP-201 использовалась эксплуатирующей организацией в штатном режиме, измерения выполнялись при галсовом движении судна на дистанциях не более 100 м от маяка. Параметры испытания системы Zima2 USBL отличались. Оно носило исследовательский характер и было направлено на оценку поведения системы в широком диапазоне дальностей, включая предельные дистанции. Судно выполняло манёвры с удалением до 930 м от маяка-ответчика, в том числе при заходах с дальних дистанций (~500 м) и при уходе на максимальные удаления. Именно на этих участках траектории наблюдался рост числа выбросов и увеличение разброса решений, что отражает поведение системы в условиях пониженного отношения сигнал/шум и повышенной многолучёвости на предельных дальностях. Как показано в статье [1], снижение SNR и рост многолучевого распространения сигнала являются доминирующими факторами деградации точности пеленгации в шельфовых акваториях.

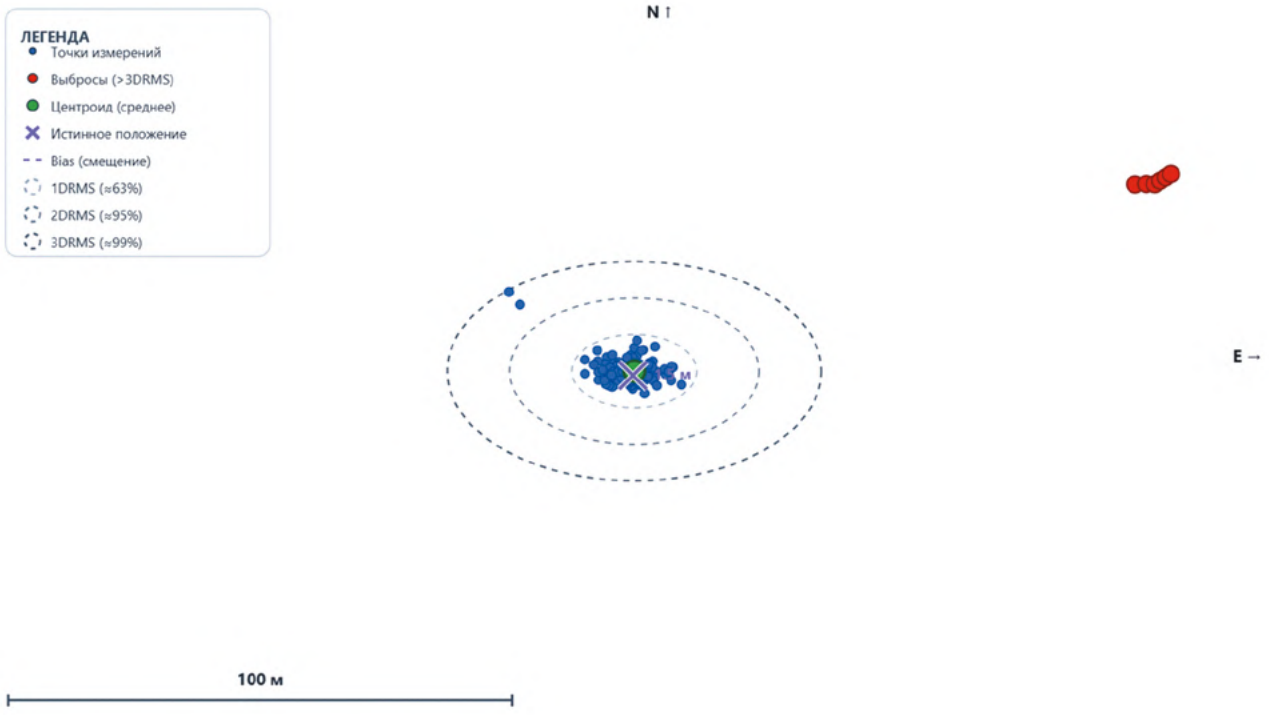


Рис. 5. *Исходный трек маяка C-Node Mini S, полученный при помощи mPAP-201 (источник: архив авторов)*
Fig. 5. *Raw track of the C-Node Mini S beacon, obtained using the mPAP-201 (source: authors' archive)*

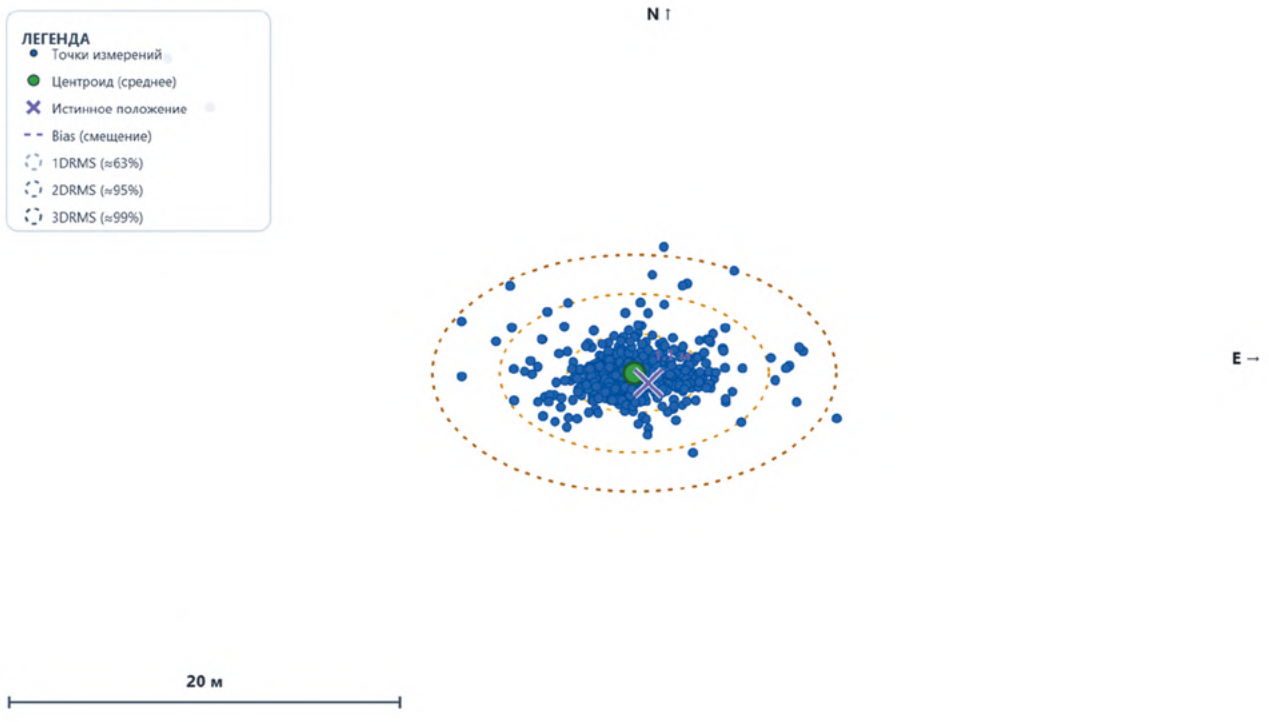


Рис. 6. *Трек маяка C-Node Mini S, полученный при помощи mPAP-201, после отбрасывания точек за пределами 3DRMS (источник: архив авторов)*
Fig. 6. *Track of the C-Node Mini S beacon, obtained using the mPAP-201, after discarding points falling outside the 3DRMS range (source: authors' archive)*

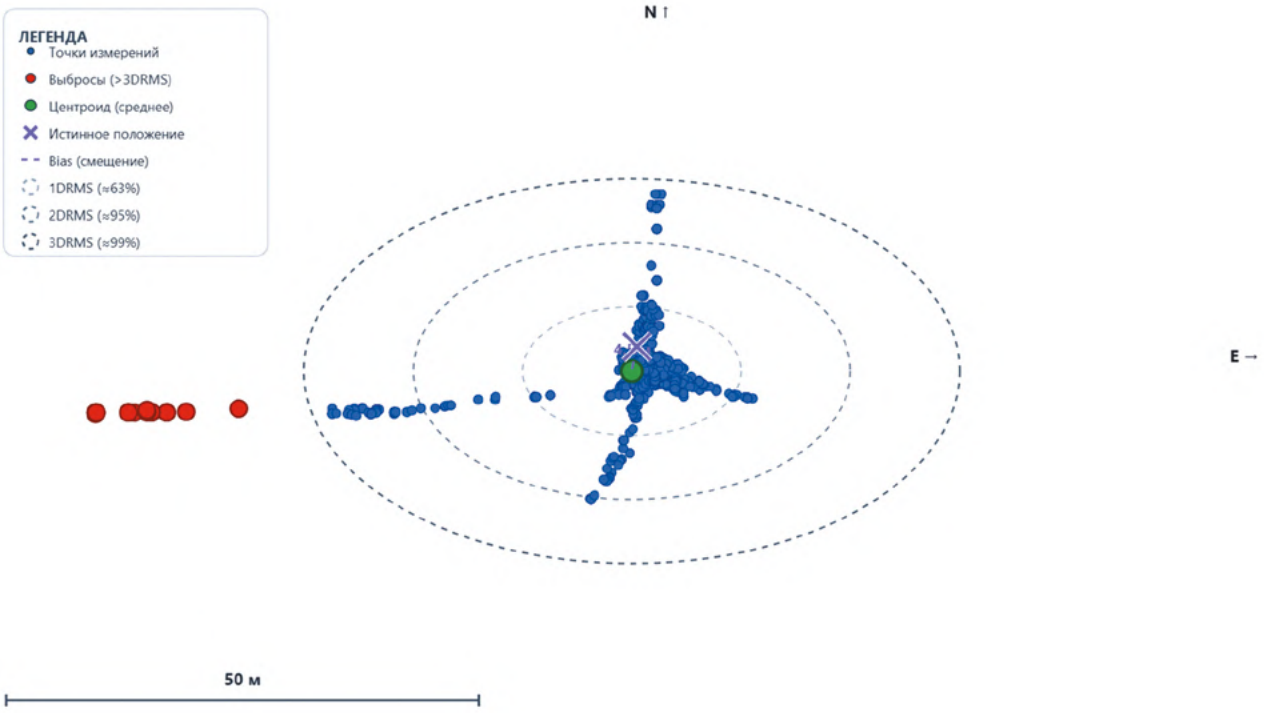


Рис. 7. *Исходный трек маяка Zima2R, полученный при помощи Zima2 USBL (источник: архив авторов)*
Fig. 7. *Raw track of the Zima2R beacon, obtained using the Zima2 USBL (source: authors' archive)*

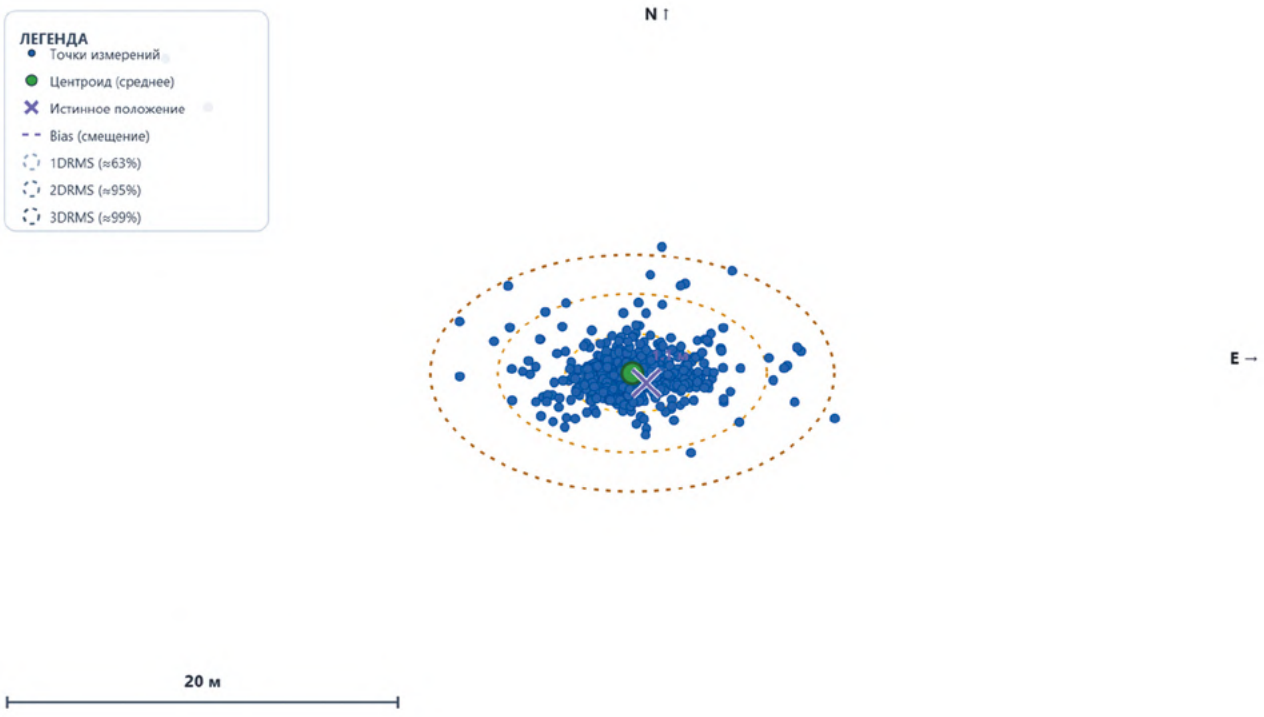


Рис. 8. *Трек маяка Zima2R, полученный при помощи Zima2 USBL, после отбрасывания точек за пределами 3DRMS (источник: архив авторов)*
Fig. 8. *Track of the Zima2R beacon, obtained using the Zima2 USBL, after discarding points falling outside the 3DRMS range (source: authors' archive)*

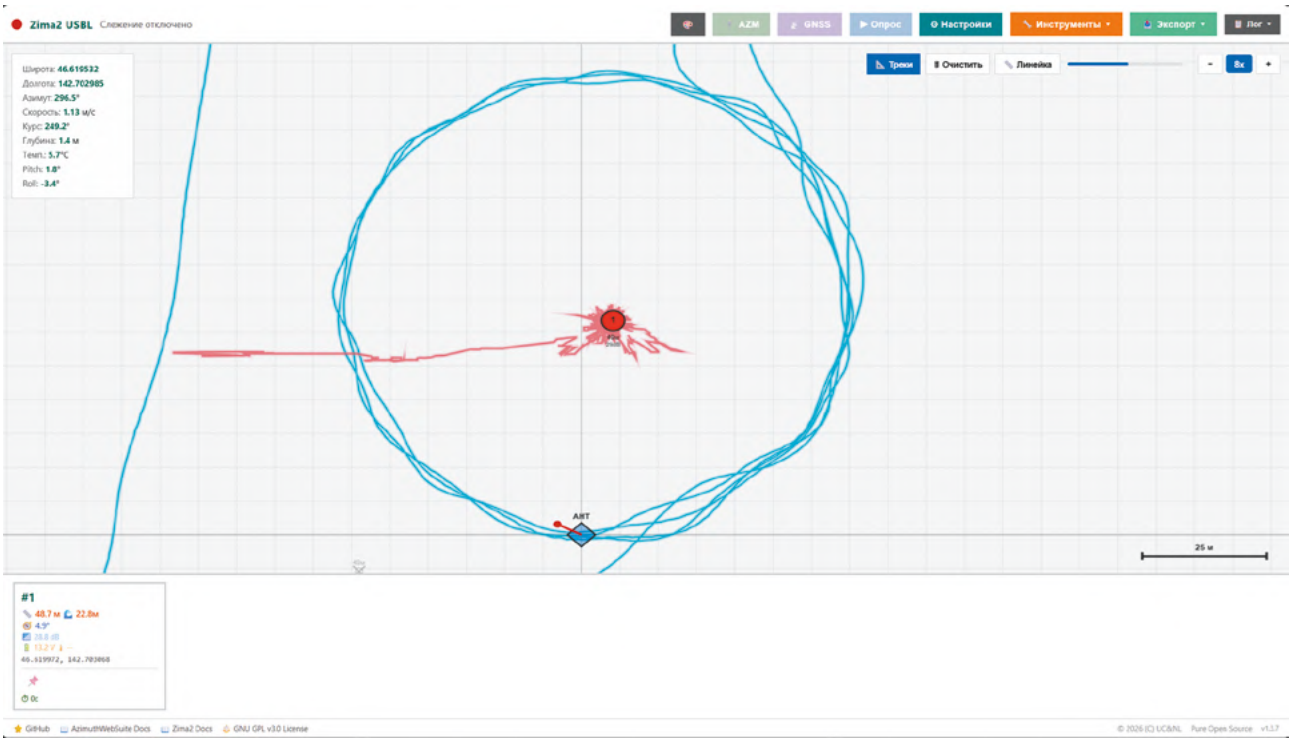


Рис. 9. *Выбросы в направлении E-W получены при подходе судна с удаления ~500 м. При циркуляции с радиусом 50 м разброс значений порядка 4–5 м. Снимок экрана пультового ПО AzimuthWebSuite (источник: архив авторов)*

Fig. 9. *E-W direction outliers recorded as the vessel approached from a distance of ~500 m. During a turn with a 50 m radius, the data spread is on the order of 4–5 m. Screenshot from the AzimuthWebSuite control software (source: authors' archive)*

Дополнительные факторы, такие как влияние ошибок вертикального угла и рефракции в мелководных условиях, подробно рассмотрены в исследовании [2], что согласуется с наблюдаемым ростом числа выбросов при дальностях свыше 500 м.

Основные отклонения пришлись на периоды эксперимента, когда судно находилось на максимальном удалении, что показано на рисунке 9.

В таблице 2 ниже приведены статистические параметры для обоих треков до удаления выбросов.

В таблице 3 приведены статистические параметры для обоих треков после исключения выбросов.

Примечание: максимальный разброс по оси Z после удаления выбросов может незначительно увеличиваться из-за смещения центроида облака точек при пересчёте статистических параметров. Поскольку разброс рассчитывается относительно нового среднего положения, отдельные точки, ранее находившиеся ближе к исходному центру, могут оказаться дальше от нового центроида. Это не свидетельствует о росте фактической дисперсии, а является следствием изменения опорной точки для расчёта отклонений.

Нулевое значение СКО по глубине для системы Zima2 объясняется тем, что глубина маяка измеряется встроенным датчиком давления и передаётся по гидроакустическому каналу с дискретностью 0,1 м. В статичном положении маяка на дне разброс показаний отсутствовал. Система mPAP-201 вычисляет глубину маяка из вертикального угла прихода сигнала. В условиях малых глубин (22 м) этот метод демонстрирует повышенную чувствительность к ошибкам пеленгации, что проявилось в значительном разбросе оценок Z ($\sigma_Z = 5{,}16$ м).

Данный результат характеризует не саму систему, а фундаментальное ограничение геометрического метода определения глубины по вертикальному углу в мелководных условиях.

Таблица 2. *Вычисленные статистические параметры для исходных треков*
Table 2. *Calculated statistical parameters for the original tracks*

Параметр	Zima2 (исходный)	mPAP (исходный)
Количество точек, шт	2815	637
Макс. разброс N-S, м	31,95	66,79
Макс. разброс E-W, м	56,78	106,56
Макс. разброс Z, м	0,1	33,37
σ_{NS}, м	6,54	6,71
σ_{EW}, м	9,55	10,40
σ_{Z}, м	0*	5,16
CEP (50 %), м	9,47	10,08
Медианная радиальная, м	2,93	2,18
DRMS (63 %), м	11,57	12,38
2DRMS (95 %), м	23,14	24,76
3DRMS (99 %), м	34,71	37,14
Число выбросов (> 3DRMS)	60	6
Доля выбросов (> 3DRMS), %	2,1	0,9
Bias E, м	-0,54	0,27
Bias N, м	-4,42	1,46
Радиальное смещение, м	4,46	1,49

Таблица 3. *Вычисленные статистические параметры для треков с удалёнными выбросами*
Table 3. *Calculated statistical parameters for tracks with outliers removed*

Параметр	Zima2 (< 3DRMS)	mPAP (< 3DRMS)
Количество точек, шт	2755	631
Макс. разброс N-S, м	31,95	27,43

Параметр	Zima2 (< 3DRMS)	mPAP (< 3DRMS)
Макс. разброс E-W, м	32,87	23,90
Макс. разброс Z, м	0,1	33,68
σ_{NS}, м	6,51	2,36
σ_{EW}, м	5,78	2,52
σ_{Z}, м	0*	4,04
CEP (50 %), м	7,24	2,87
Медианная радиальная, м	2,07	1,88
DRMS (63 %), м	8,71	3,45
2DRMS (95 %), м	17,41	6,89
3DRMS (99 %), м	26,12	10,34
Bias East, м	0,59	-0,72
Bias North, м	-4,26	0,85
Радиальное смещение, м	4,30	1,11
Радиальное смещение, м	4,46	1,49

Как показано в работах по оценке направления прихода сигнала в мелководной среде [4], чувствительность этого метода к малым ошибкам пеленга резко возрастает при малых глубинах и больших наклонных дальностях. В исследовании [2] дополнительно продемонстрировано, что ошибки вертикального угла на мелководье приводят к существенной погрешности в расчёте глубины даже при высокой точности пеленгации по горизонтали.

Трек движения судна при работе с Zima2 USBL представлен на рисунке 10. Максимальное удаление судна от маяка составляет порядка 930 метров.

Для Zima2 USBL был дополнительно проведён анализ участка трека, на котором максимальное удаление судна от маяка не превышает 150 м. Этот участок показан на рисунке 11.

В этом случае отсутствуют выбросы, возникавшие при активном маневрировании судна на существенном удалении. Такое ограничение сближает условия работы обеих систем. Изменение статистических параметров отражено в таблице 4.

Из таблицы 4 видно, что разброс решений снижается более чем вдвое (σ_{EW}: 5,78 м > 2,85 м), однако радиальное смещение центроида возрастает с 4,30 м до 6,04 м. Данный эффект предположительно связан с тем, что в полном треке выбросы частично компенсировали существующее систематическое смещение, а в анализируемой части трека точки решений сгруппированы плотнее (σ меньше), но вся группа смещена.

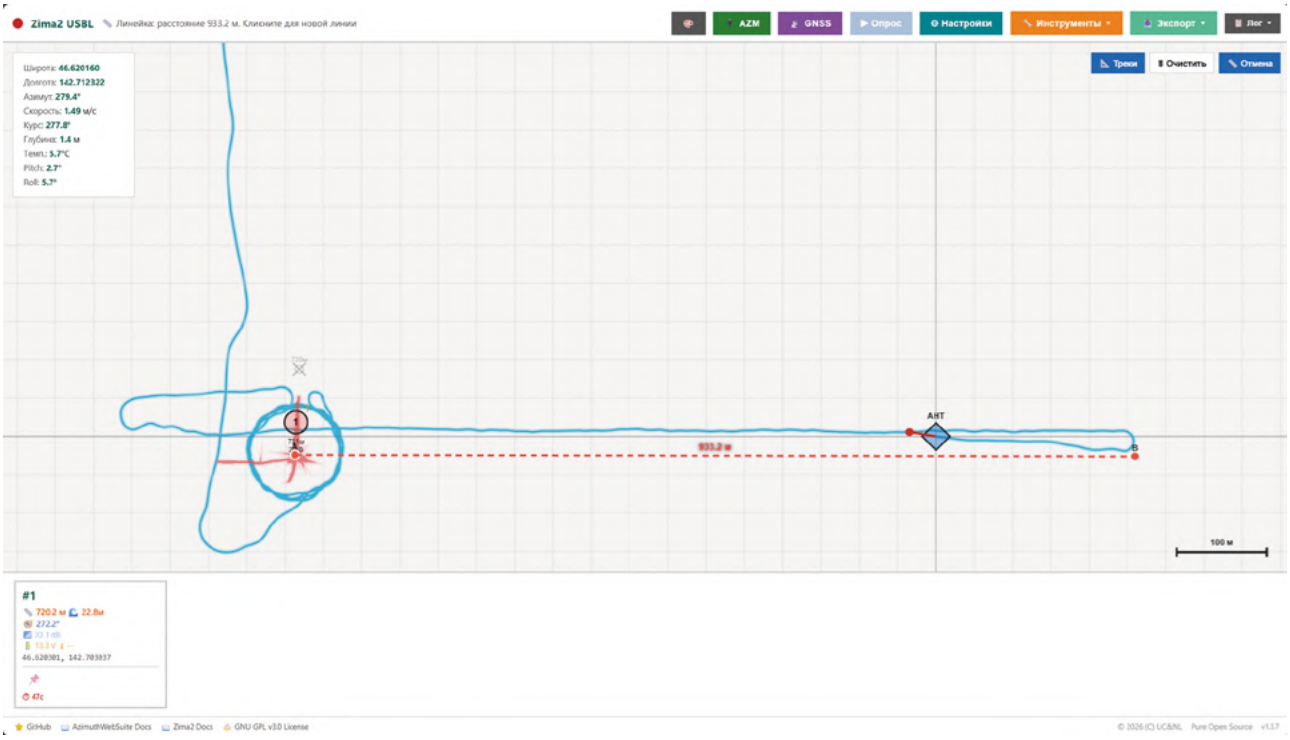


Рис. 10. *Zima2 USBL: трек движения судна (голубой) и маяка ответчика (красный). Снимок экрана пультового ПО AzimuthWebSuite (источник: архив авторов)*

Fig. 10. *Zima2 USBL: Movement track of the vessel (blue) and the transponder beacon (red). Screenshot from the AzimuthWebSuite control software (source: authors' archive)*

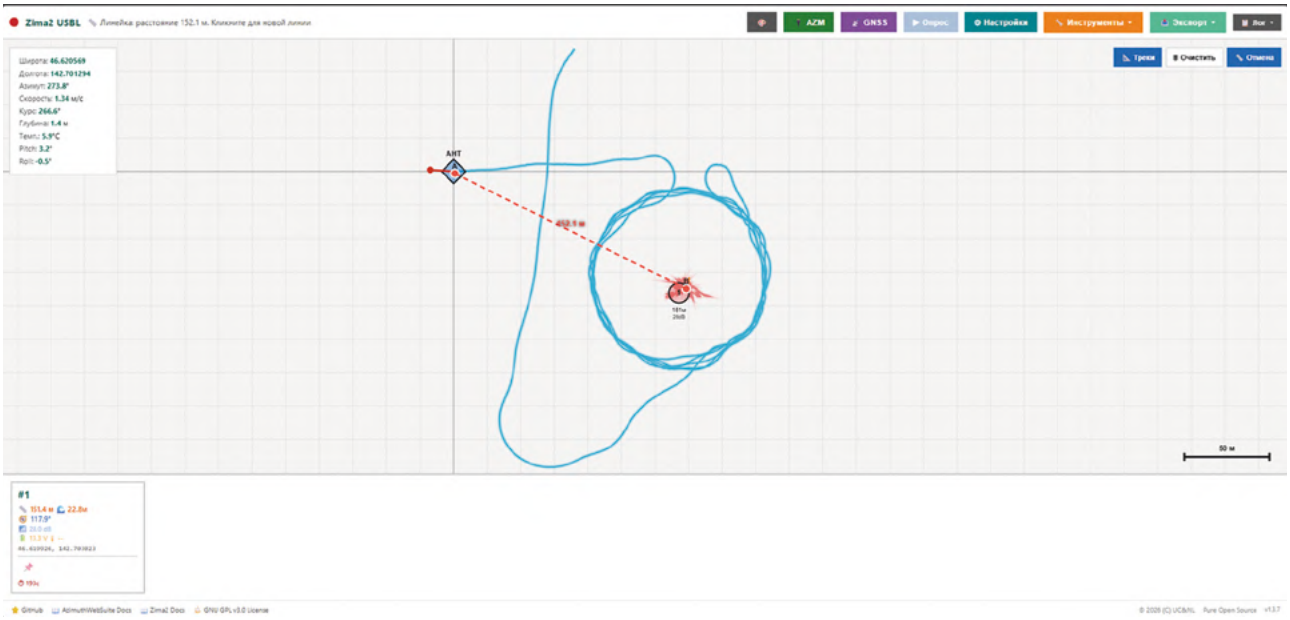


Рис. 11. *Участок трека, на котором максимальное удаление судна от маяка Zima2R не превышает 150 м. Снимок экрана пультового ПО AzimuthWebSuite (источник: архив авторов)*

Fig. 11. *A section of the track where the vessel's maximum distance from the Zima2R beacon does not exceed 150 m. Screenshot from the AzimuthWebSuite control software (source: authors' archive)*

Таблица 4. *Сравнение статистических параметров для полного трека и трека, полученного на дальностях не более 150 м. Zima2 USBL*

Table 4. *Comparison of statistical parameters for the full track and the track obtained at ranges of no more than 150 m. Zima2 USBL*

Параметр	Zima2 (< 3DRMS) Полный трек	Zima2 (< 3DRMS) Дальность < 150 м
Количество точек, шт	2815	637
Макс. разброс N-S, м	31,95	66,79
Макс. разброс E-W, м	56,78	106,56
Макс. разброс Z, м	0,1	33,37
σ_{NS}, м	6,54	6,71
σ_{EW}, м	9,55	10,40
σ_{Z}, м	0*	5,16
CEP (50 %), м	9,47	10,08
Медианная радиальная, м	2,93	2,18
DRMS (63 %), м	11,57	12,38
2DRMS (95 %), м	23,14	24,76
3DRMS (99 %), м	34,71	37,14
Bias East, м	-0,54	0,27
Bias North, м	-4,42	1,46
Радиальное смещение, м	4,46	1,49

ОБСУЖДЕНИЕ

Прямое количественное сравнение точностных характеристик двух систем по данным эксперимента было бы некорректным в силу различий в условиях измерений: mPAP-201 работала на дистанциях до 100 м в режиме штатной эксплуатации с предварительной калибровкой, Zima2 USBL испытывалась в исследовательском режиме на дистанциях до 930 м. Полученные статистические показатели характеризуют поведение каждой из систем в конкретных условиях данного эксперимента и не предназначены для ранжирования.

Испытания продемонстрировали различное поведение систем в зависимости от режима работы и дальности. Система Zima2, протестированная в расширенном диапазоне дальностей (до 930 м) без предварительной калибровки и с сохранением всех сырых решений, показала ожидаемое увеличение разброса и числа аномальных решений на предельных дистанциях. При этом, даже с учётом выбросов, система обеспечила

стабильную выдачу решений и позволила получить представительную выборку для статистической оценки.

Эталонная система mPAP-201, эксплуатировавшаяся в щадящем режиме на дистанциях до 100 м с предварительной калибровкой антенны, продемонстрировала меньший разброс решений, что соответствует её штатному применению в производственных работах. Изотропность ошибки говорит в пользу подтверждения корректности статистического анализа.

Повышенное число выбросов у системы Zima2 обусловлено работой в расширенном диапазоне дальностей: основная доля аномальных решений (60 из 2815) приходится на участки траектории, где судно удалялось от маяка на дистанции свыше 500 м. На этих дистанциях снижение отношения сигнал/шум, рост многолучёвости и влияние отражений от дна и корпуса судна приводят к ухудшению качества пеленгации и появлению ошибочных решений. Как показано в исследовании [1], именно эти факторы доминируют при работе на предельных дальностях в условиях мелководья. Наличие точных временных меток во всех сообщениях тракта USBL-системы и судовой системы курса-положения позволяет в дальнейшем локализовать аномальные решения во времени и сопоставить их с конкретными участками траектории и манёврами судна, что даст возможность количественно оценить вклад каждого из факторов.

Специфическим для Zima2 фактором, проявляющимся при маневрировании судна, является эффект размытия пеленга, обусловленный длительностью сигнала 100 мс. За время приёма посылки при скорости судна 1,0–1,5 м/с и угловых скоростях на циркуляции более 1,7 °/с пеленг на маяк изменяется на величину, сопоставимую с угловым разрешением 4-элементной антенной решётки. Фазовая обработка, лежащая в основе пеленгации, предполагает стационарность геометрии за время накопления. При её нарушении алгоритм оценивает не мгновенный пеленг, а его свёртку с угловым движением антенны за время посылки. Данный эффект не связан с недостатками приёмного тракта или алгоритмов и не является только следствием низкого SNR. Он представляет собой фундаментальное ограничение, вытекающее из совмещения в одном сигнале функций пеленгации и цифровой телеметрии. Системы, использующие короткие тональные посылки исключительно для пеленгации, свободны от этого ограничения, однако лишены возможности передавать данные на маяк без прерывания навигационного цикла. Именно этим эффектом объясняется, в частности, характерный «размытый» трек на рисунке 9: при движении судна по окружности радиусом 50 м разброс решений составляет порядка 4–5 м, что согласуется с расчётным размытием пеленга ~0,3–0,5° за время посылки при данных угловых скоростях и дальности.

Незначительное снижение разброса после фильтрации выбросов у Zima2 свидетельствует о том, что большая часть дисперсии обусловлена не редкими аномалиями, а общим ухудшением точности пеленга на предельных дальностях. Систематическое смещение решений Zima2 (радиальное смещение 4,30 м) может быть связано с совокупным влиянием нескольких факторов: недостаточной калибровкой 4-элементной антенной решётки, искажениями диаграммы направленности из-за близкого расположения к корпусу судна (заглубление 1,5 м ниже рекомендуемого диапазона) и возможной временной несогласованностью данных при манёврах судна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые натурные испытания позволили получить объективные оценки точностных характеристик 4-элементной USBL-системы Zima2 в морских условиях на характерных для мелководных работ дистанциях.

Основные результаты.

Повторяемость позиционирования (precision) системы Zima2 после исключения выбросов составила $\sigma_{EW} = 5{,}78$ м, $\sigma_{NS} = 6{,}51$ м, DRMS = 8,71 м на дистанциях до 930 м. На средних дистанциях (до ~100 м) разброс решений не превышал 4–5 м.

Доля выбросов (> 3DRMS) составила 2,1 %, при этом основная их часть сосредоточена на участках с дальностью свыше 500 м, что указывает на границу устойчивой работы системы в данных гидрологических условиях и при данном заглублении антенны.

Основными факторами, определяющими точность системы, являются: эффект размытия пеленга из-за длительности сигнала (100 мс) при маневрировании судна и влияние корпуса судна при недостаточном заглублении антенны (1,5 м). Систематическое смещение центроида (4,30 м) связано, по-видимому,

в основном с временными расхождениями между данными компаса и моментом приёма сигнала.

Прямой обмер глубины маяка встроенным датчиком давления исключает ошибки, свойственные геометрическому методу на мелководье, и обеспечивает стабильность оценки Z вне зависимости от дальности.

Дальнейшие направления работ включают: исследование влияния заглубления антенны на точность пеленгации, более тщательный анализ временных параметров системы курса-положения, а также проведение синхронных измерений с эталонной системой по маякам, расположенным в одной точке, для прямого сопоставления точностных характеристик.

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. Liu S., Guo H., Qian Z., Li J., Wang X., Sun W., Zhang L., Zhang A. A Study on a Novel Inverted Ultra-Short Baseline Positioning System and Phase Difference Estimation. Journal of Marine Science and Engineering. 2023, vol. 11, issue 5, no. 952. DOI: https://doi.org/10.3390/jmse11050952
2. Oertel D., Neumann S., Wörn H., Golz M., Waniek J. J. Reducing Elevation Angle Errors of Long range Deep sea Acoustic Localization by Ray Tracing and Depth Measurements. 2016 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Banff, Canada, 12–15 July 2016. pp. 178–183. DOI: https://doi.org/10.1109/AIM.2016.7576763
3. Hu R., Wang Y., Yang W., Chen Y., Huang S. H. Fast Calibration of Superdirective Ultra-Short Baseline Array. Journal of Marine Science and Engineering. 2023, vol. 11, issue 9, no. 1665. DOI: https://doi.org/10.3390/jmse11091665
4. Litvinenko S. Two dimensional Direction of Arrival Estimation in Shallow Water Environment. In Proceedings of the 1st International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics, Corfu, Greece, 23–28 June. 2013, pp. 1369–1374.

REFERENCES

1. Liu S., Guo H., Qian Z., Li J., Wang X., Sun W., Zhang L., Zhang A. A Study on a Novel Inverted Ultra-Short Baseline Positioning System and Phase Difference Estimation. Journal of Marine Science and Engineering. 2023, vol. 11, issue 5, no. 952. DOI: https://doi.org/10.3390/jmse11050952
2. Oertel D., Neumann S., Wörn H., Golz M., Waniek J. J. Reducing Elevation Angle Errors of Long range Deep sea Acoustic Localization by Ray Tracing and Depth Measurements. 2016 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Banff, Canada, 12–15 July 2016. pp. 178–183. DOI: https://doi.org/10.1109/AIM.2016.7576763
3. Hu R., Wang Y., Yang W., Chen Y., Huang S. H. Fast Calibration of Superdirective Ultra-Short Baseline Array. Journal of Marine Science and Engineering. 2023, vol. 11, issue 9, no. 1665. DOI: https://doi.org/10.3390/jmse11091665
4. Litvinenko S. Two dimensional Direction of Arrival Estimation in Shallow Water Environment. In Proceedings of the 1st International Conference and Exhibition on Underwater Acoustics, Corfu, Greece, 23–28 June. 2013, pp. 1369–1374.

ВКЛАД АВТОРОВ

Дикарев А. В. — разработка концепции, программирование, руководство исследованием, создание черновика статьи.

Дмитриев С. М. — разработка и изготовление электроники и оснастки.

Кубкин В. А. — программирование, доработка черновика статьи, обработка данных.

Василенко А. В. — разработка и изготовление электроники.

Абеленцев А. П. — организация испытаний, логистика, доработка черновика статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

A. V. Dikarev — conceptualization, methodology, software, supervision, writing — original draft.

S. M. Dmitriev — software.

V. A. Kubkin — software, investigation, writing — review & editing.

A. V. Vasilenko — software.

A. P. Abelentsev — methodology, investigation. writing — review & editing.

Авторы выражают глубокую благодарность:

— Н. Капташкину, И. Кочергину и С. Воробьевой за участие в проведении натурных экспериментов и изготовление оснастки.

— Коллективам ООО «Подводные дроны», и в частности М. Маршалову, за участие и помощь в организации испытаний.

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

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

Абеленцев Артур Павлович, генеральный директор 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.abelentsev@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

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

Artur Pavlovich Abelencev, CEO Underwater Communication & Navigation Laboratory, LLC (Bolshoy bld, 42, building 1, office 1098/10, Skolkovo innovation center, Moscow, 121205, Russia); a.abelentsev@unavlab.com

Поступила в редакцию	14.09.2026	**Received**	14.09.2026
Прошла рецензирование	03.10.2026	**Revised**	03.10.2026
Принята к публикации	25.10.2026	**Accepted**	25.10.2026

ТЕХНИКА / ТЕХНОЛОГИИ | TECHNOLOGY / TECHNOLOGIES

Оригинальная статья | Original article

DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2026.46.79.005 УДК 535.317:004.925:629.584:629.5.023.71

Трёхмерная бинокулярная трассировка лучей в сферическом прозрачном прочном корпусе обитаемого подводного аппарата

А. А. Богданов[1] ✉ , **Р. С. Жданов**[2]

[1] *НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва, Россия*
[2] *АО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения „Малахит“», г. Санкт-Петербург, Россия*
✉ *Bogdanov_AA@nrcki.ru*

Аннотация

Настоящей работой предлагается трёхмерный бинокулярный метод трассировки лучей для сферических прозрачных корпусов обитаемых подводных аппаратов (ОПА), развивающий классический двумерный подход Троубриджа. В отличие от исходной планарной постановки, новый метод рассматривает реконструкцию лучей в полном трёхмерном пространстве и определяет положение бинокулярного мнимого изображения объекта по геометрии двух пространственных лучей.

Численная проверка на контрольной геометрии корпуса подводной обсерватории *NEMO* показала, что средняя абсолютная ошибка определения коэффициента ΔR (отношения воспринимаемого расстояния к действительному расстоянию до объекта) составляет 3,2–8,4 %. Средняя абсолютная ошибка определения показателя D (анизотропного искажения формы объекта) не превышает 2,5 %.

Полученные значения оценённых средних абсолютных ошибок имеют преимущественно геометрический характер и связаны с различием между 3D-реконструкцией по пространственным лучам и 2D-построением мнимого изображения.

Предложенный метод применён для определения оптических метрик корпуса подводной обсерватории *NEMO* (толщина стенки — 63,5 мм) и корпуса ОПА (толщина стенки — 286 мм), воспроизводя характерные локусы мнимых изображений.

Ключевые слова прозрачный сферический корпус, обитаемый подводный аппарат, оптическое искажение, закон Снеллиуса, метод Левенберга — Марквардта

Для цитирования Богданов А. А., Жданов Р. С. Трёхмерная бинокулярная трассировка лучей в сферическом прозрачном прочном корпусе обитаемого подводного аппарата. *Гидрокосмос.* 2026;4(2):68–86. https://doi.org/10.26175/URC.2026.46.79.005

Three-Dimensional Binocular Ray Tracing Through a Spherical Transparent Hull of a Manned Submersible

Aleksej A. Bogdanov[1] ✉ , **Roman S. Zhdanov**[2]

[1] *National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia*
[2] *Malakhit St. Petersburg Marine Bureau of Mechanical Engineering, JSC, St. Petersburg, Russia*
✉ *Bogdanov_AA@nrcki.ru*

Abstract

This paper proposes a three-dimensional (3D) binocular ray-tracing model for spherical transparent hulls of manned submersible vehicles (MSV), extending Trowbridge's classical two-dimensional (2D) approach. Unlike the original planar formulation, the proposed model considers ray reconstruction in full three-dimensional space and determines the position of the binocular virtual image of an object based on the geometry of two spatial rays.

Numerical validation on the reference geometry of the *NEMO* underwater observatory hull showed that the mean absolute error (MAE) in determining the distance discrepancy ΔR — the ratio of the eye-image distance to the actual eye-object distance — ranges from 3.2 % to 8.4 %. The mean absolute error in estimating the distortion of the object, D, does not exceed 2.5 %.

The obtained mean absolute error values are primarily of a geometric nature and stem from the difference between 3D reconstruction based on spatial rays and 2D construction of the virtual image.

The proposed model was applied to determine the optical metrics of the *NEMO* underwater observatory hull (wall thickness: 63.5 mm) and a MSV (wall thickness: 286 mm). The method reproduces characteristic loci of virtual-image positions.

Keywords spherical transparent hull, manned submersible, optical distortion, Snell's law, Levenberg–Marquardt method

For citation Bogdanov A. A., Zhdanov R. S. Three-Dimensional Binocular Ray Tracing Through a Spherical Transparent Hull of a Manned Submersible. *Hydrocosmos*. 2026;4(2):68–86. https://doi.org/10.26175/URC.2026.46.79.005

ВВЕДЕНИЕ

Прозрачные прочные акриловые корпуса сферической формы за последние два десятилетия получили широкое применение в обитаемых подводных аппаратах [1]. Преломление света на изогнутых границах раздела сред «вода — акрил — воздух» создаёт систематические расхождения между истинным положением подводного объекта и воспринимаемым пилотом аппарата его мнимым изображением, что может критически влиять на пространственное восприятие и оценку расстояний при визуальном наблюдении за окружающей подводной обстановкой.

Основополагающий метод анализа оптических эффектов в прозрачных сферических корпусах был впервые предложен в 1971 году Тейлором Троубриджем [2] применительно к подводной обсерватории *NEMO*. Данный метод базировался на итерационной двумерной трассировке лучей в плоскости CEO (см. схему реконструкции лучей на рис. 1).

Результаты проведённого Троубриджем исследования систематизированы в таблице 1 [2]. Расчёты выполнены автором для фиксированного расстояния от глаз до центра корпуса $R_{ce} = 0{,}457$ м (1,5 фута) и охватывали семь значений R_{co} и десять значений угла θ для «наилучшей» и «наихудшей» ориентаций глаз. В качестве одного из выводов отмечалось, что при умеренных положениях глаз по всему полю зрения искажение формы объекта $D \approx 1{,}0$, в то время как отношение

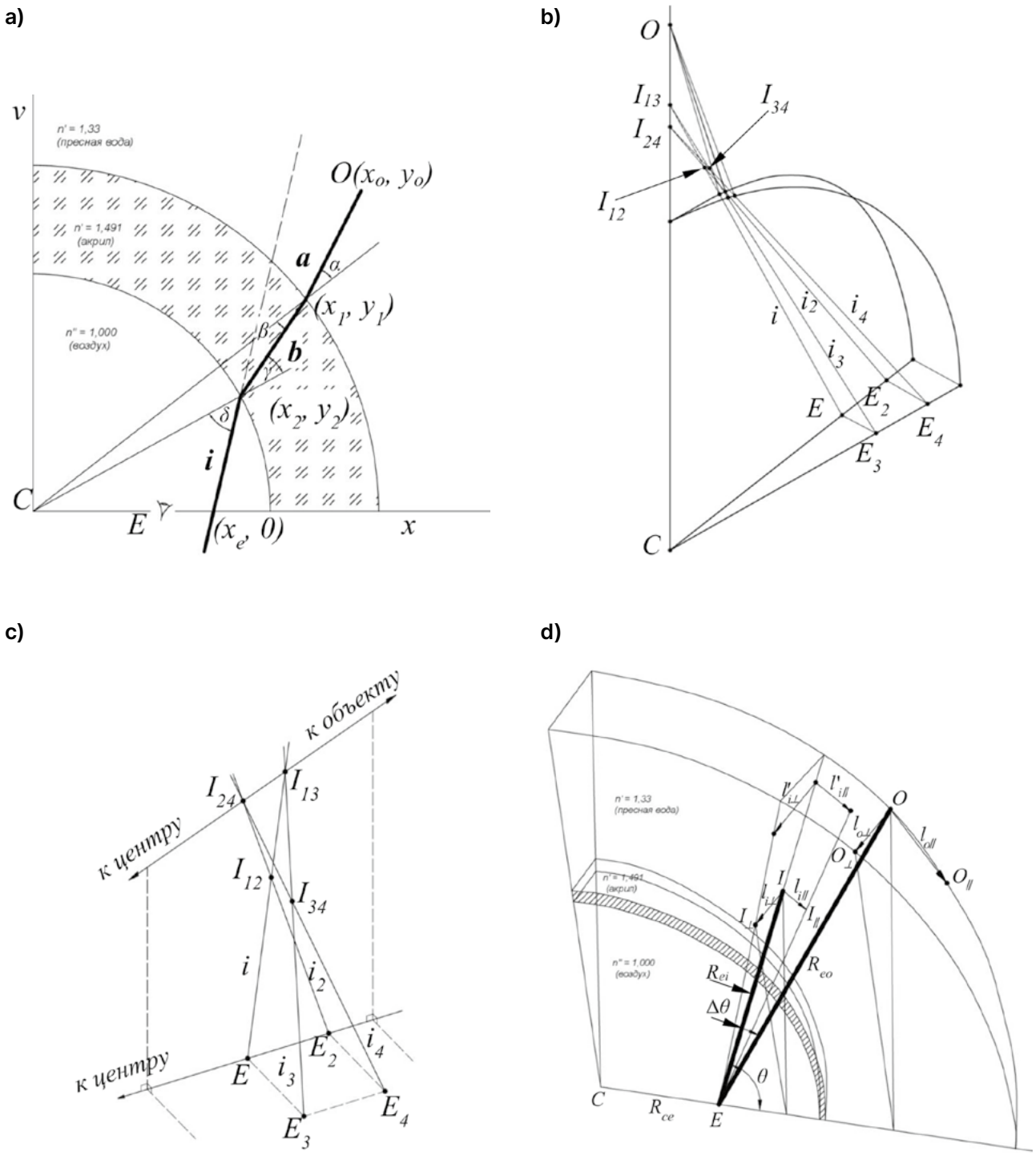


Рис. 1. *Расположение мнимого изображения I объекта* [2]: *a) путь луча сквозь стенку корпуса, если линия i проходит через положение глаза E, мнимое изображение будет располагаться на продолжении линии i (отмечено пунктиром); b) расположение мнимого изображения объекта в зависимости от ориентации глаз; c) увеличенный вид рисунка a), показывающий отношение между линиями, определяющими расположение мнимых изображений для различных ориентаций глаз; d) иллюстрация величин, используемых при определении различных оптических метрик (источник: архив авторов)*

Fig. 1. *Position of the virtual image I of an object* [2]: *a) path of a ray through the observatory wall; if line i passes through the eye position E, the virtual image will lie somewhere along the dotted extension of i; b) location of the virtual image of a point object; it depends upon eye orientation; c) exaggerated view of Fig. 1 (a) showing the details of the relations between the lines determining the location of the image points for various orientations of the two eyes; d) illustration of the quantities used in defining the various optical effects (source: authors' archive)*

воспринимаемого к действительному расстоянию (коэффициент ΔR) является существенным и возрастает по мере удаления подводного объекта.

Анизотропное искажение формы D характеризуется отношением расхождений размеров объекта в ортогональных направлениях и определяется как:

$$D = \frac{S_{\parallel}}{S_{\perp}}, \quad (1)$$

где $S_{\parallel}$ — относительное расхождение размеров линии, параллельной плоскости CEO «центр — глаз — объект»;

$S_{\perp}$ — относительное расхождение размеров линии, перпендикулярной плоскости CEO «центр — глаз — объект».

Величина D отражает степень различия в масштабировании объекта в двух ортогональных направлениях. При $D = 1$ масштабирование является изотропным (равномерным во всех направлениях). Отклонение D от единицы ($D \neq 1$) свидетельствует об анизотропном искажении — объект визуально воспринимается как вытянутый либо сплюснутый.

Коэффициент отношения воспринимаемого расстояния к действительному расстоянию до объекта ΔR определяется как отношение расстояния от глаз до мнимого изображения объекта (R_{ei}) к действительному расстоянию от глаз до объекта (R_{eo}):

$$\Delta R = \frac{R_{ei}}{R_{eo}}. \quad (2)$$

Значение $\Delta R = 1$ свидетельствует об отсутствии искажений в восприятии расстояния. При $\Delta R > 1$ объект воспринимается как расположенный дальше реального его положения, а при $\Delta R < 1$ — как находящийся ближе.

Метод, предложенный Троубриджем в период, предшествовавший широкому распространению численных методов, характеризуется рядом ограничений, что обусловливает актуальность проведения настоящего исследования, направленного на их преодоление. Во-первых, предложенная Троубриджем трассировка лучей реализуется в двумерной плоскости CEO, что накладывает ограничения на допустимую ориентацию глаз и не позволяет рассматривать общий трёхмерный случай формирования мнимого изображения. Во-вторых, построение мнимого изображения осуществляется посредством пересечения лучей в рамках той же плоскости, тогда как в реальной бинокулярной системе лучи, как правило, скрещиваются в пространстве, а не лежат в одной плоскости. В-третьих, метод не предусматривает учёта таких факторов, как вариативность межзрачкового расстояния (МЗР) либо произвольное пространственное положение глаз — их включение в расчёт требует полной перестройки алгоритма расчёта. В связи с этим возникает задача построения расчётной схемы, в которой положение объекта, положение обоих глаз наблюдателя и направления распространения лучей рассматриваются в единой трёхмерной системе координат.

Целью настоящей работы является разработка и численная проверка трёхмерного бинокулярного метода трассировки лучей через сферическую акриловую оболочку и определение зависимости геометрических параметров мнимого изображения от расстояния до объекта, положения наблюдателя и взаимной ориентации глаз.

Научная новизна предлагаемого метода состоит в переходе от плоской схемы формирования мнимого изображения к пространственной бинокулярной реконструкции, в которой положение мнимого изображения определяется по двум скрещивающимся лучам через геометрически заданную пару ближайших точек. В отличие от двумерного построения, такой подход позволяет непосредственно учитывать пространственное положение обоих глаз и количественно характеризовать как пространственное смещение мнимого изображения, так и пространственное рассогласование реконструированных лучей.

В качестве контрольного случая используется известная геометрия обсерватории *NEMO*, для которой полученные с применением нового метода результаты сравниваются с опубликованными расчётами Троубриджа [2]. Затем разработанный метод применяется к сферической прозрачной оболочке ОПА с наружным радиусом 1,1 м и толщиной стенки 286 мм.

Трёхмерная бинокулярная схема расчёта

Геометрия оболочки и расчётной схемы

Прозрачная оболочка моделируется в виде двух концентрических сфер с центром в точке C, характеризуемых внешним $R_{нар}$ и внутренним $R_{вн}$ радиусами. Пространство разделено на три оптические среды с соответствующими показателями преломления: морская вода или пресная вода ($n_{в.м.}$ или $n_{в.п.}$) в области $R > R_{нар}$, ПММА (n_a) в слое $R_{вн} < R < R_{нар}$ и воздух ($n_в$) в объеме $R < R_{вн}$. Объект O располагается на окружности радиуса R_{co} в плоскости XZ под углом θ к оси Z и задается координатами:

$$O = \left(R_{co} \cdot sin(\theta), 0, R_{co} \cdot cos(\theta)\right).$$

Центр условной позиции глаза E_c зафиксирован на оси X и имеет координаты $E_c = (R_{ce}, 0, 0)$. Положения реальных глаз наблюдателя — $E1$ и $E2$ — определяются путём смещения относительно E_c на величину $\pm$МЗР/2. При этом реализуются две конфигурации ориентации глаз:

— *«наилучшая» — смещение перпендикулярно плоскости CEO;*

— *«наихудшая» — смещение в плоскости CEO перпендикулярно линии CE.*

Итерационный решатель Левенберга — Марквардта

Для каждого положения глаза E_k ($k = 1, 2$) требуется определить направление луча, исходящего из точки O, при котором после двукратного преломления на сферической оболочке преломлённый луч в воздушной среде проходит через точку E_k. Данная задача формализуется как задача минимизации вектора невязки r, представляющего собой компоненту промаха, перпендикулярную направлению луча в воздушной среде ($R < R_{вн}$). Численное решение осуществляется с применением метода Левенберга — Марквардта [3; 4]. При вычислении якобиана используется фиксированный шаг конечных разностей $\varepsilon = 5{\cdot}10^{-6}$ рад; критерий сходимости задаётся условием $\|r\| < 10^{-7}$ м. В общем случае сходимость достигается за 15–30 итераций.

На каждой сферической поверхности по соотношению $\hat{n} = -\hat{P}/|P|$ определяется единичная нормаль, где P — точка пересечения луча со сферической поверхностью. Преломление света описывается законом Снеллиуса в векторной форме с обязательной проверкой условия полного внутреннего отражения $\theta_{крит}$ на поверхности границы сред «акрил — воздух», когда лучи под острым углом падения при переходе из среды с большим показателем преломления (акрил) в среду с меньшим показателем преломления (воздух) полностью отражаются обратно внутрь акрила. Для частного случая монохроматических расчётов применяются фиксированные значения показателей преломления: $n_{в.м.} = 1{,}343$, принятый в расчётах для морской воды согласно данным [5; 6], $n_{в.м.} = 1{,}33$, принятый при расчёте корпуса *NEMO* для пресной воды, и $n_a = 1{,}49$ (ПММА) при длине волны $\lambda = 550$ нм.

Трёхмерное бинокулярное мнимое изображение

Для каждого глаза после трассировки определяется выходящий из оболочки луч в параметрической форме $L_i(t) = P_i + t \cdot d_i$, $i = 1, 2$, где P_i — точки выхода луча из внутренней поверхности оболочки (при $R = R_{вн}$), а d_i — его единичный направляющий вектор. Поскольку в общем трёхмерном случае лучи $L1$ и $L2$ не обязаны пересекаться, положение бинокулярного мнимого изображения определяется через ближайшие точки двух пространственных лучей. Параметры t', s' ближайших точек определяются из условия минимума квадрата расстояния между двумя пространственными лучами:

$$(t', s') = \underset{t,\ s \geq 0}{argmin} \|(P_1 + t' \cdot d_1) - (P_2 + s' \cdot d_2)\|^2. \quad (3)$$

Соответствующие ближайшие точки имеют вид:

$$Q_1 = P_1 + t' \cdot d_1,$$

$$Q_2 = P_2 + s' \cdot d_2.$$

При непараллельных направлениях это условие эквивалентно ортогональности соединяющего отрезка обоим направлениям лучей:

$$(Q_1 - Q_2) \cdot d_1 = 0,$$

$$(Q_1 - Q_2) \cdot d_2 = 0.$$

Геометрическое положение бинокулярного мнимого изображения принимается равным середине кратчайшего отрезка, соединяющего эти точки:

$$I = (Q_1 + Q_2)/2$$

Расстояние между ближайшими точками:

$$d_{бин} = \| Q_1 - Q_2 \|,$$

характеризуется как длина кратчайшего отрезка между двумя пространственными лучами, соответствующими правому и левому глазу после прохождения сферической оболочки, то есть степень пространственной несходимости двух реконструированных лучей.

Если геометрия и оптические условия обеспечивают пересечение реконструированных лучей в одной точке, расстояние между ближайшими точками равно нулю $d_{бин} = 0$. В общем случае скрещивающихся лучей величина $d_{бин}$ характеризует их пространственную несходимость, а середина кратчайшего отрезка используется как условная оценка положения бинокулярного мнимого изображения I.

Таким образом, положение I не является точкой физического пересечения лучей. Оно представляет собой геометрический эквивалент бинокулярной локализации, определяемый симметричной точкой между ближайшими участками двух реконструированных лучей.

С точки зрения бинокулярного восприятия величина $d_{бин}$ характеризует пространственное рассогласование монокулярных направлений. При малых значениях $d_{бин}$ зрительная система, как правило, обеспечивает слияние парных мнимых изображений от обоих глаз в единое, объёмное восприятие. При увеличении рассогласования снижается точность стереоскопической оценки расстояния, при дальнейшем росте $d_{бин}$ возможны двоение в глазах либо подавление одного из монокулярных мнимых изображений. Конкретный порог слияния парных мнимых изображений от обоих глаз в единое мнимое изображение зависит от углового размера объекта, контраста и условий адаптации. В задачах инженерной оценки обзора в качестве ориентира может приниматься величина порядка долей миллиметра — единиц миллиметров.

В дальнейшем следует различать два вида отклонения. Первое $\|O - I\|$ определяется расстоянием между истинным положением объекта O и реконструированным положением I и характеризует геометрическую ошибку локализации объекта. Второе определяется величиной $d_{бин}$ и характеризует внутреннее пространственное рассогласование двух лучей, используемых для бинокулярной реконструкции. Эти величины не являются эквивалентными: малое значение $d_{бин}$ не обязательно означает отсутствие ошибки локализации мнимого изображения I, то есть не гарантирует совпадения мнимого изображения с объектом: оба луча могут быть согласованы между собой, но смещены относительно истинного направления на объект, так же как и большое смещение I относительно O не обязательно сопровождается пропорциональным увеличением $d_{бин}$.

Данная геометрическая реконструкция представляет собой трёхмерное обобщение классического 2D-метода Троубриджа. В предельном случае, когда $\mathrm{M3P} \to 0$, а плоскость CEO совпадает с плоскостью обоих лучей, новый метод строго воспроизводит построение Троубриджа, обеспечивая преемственность с двумерной схемой расчёта.

Анализ различных ориентаций глаз относительно плоскости CEO выявляет существенные различия в локализации формируемого мнимого изображения. При «наилучшей» ориентации глаз, когда линия взора глаз перпендикулярна плоскости CEO, в силу симметрии мнимое изображение располагается непосредственно в этой плоскости. В случае «наихудшей» ориентации глаз мнимое изображение, как правило, смещается за пределы плоскости CEO — данный эффект принципиально не может быть выявлен в рамках 2D-моделирования, что показывает преимущество трёхмерного описания расчётной схемы при учёте пространственных искажений.

Валидация по опубликованным данным Троубриджа

Параметры корпуса обсерватории NEMO

При сравнении с результатами Троубриджа значения показателей преломления и геометрические параметры обсерватории *NEMO* принимались равными исходным значениям, указанным в оригинальной работе.

$R_{нар} = 0{,}838$ м, $t = 63{,}5$ мм, $R_{вн} = 0{,}775$ м, $n_{в.п.} = 1{,}33$ (пресная вода), $n_a = 1{,}49$ (ПММА), $n_в = 1{,}0$ (воздух). Расстояние от центра корпуса до глаз наблюдателя принято равным $R_{ce} = 0{,}457$ м (1,5 фута). Для анализа рассмотрены объектные окружности радиусами R_{co} и соответствующими значениям 3, 5, 7, 10, 20, 30 и 100 футов, что в метрической системе составляет 0,914; 1,52; 2,13; 3,05; 6,1; 9,14 и 30,5 м соответственно. Угловая координата θ варьировалась в диапазоне от 0° до 180° с шагом 20°. Значение MЗР задано равным 64 мм. Часть полученных результатов и их сравнение приведены в таблице 1, средние абсолютные ошибки (MAE) определения ΔR, D, $\Delta\theta$ приведены в таблице 2.

Таблица 1. *Сравнение оптических метрик для $R_{ce} = 0{,}457$ м (1,5 фута) по данным Троубриджа* [2] *(2D-метод) с результатами бинокулярного трёхмерного метода (3D-метод) настоящей работы*

Table 1. *Comparison of optical metrics for $R_{ce} = 0.457$ m (1.5 ft) based on data from Trowbridge* [2] *(2D method) and results from the binocular 3D method (3D method) presented in this work*

$\theta°$	ΔR «наихудшая» (2D)	ΔR «наихудшая» (3D)	ΔR «наилучшая» (2D)	ΔR «наилучшая» (3D)	$\Delta\theta°$ «наихудшая» (2D)	$\Delta\theta°$ «наихудшая» (3D)	D «наихудшая» (2D)/(3D)
$R_{co} = 0{,}914$ м (3 фута)							
0°	0,93	0,924	0,93	0,945	0,0	1,8	1,00/1,00
40°	0,92	0,907	0,94	0,933	1,0	2,4	0,99/0,99
80°	0,93	0,920	0,95	0,940	1,0	1,9	1,00/1,00
120°	0,96	0,945	0,97	0,958	0,0	1,6	1,01/1,01
180°	0,98	0,961	0,98	0,966	0,0	1,9	1,00/1,00
$R_{co} = 1{,}52$ м (5 футов)							
0°	0,74	0,735	0,74	0,750	0,0	1,8	1,00/1,00
40°	0,71	0,687	0,74	0,723	3,0	3,3	0,99/0,99
80°	0,70	0,671	0,77	0,741	5,0	5,0	1,00/1,00
140°	0,82	0,784	0,84	0,816	2,0	2,1	1,02/1,01
180°	0,86	0,832	0,86	0,844	0,0	1,8	1,00/1,00
$R_{co} = 3{,}05$ м (10 футов)							
0°	0,51	0,470	0,52	0,487	0,25	2,1	1,00/1,00
40°	0,48	0,443	0,51	0,468	4,73	5,1	1,01/1,00
80°	0,45	0,413	0,53	0,488	7,39	7,8	1,00/1,00
120°	0,53	0,490	0,59	0,546	5,60	5,9	1,05/1,01
180°	0,64	0,590	0,64	0,592	0,09	2,0	1,00/1,00

Таблица 2. *Средние абсолютные ошибки (MAE) определения ΔR, D, $\Delta\theta$*
Table 2. *Mean absolute errors (MAE) for the determination of ΔR, D, and $\Delta\theta$*

R_{co}	$MAE(\Delta R)$ «наихудшая»	$MAE(\Delta R)$ «наилучшая»	$MAE(D)$	$MAE(\Delta\theta)$ «наихудшая»
0,914 м (3 фута)	0,037	0,032	0,010	1,47°
1,52 м (5 футов)	0,071	0,061	0,023	3,31°
3,05 м (10 футов)	0,084	0,060	0,025	4,53°

Анализ источников систематических ошибок

Для выявления возможных физических, параметрических и численных источников полученных значений средних абсолютных ошибок (MAE) определения коэффициента ΔR для всех рассматриваемых значений R_{co} и θ последовательно проведён комплекс экспериментов по четырём направлениям:

*1) оценка влияния межзрачкового расстояния (*МЗР *64 → 1 мм);*

2) оценка влияния неопределённости показателей преломления ($n \pm 0{,}005$);

3) оценка численной погрешности сходимости решения алгоритма трассировки (допуск решателя Левенберга — Марквардта последовательно уменьшался с 10^{-5} до 10^{-8});

4) воспроизведение контрольной геометрии, максимально близкой к постановке Троубриджа.

Результаты первых трёх экспериментов приведены в таблице 3. Ни один из указанных в таблице 3 факторов не вносит значимого вклада в среднюю абсолютную ошибку (MAE) определения ΔR.

Таблица 3. *Средние абсолютные ошибки $MAE(\Delta R)$*
Table 3. *Mean absolute errors $MAE(\Delta R)$*

Эксперимент	Диапазон варьирования	$MAE(\Delta R)$
Межзрачковое расстояние	64 → 1 мм	$< 0{,}001$
Показатели преломления	$n \pm 0{,}005$	$< 0{,}002$
Допуск решателя Левенберга — Марквардта	$10^{-5} \rightarrow 10^{-8}$	величина ΔR остаётся стабильной вплоть до 6-го значащего знака

В четвёртом контрольном эксперименте средняя абсолютная ошибка $MAE(\Delta R)$ для предложенной трёхмерной реконструкции составила 3,2–6,0 % (для «наилучшей» ориентации глаз), тогда как для реализованной в расчёте двумерной процедуры реконструкции Троубриджа $MAE(\Delta R) \sim 5{,}2$–$12{,}5$ %. В рассмотренных контрольных конфигурациях реконструкция по середине кратчайшего отрезка между двумя пространственными лучами обеспечивает меньшее расхождение с табличными значениями Троубриджа.

Таким образом, в рамках выполненных контрольных экспериментов основным фактором различия результатов является различие между двумерной конструкцией мнимого изображения в плоскости CEO и трёхмерной реконструкцией по ближайшим точкам двух пространственных лучей. При этом полученный результат следует рассматривать именно

как результат проведённой численной проверки, а не как доказательство отсутствия других возможных источников расхождений.

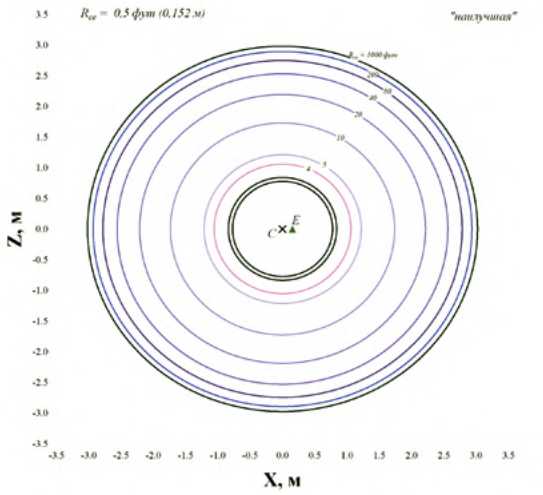
Ненулевые значения угловых расхождений (расхождений по направлению) $\Delta\theta$ для «наилучшей» ориентации в 3D-методе (в диапазоне 1,8–2,4°) обусловлены нарушением симметрии, присущей двумерной схеме расчёта. Данный эффект связан со смещением точки $E1$ на 32 мм относительно плоскости CEO, что в рамках 2D-расчёта не учитывается и формально гарантирует $\Delta\theta = 0$.

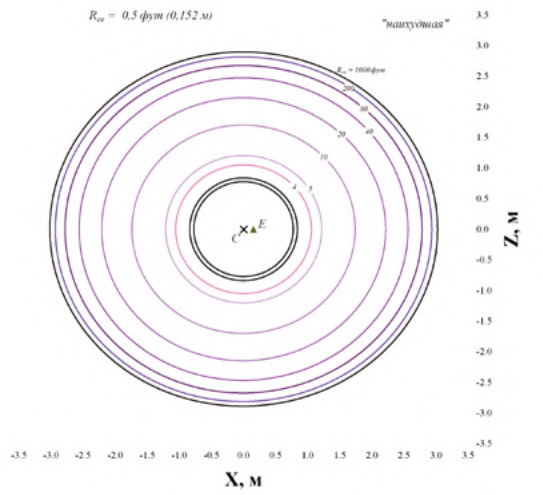
Анизотропное искажение формы объекта D демонстрирует хорошее согласование с данными, приведёнными в работе [2]: $MAE(D)$ не превышает 2,5 % во всём исследованном диапазоне параметров. Полученное согласование показывает, что переход от двумерной к трёхмерной геометрической реконструкции не приводит к существенному изменению оценки анизотропного масштабирования объекта.

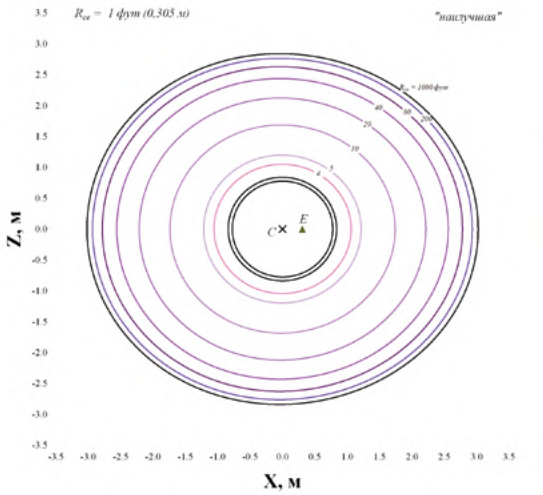
Локусы мнимых изображений

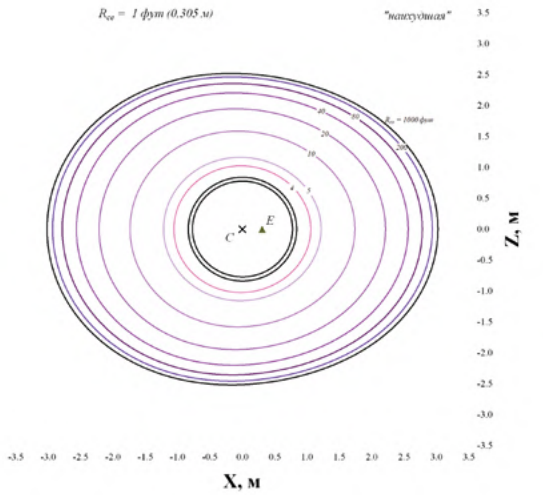
Воспроизведение локусов для корпуса NEMO с толщиной стенки t = 63,5 мм

Для сопоставления с результатами [2] на рисунке 2 представлены локусы мнимых изображений для корпуса *NEMO*, полученные трёхмерным бинокулярным методом при тех же значениях R_{ce} и R_{co}, что и на рисунке 5 работы Троубриджа. МЗР принято равным 64 мм.









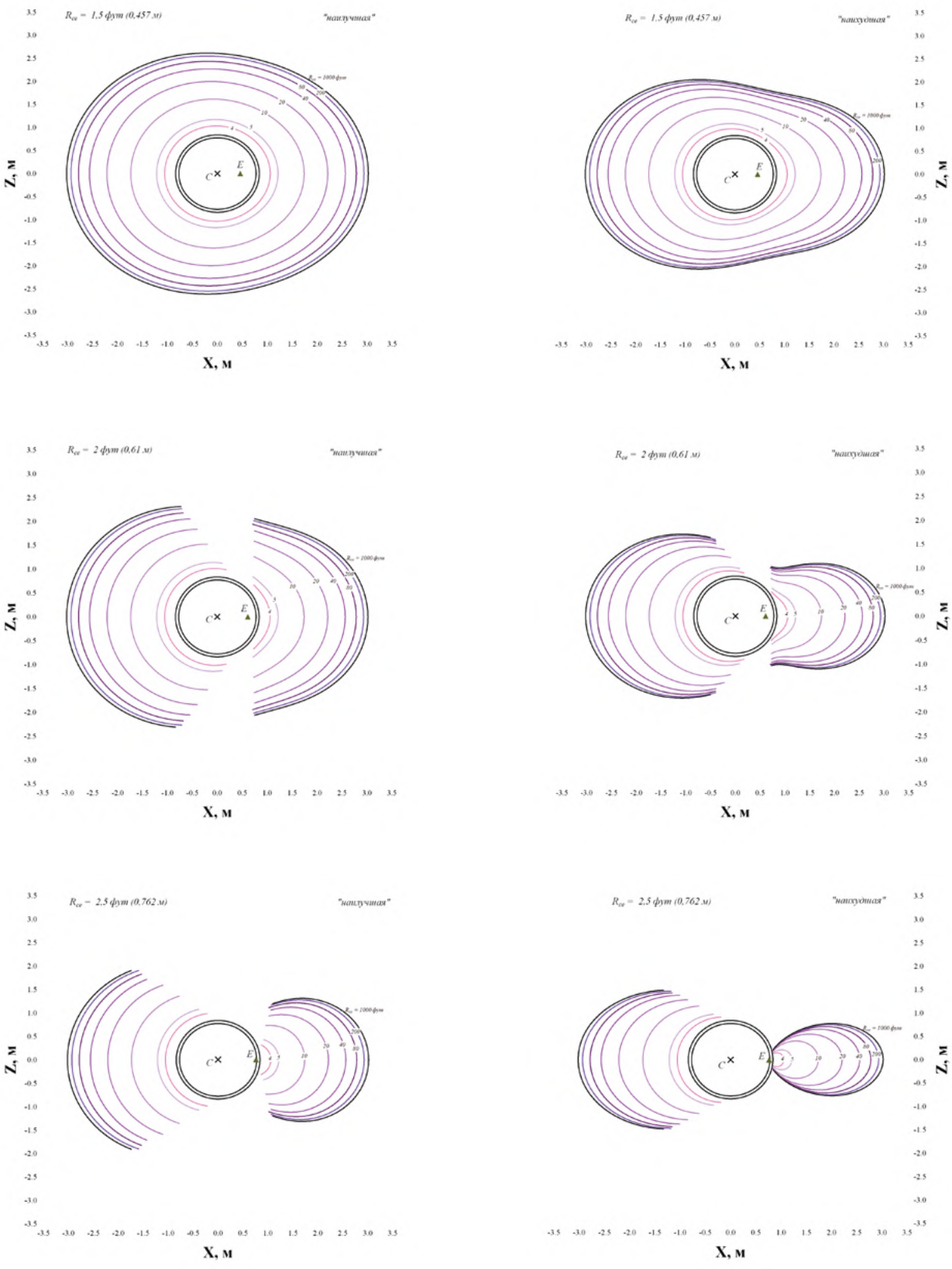


Рис. 2. *Локусы мнимых изображений корпуса NEMO с $t = 63{,}5$ мм, $R_{ce} = 0{,}152$; 0,305; 0,457; 0,61; 0,762 м (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 фута) для $R_{co} = 1{,}22$; 1,52; 3,05; 6,1; 12,19; 24,38; 60,96; 304,8 м (4, 5, 10, 20, 40, 80, 200, 1000 футов).* МЗР = *64 мм (источник: архив авторов)*

Fig. 2. *Loci of virtual images of the NEMO hull with $t = 63.5$ mm, $R_{ce} = 0.152$, 0.305, 0.457, 0.61, 0.762 m (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 ft) for $R_{co} = 1.22$, 1.52, 3.05, 6.1, 12.19, 24.38, 60.96, 304.8 m (4, 5, 10, 20, 40, 80, 200, 1000 ft).* IPD = *64 mm (source: authors' archive)*

Существенным отличием результатов, полученных с использованием нового метода расчёта, является наличие разрывов локусов мнимых изображений при $R_{ce} = 0{,}61$; 0,762 м. Наблюдаемые разрывы обусловлены невозможностью прохождения части лучей через внутреннюю границу корпуса вследствие эффекта полного внутреннего отражения. Когда объект находится близко к линии ($\theta \to 0°$ или $\theta \to 180°$), луч от объекта к глазу входит в оболочку почти по касательной. После преломления на внешней поверхности угол внутри акрилового корпуса остаётся большим — при трассировке ко второй (внутренней) поверхности раздела сред луч ударяется в неё под углом, превышающим $\theta_{крит} = arcsin(n_в/n_a) = arcsin$ (1,0/1,49) ≈ 42,2°, и полностью отражается, вследствие чего преломление и прохождение луча в воздушную полость корпуса не реализуется.

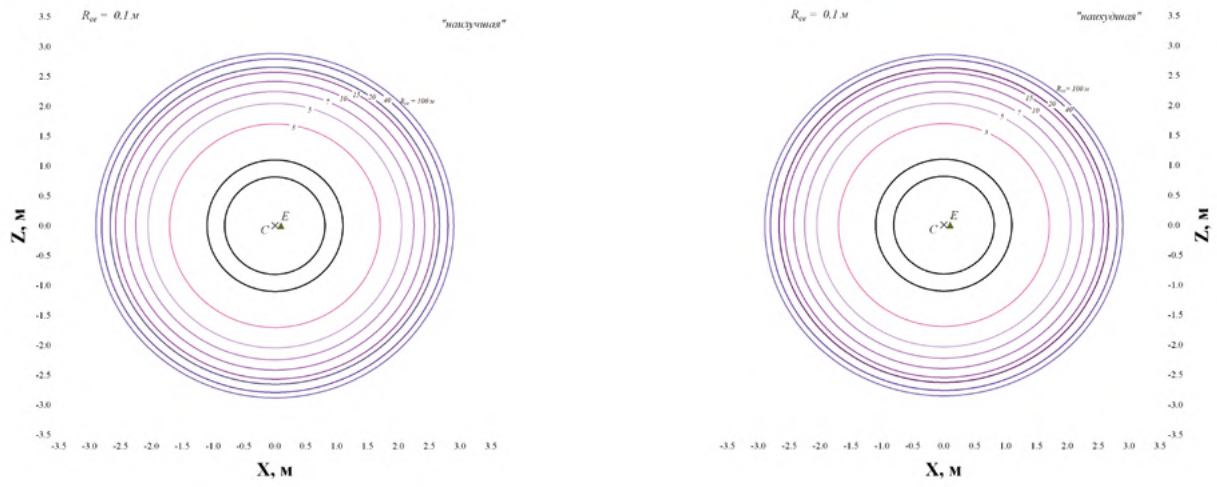
В областях, где условие полного внутреннего отражения не выполняется, рассчитанные локусы качественно согласуются с геометрическими закономерностями, представленными Троубриджем в своей работе: наблюдается смещение мнимых изображений к центру сферы и сохраняется асимметрия между «наилучшей» и «наихудшей» ориентациями глаз. В отличие от исходного графического построения, новый метод явно проверяет условие выхода луча на границе раздела сред «акрил — воздух» и исключает лучи, для которых происходит полное внутреннее отражение. Поэтому разрывы локусов следует интерпретировать с учётом физической доступности соответствующих направлений наблюдения, а не только как различие между расчётными алгоритмами.

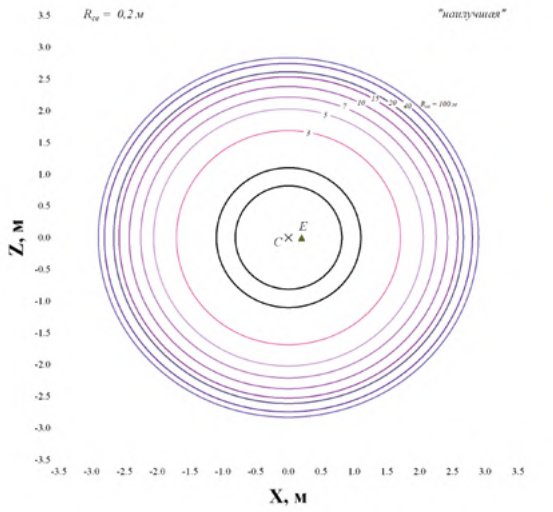
Ширина секторов полного внутреннего отражения возрастает с увеличением R_{ce} и R_{co}: при $R_{ce} = 0{,}61$ м она составляет порядка ±17...20° в окрестности $\theta = 0°$ и $\theta = 180°$, при $R_{ce} = 0{,}762$ м она — порядка ±40°.

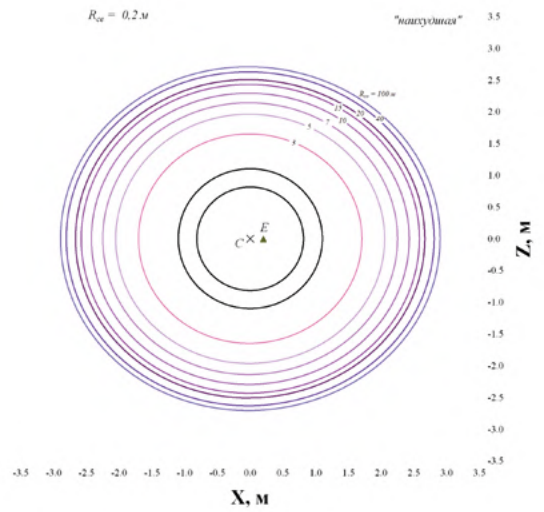
Трёхмерный алгоритм воспроизводит геометрию локусов [2] вне зон полного внутреннего отражения и дополнительно выявляет области, в которых наблюдение объекта через сферическую оболочку физически невозможно ввиду эффекта полного внутреннего отражения лучей на границе раздела сред «акрил — воздух».

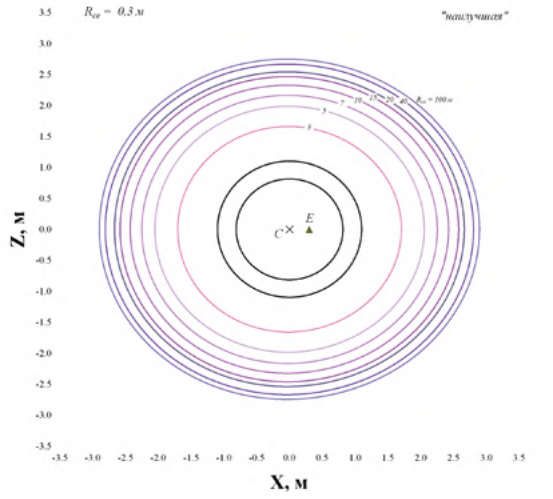
Воспроизведение локусов для корпуса ОПА с толщиной стенки t = 286 мм

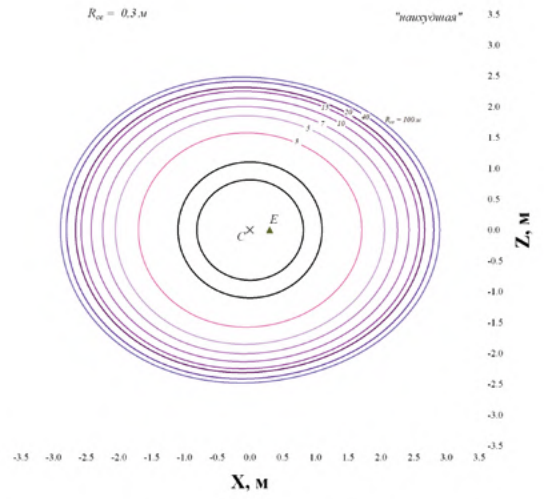
На рисунке 3 показаны локусы мнимых изображений для корпуса ОПА с $R_{нар} = 1{,}1$ м, $R_{вн} = 0{,}814$ м, $t = 286$ мм при значениях $n_{в.м.} = 1{,}343$ (морская вода), $n_a = 1{,}49$ (ПММА), $n_в = 1{,}0$ (воздух) при $R_{ce} = 0{,}1$; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 м для $R_{co} = 3$, 5, 7, 10, 15, 20, 40 и 100 м. МЗР = 64 мм. Значение $R_{ce} = 0{,}6$ м соответствует принятому в расчётной геометрии положению глаз, наиболее близкому к положению пилота в рассматриваемой конфигурации прочного корпуса обитаемого подводного аппарата (ОПА) (см. рис. 4).

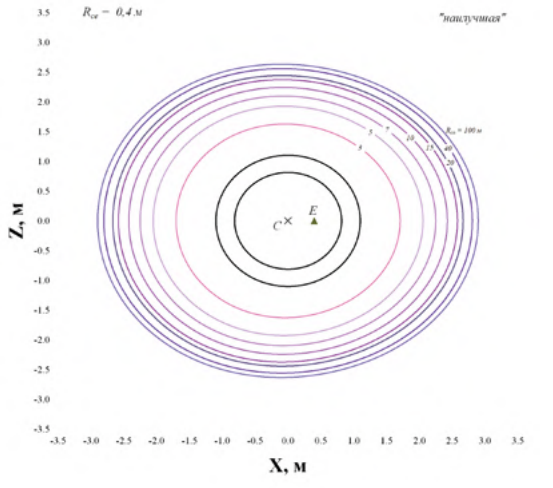


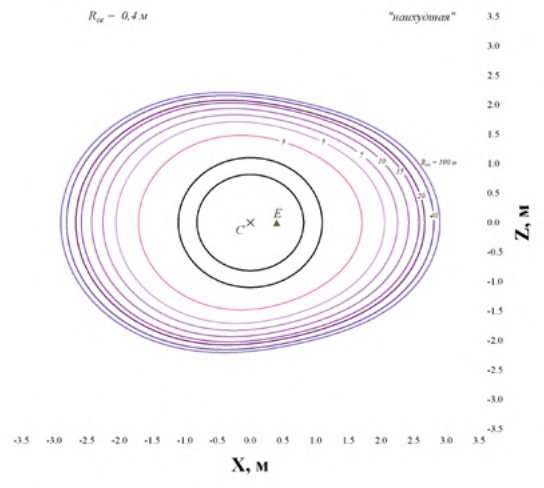

R_{ce} = 0,2 м
"наилучшая"
Z, м
X, м


R_{ce} = 0,2 м
"наихудшая"
Z, м
X, м


R_{ce} = 0,3 м
"наилучшая"
Z, м
X, м


R_{ce} = 0,3 м
"наихудшая"
Z, м
X, м


R_{ce} = 0,4 м
"наилучшая"
Z, м
X, м


R_{ce} = 0,4 м
"наихудшая"
Z, м
X, м

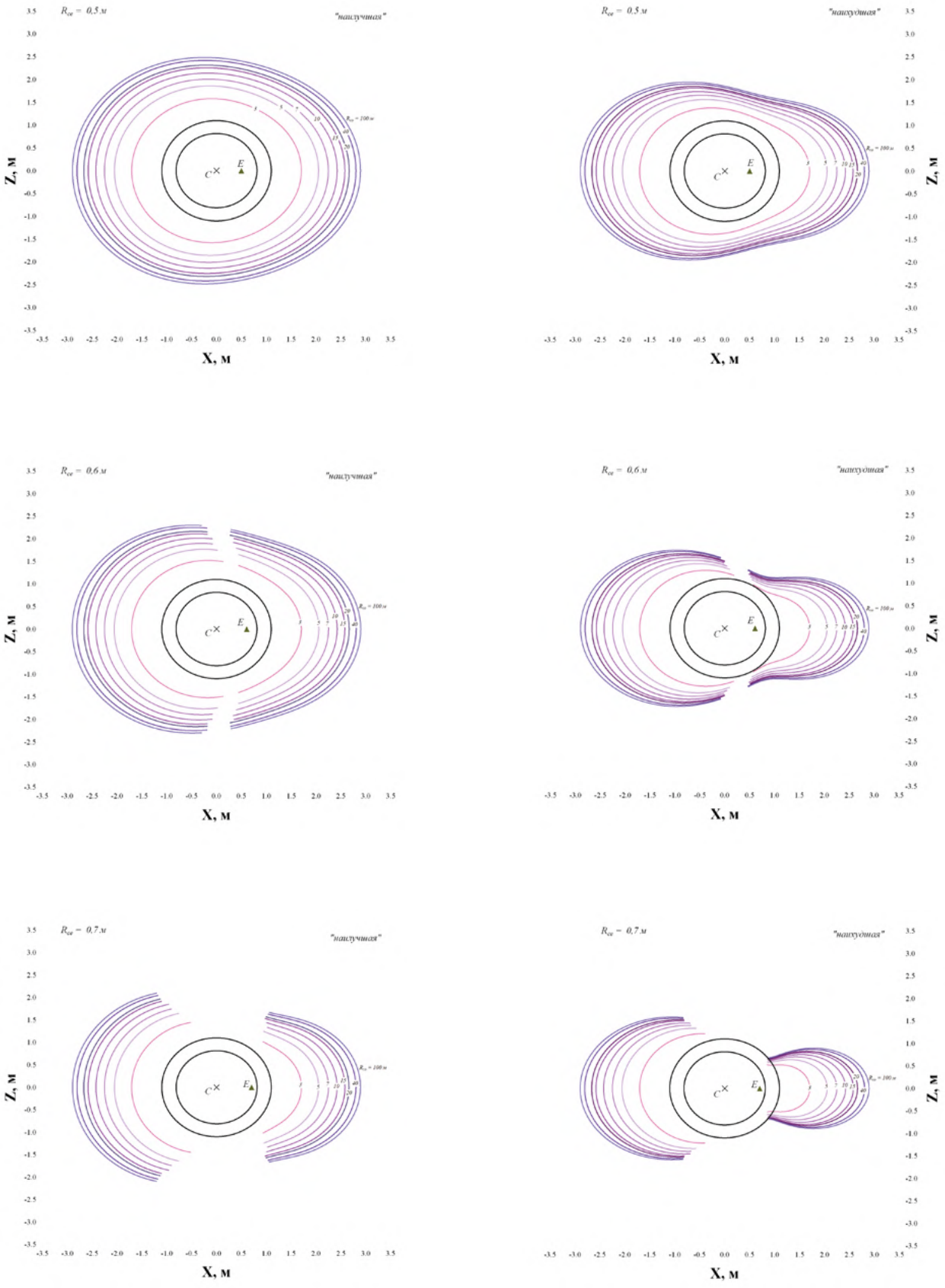


Рис. 3. *Локусы мнимых изображений корпуса ОПА с $t = 286$ мм, $R_{ce} = 0{,}1$; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 и 0,7 м для $R_{co} = 3$, 5, 7, 10, 15, 20, 40 и 100 м.* МЗР = *64 мм (источник: архив авторов)*

Fig. 3. *Loci of virtual images of the MSV's hull with $t = 286$ mm, $R_{ce} = 0.1$, 0.2, 0.2, 0.2, 0.5, 0.6, 0.7 m for $R_{co} = 3$, 5, 7, 10, 15, 20, 40, 100 m.* IPD = *64 mm (source: authors' archive)*

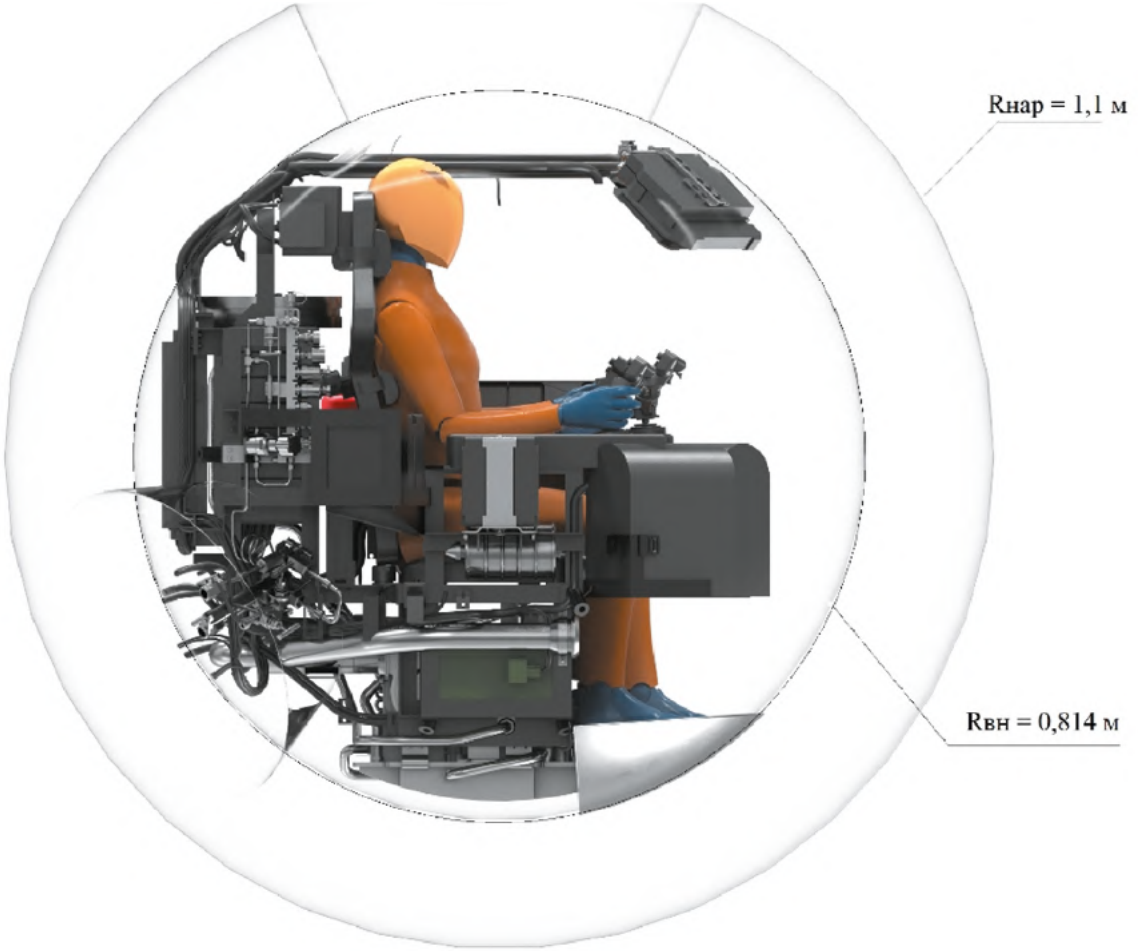


Рис. 4. *Посадка пилота внутри корпуса ОПА с толщиной стенки 286 мм при $R_{ce} = 0{,}6$ м* [1] *(источник: архив авторов)*

Fig. 4. *Positioning of the pilot inside the MSV's hull with a wall thickness of 286 mm, at $R_{ce} = 0.6$ m (source: authors' archive)*

Основные качественные закономерности формирования локусов сохраняются для обоих корпусов с толщиной стенки $t = 286$ мм и $t = 63{,}5$ мм. Более толстая стенка создаёт более выраженные петли локусов при промежуточных $R_{co} = 3$–7 м. При смещении глаз к стенке корпуса пространственная деформация локусов нарастает нелинейно, а кривые для дальних объектов ($R_{co} \geq 40$ м) приобретают петлеобразную форму с «прогибом внутрь». Уменьшение $R_{ce} \leq 0{,}20$–$0{,}25$ м, напротив, снижает выраженность этой деформации. Для типичного положения наблюдателя $R_{ce} = 0{,}6$ м и удалённого объекта ($R_{co} = 10$ м) коэффициент ΔR не превышает 0,18–0,21 для «наилучшей» ориентации глаз, то есть воспринимаемое расстояние составляет около 18–21 % истинного, что соответствует занижению примерно в 4,8–5,6 раз (см. таблицу 4). При одинаковом расстоянии $R_{ce} = 0{,}457$ м для корпуса с толщиной стенки 286 мм характерны более выраженные искажения в восприятии расстояния (меньшие значения коэффициента ΔR). Это объясняется большим оптическим путём в акриле и большим суммарным преломлением. Угловые расхождения (расхождения по направлению) $\Delta\theta$ минимальны в окрестности поперечного направления $\theta \approx 90°$ независимо от R_{ce} и R_{co}: кривые мнимых изображений для «наилучшей» ориентации проходят практически вдоль радиального направления из центра C. Полученная закономерность согласуется с результатами, приведёнными для корпуса *NEMO* [2], и характеризует геометрию формирования мнимого изображения в рассмотренном диапазоне параметров.

[1] Богданов А. А., Жданов Р. С., Устинов В. С., Фокин С. Г., Кичко С. А. и др. Прозрачный прочный корпус обитаемого подводного аппарата // Патент РФ № 2796434, заявл. 11.07.2022: опубл. 23.05.2023, бюл. № 15.

Таблица 4. *Значения 1/ΔR при $R_{ce} = 0{,}6$ м (во сколько раз отношение действительного расстояния к расстоянию до мнимого изображения превышает единицу)*

Table 4. *Values of 1/ΔR for $R_{ce} = 0.6$ m (the factor by which the ratio of the actual distance to the distance to the virtual image exceeds unity)*

θ°	$R_{co} = 3$ м		$R_{co} = 5$ м		$R_{co} = 7$ м		$R_{co} = 10$ м		$R_{co} = 15$ м		$R_{co} = 20$ м		$R_{co} = 40$ м		$R_{co} = 100$ м	
	«лучшая»	«худшая»	«лучшая»	«худшая»	«лучшая»	«худшая»	«лучшая»	«худшая»	«лучшая»	«худшая»	«лучшая»	«худшая»	«лучшая»	«худшая»	«лучшая»	«худшая»
0	1,9	2,3	2,7	3,6	3,6	4,9	4,8	6,9	6,9	10	9	13	17	26	43	65
20	2,0	2,8	3,0	4,4	3,9	6,0	5,4	8,4	7,7	12	10	16	19	32	47	79
40	2,2	3,0	3,2	4,6	4,1	6,1	5,6	8,3	8,0	12	10	16	20	31	49	75
60	2,2	2,6	3,1	3,7	4,0	4,9	5,4	6,5	7,7	9,3	10	12	19	23	46	56
80	2,2	2,2	3,0	3,1	3,9	4,0	5,2	5,3	7,3	7,5	9,5	10	18	18	44	44
100	2,2	2,2	3,0	3,1	3,9	4,0	5,2	5,3	7,3	7,5	9,5	10	18	18	44	45
120	2,2	2,7	3,1	3,9	4,0	5,0	5,4	6,7	7,7	9,5	10	12	19	24	46	57
140	2,2	3,2	3,2	4,8	4,1	6,4	5,6	8,7	8,0	13	10	17	20	32	49	79
160	2,0	2,9	3,0	4,6	3,9	6,3	5,4	8,8	7,7	13	10	17	19	34	47	83
180	1,9	2,4	2,7	3,8	3,6	5,1	4,8	7,1	6,9	11	9	14	17	27	43	68

Локусы, рассчитанные с применением нового метода для заданной пары (R_{ce}, ориентация глаз), могут рассматриваться как первичные данные для геометрической калибровки размещаемых внутри корпуса ОПА видеокамер, для забортного размещения которых в своих отдельных гермокорпусах с акриловыми иллюминаторами уже существуют и широко применяются различные методы расчёта [7–9]. Зная положение мнимого изображения I, полученное из расчётной локусной карты, в дальнейшем можно построить обратное геометрическое преобразование для компенсации выявленного искажения. Количественная оценка эффективности такой коррекции требует отдельного моделирования и экспериментальной проверки и в настоящей работе не проводится.

Для корпуса ОПА с толщиной стенки $t = 286$ мм при $R_{ce} = 0{,}6$ м рассчитана величина $\max\limits_{\varphi} d_{бин}$ — максимум бинокулярного рассогласования лучей по углу ориентации линии глаз φ относительно плоскости CEO (см. рис. 5). Зависимость от угловой координаты объекта θ для объектных дистанций $R_{co} = 3$, 5, 7, 10, 20, 40 и 100 м имеет характерный двугорбый вид: максимумы расположены в окрестности $\theta \approx 40°$ и $\theta \approx 140°$, а вблизи $\theta \approx 90°$ (направление вдоль оси «центр корпуса — глаз») величина $d_{бин}$ близка к нулю. Амплитуда пиков возрастает с увеличением R_{co} и выходит на плато порядка 10 мм при $R_{co} \geq 40$ м. При ориентациях «наилучшая» и «наихудшая» ($\varphi = 0°$ и $\varphi = 90°$) рассогласование практически отсутствует вследствие симметрии либо компланарности лучей, наибольшие значения $d_{бин}$ достигаются при промежуточных $\varphi \approx 45°...55°$. Полученные значения $d_{бин}$ (единицы миллиметров) характеризуют геометрическое рассогласование реконструированных лучей.

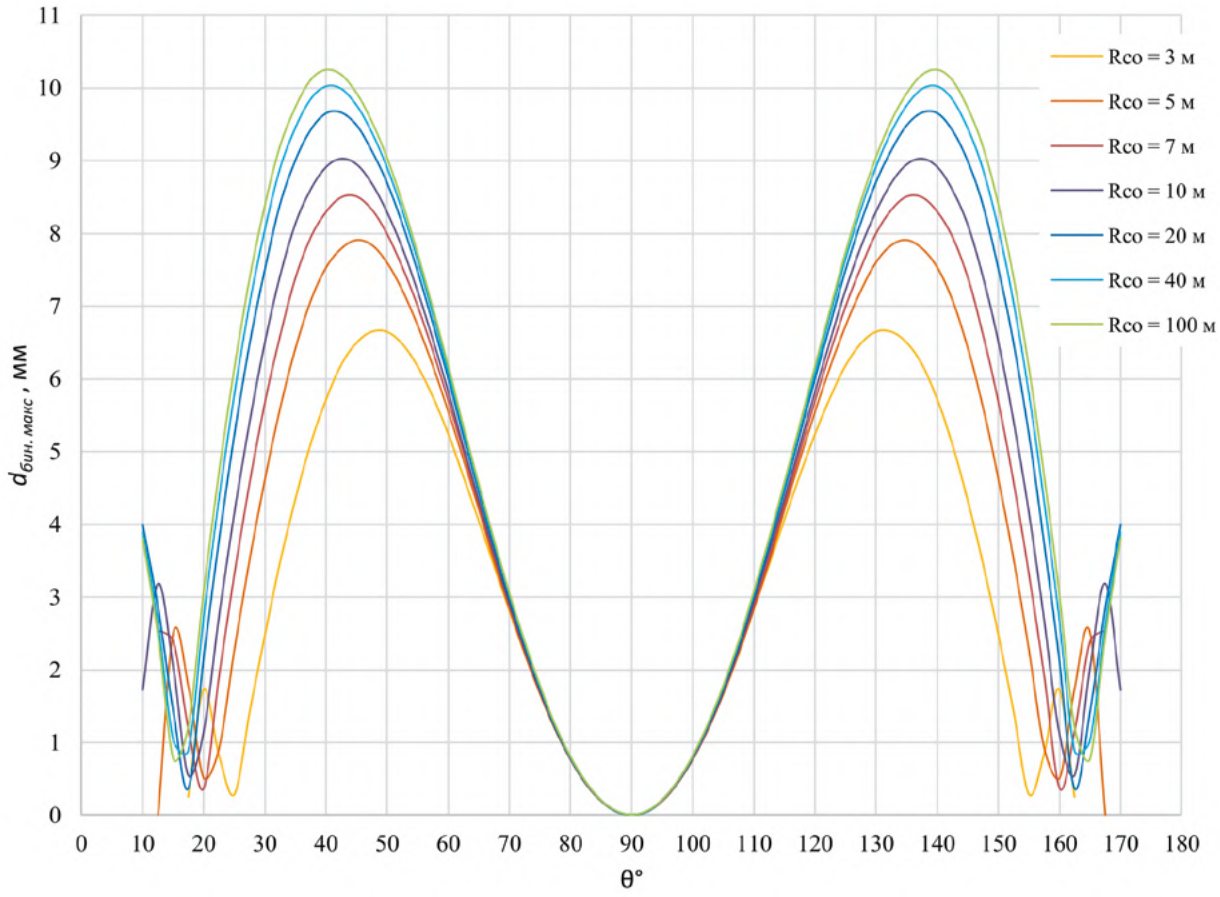


Рис. 5. *Максимальные значения $d_{бин}$ по ориентации глаз φ для корпуса ОПА с толщиной стенки $t = 286$ мм при $R_{ce} = 0{,}6$ м (источник: архив авторов)*

Fig. 5. *Maximum values of $d_{бин}$ as a function of eye orientation φ for an MSV's hull with a wall thickness $t = 286$ mm, at $R_{ce} = 0{,}6$ m (source: authors' archive)*

Их связь с устойчивостью бинокулярного слияния парных мнимых изображений от обоих глаз в единое мнимое изображение требует отдельного анализа с учётом углового рассогласования, дистанции наблюдения, характеристик зрительной системы человека. Однако эти значения указывают на сектора поля обзора, где стереоскопическая оценка дистанции до объекта может быть менее надёжна даже при отсутствии полного внутреннего отражения.

Преимущества предложенного метода расчёта

К основным особенностям метода расчёта относятся пространственная постановка положения объекта и обоих глаз, реконструкция мнимого изображения по ближайшим точкам скрещивающихся лучей и возможность совместного варьирования геометрических и оптических параметров оболочки. Разработанный расчётный метод описывает геометрическую локализацию мнимого изображения, а не полную модель зрительного восприятия пилотом ОПА наблюдаемого в реальной подводной среде объекта. Количественная проверка выполнена для двух рассматриваемых геометрических конфигураций и не рассматривается как исчерпывающая численная верификация расчётных схем всех возможных пространственных положений наблюдателя и не оценивает влияние самой водной среды как поглощающей и рассеивающей среды, её ослабление и спектральную фильтрацию светового потока, что в практическом плане видится целесообразным выполнить в рамках дальнейшего развития предложенной расчётной схемы.

Предложенный метод не использует симметрию сферической оболочки явным образом и потенциально может быть расширен на плоские иллюминаторы [10] и более сложные геометрии оболочек, включая эллипсоидальные поверхности и многослойные конструкции.

На основании выполненного анализа могут быть сформулированы следующие качественные выводы для их практического применения пилотами ОПА.

В секторах поля обзора, где $d_{бин}$ остаётся малым, бинокулярная оценка положения внешних объектов сохраняет устойчивость. Основными источниками ошибок в этих зонах являются величины ΔR и D (кажущееся приближение объектов к наблюдателю и слабая анизотропия формы). Использование стереоскопических признаков глубины здесь наиболее надёжно.

Рост $d_{бин}$ (вблизи границ секторов полного внутреннего отражения, при больших $R_{со}$ и при ориентации глаз, близкой к «наихудшей») снижает надёжность стереоскопической оценки дистанции. В указанных направлениях возрастает вероятность ошибок в определении дальности, затрудняется слияние парных мнимых изображений от обоих глаз в единое мнимое изображение и повышается зрительная нагрузка. В таких секторах поля обзора целесообразно ориентироваться на приборную информацию (звуковизоры, гидролокаторы кругового и секторного обзора, забортные видеокамеры).

В угловых секторах полного внутреннего отражения лучи до глаз не доходят: объект не наблюдается ни монокулярно, ни бинокулярно. Для пилота это означает наличие «мёртвых» направлений обзора, особенно выраженных при расположении глаз ближе к стенке корпуса и при наблюдении удалённых объектов. Положение таких зон следует учитывать при выборе рабочей позы и организации визуального контроля.

Уменьшение $R_{се}$ (смещение глаз к центру сферы) сужает секторы полного внутреннего отражения и, как правило, уменьшает пространственное рассогласование лучей. При необходимости длительного наблюдения в широком поле обзора положение ближе к центру корпуса оптически предпочтительнее работы в непосредственной близости к оболочке корпуса обитаемого подводного аппарата.

Карты распределения $d_{бин}$ совместно с локусами мнимых изображений и зонами полного внутреннего отражения могут применяться при компоновке рабочих мест, размещении приборов и обосновании зон гарантированного визуального контакта.

Таким образом, критерий $d_{бин}$ дополняет анализ величин ΔR, D и зон полного внутреннего отражения и служит показателем качества бинокулярного канала при оценке обзора из сферического прочного корпуса обитаемого подводного аппарата за окружающей подводной средой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе предложена разработанная авторами трёхмерная бинокулярная расчётная модель трассировки лучей через прозрачный сферический прочный корпус, учитывающая пространственное положение объекта и обоих глаз наблюдателя, последовательное преломление на внешней и внутренней сферических поверхностях и реконструкцию бинокулярного мнимого изображения для скрещивающихся пространственных лучей. Положение мнимого изображения определяется как середина кратчайшего отрезка между двумя лучами, что позволяет сохранить геометрическую постановку задачи в общем трёхмерном случае.

Валидация по опубликованным данным для контрольной геометрии корпуса обсерватории *NEMO* дала значение средней абсолютной ошибки $MAE(\Delta R)$ порядка 3,2–8,4 % и $MAE(D)$ не более 2,5 %. Контрольная реконструкция по середине кратчайшего отрезка даёт меньшее значение $MAE(\Delta R)$ при сравнении с табличными данными Троубриджа, чем реализация его собственной 2D-процедуры. Дополнительные эксперименты показали, что изменение межзрачкового расстояния и показателей преломления в рассмотренных диапазонах оказывает малое влияние на определение коэффициента ΔR, а изменение допуска численного решателя не изменяет результат до шестого значащего знака.

Применение разработанного метода при расчёте оптических метрик корпуса с наружным радиусом 1,1 м и толщиной стенки 286 мм показало, что для типового положения глаз $R_{се} = 0{,}6$ м и удалённых объектов ($R_{со} = 10$ м) отношение воспринимаемого расстояния к действительному расстоянию до объекта ΔR не превышает 0,18–0,21 для «наилучшей» ориентации глаз, а выраженность пространственной деформации локусов снижается по мере приближения положения глаз пилота к центру корпуса.

Предложенный метод обеспечивает единый расчётный подход к анализу оптических

искажений сферических прозрачных корпусов обитаемых подводных аппаратов в трёхмерной геометрии.

Полученные локусы и оптические метрики могут использоваться для оценки зон гарантированного визуального контакта пилотов ОПА при наблюдении за окружающей подводной обстановкой, а также как первичные данные для последующей разработки геометрических карт коррекции систем визуализации.

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. Фокин С. Г., Богданов А. А., Жданов Р. С., Кичко С. А., Поляшов А. А. Исторический обзор развития обитаемых подводных аппаратов с прозрачными акриловыми прочными корпусами // Гидрокосмос. 2023. Т. 1, 2. № 3–4. С. 93–108. DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2023.2.2.005
2. Trowbridge T. Optical Properties of a Spherical Plastic Underwater Observatory NEMO. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1971, 93(2), pp. 710–716. DOI: https://doi.org/10.1115/1.3427987
3. Levenberg K. A Method for the Solution of Certain Non-linear Problems in Least Squares Quarterly of Applied Mathematics. 1944, vol. 2, no. 2, pp. 164–168. DOI: https://doi.org/10.1090/qam/10666
4. Marquardt D. W. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics. 1963, vol. 11, no. 2, pp. 431–441.DOI: https://doi.org/10.1137/0111030
5. Roswell W. A., Halikas G. The Index of Refraction of Seawater. Technical Report. Scripps Institution of Oceanography. 1976, SIO Ref. No. 76-1, 121 p.
6. McNeil G. T. Metrical Fundamentals of Underwater Lens System. Optical Engineering. 1977, vol. 16, issue 2, pp. 128–139. DOI: https://doi.org/10.1117/12.7972089
7. Kunz C., Singh H. Hemispherical Refraction and Camera Calibration in Underwater Vision. Conference: OCEANS 2008, Quebec City, QC, Canada, 15–18 September 2008. 7 p. DOI: https://doi.org/10.1109/OCEANS.2008.5151967
8. Treibitz T., Schechner Y., Kunz C., Singh H. Flat Refractive Geometry. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2012, vol. 34, issue 1, pp. 51–65. DOI: https://doi.org/10.1109/TPAMI.2011.105
9. Chen J., Jia G., Li X., Li Y., Wang X. A Fast Calibration Method for Intrinsic Parameters of Underwater Cameras Based on Refraction Model. Journal of Unmanned Undersea Systems. 2025, vol. 33, issue 6, pp. 1057–1064. DOI: https://doi.org/10.11993/j.issn.2096-3920.2025-0064
10. Pranesh B., Sathianarayanan D. Effect of Refraction and Field of View of Acrylic Viewports of Shallow Water Spherical Pressure Hull. Maritime Technology and Research. 2024, vol. 6, no. 1, 13 p. DOI: https://doi.org/10.33175/mtr.2024.266792

REFERENCES

1. Fokin S. G., Bogdanov A. A., Zhdanov R. S., Kichko S. A., Polyashov A. A. Istoricheskij obzor razvitiya obitaemy`x podvodny`x apparatov s prozrachny`mi akrilovy`mi prochny`mi korpusami [Historical Overview of the Development of Manned Submersibles with Transparent Acrylic Hulls]. Hydrocosmos. 2023, vol. 1, 2, no. 3–4, pp. 93–108. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2023.2.2.005
2. Trowbridge T. Optical Properties of a Spherical Plastic Underwater Observatory NEMO. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 1971, 93(2), pp. 710–716. DOI: https://doi.org/10.1115/1.3427987
3. Levenberg K. A Method for the Solution of Certain Non-linear Problems in Least Squares Quarterly of Applied Mathematics. 1944, vol. 2, no. 2, pp. 164–168. DOI: https://doi.org/10.1090/qam/10666
4. Marquardt D. W. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics. 1963, vol. 11, no. 2, pp. 431–441. DOI: https://doi.org/10.1137/0111030
5. Roswell W. A., Halikas G. The Index of Refraction of Seawater. Technical Report. Scripps Institution

of Oceanography. 1976, SIO Ref. No. 76-1, 121 p.
6. McNeil G. T. Metrical Fundamentals of Underwater Lens System. Optical Engineering. 1977, vol. 16, issue 2, pp. 128–139. DOI: https://doi.org/10.1117/12.7972089
7. Kunz C., Singh H. Hemispherical Refraction and Camera Calibration in Underwater Vision. Conference: OCEANS 2008, Quebec City, QC, Canada, 15–18 September 2008. 7 p. DOI: https://doi.org/10.1109/OCEANS.2008.5151967
8. Treibitz T., Schechner Y., Kunz C., Singh H. Flat Refractive Geometry. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2012, vol. 34, issue 1, pp. 51–65. DOI: https://doi.org/10.1109/TPAMI.2011.105
9. Chen J., Jia G., Li X., Li Y., Wang X. A Fast Calibration Method for Intrinsic Parameters of Underwater Cameras Based on Refraction Model. Journal of Unmanned Undersea Systems. 2025, vol. 33, issue 6, pp. 1057–1064. (In Chinese) DOI: https://doi.org/10.11993/j.issn.2096-3920.2025-0064
10. Pranesh B., Sathianarayanan D. Effect of Refraction and Field of View of Acrylic Viewports of Shallow Water Spherical Pressure Hull. Maritime Technology and Research. 2024, vol. 6, no. 1, 13 p. DOI: https://doi.org/10.33175/mtr.2024.266792

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Богданов Алексей Александрович, главный специалист, главный инженер проекта НИЦ «Курчатовский институт» (Россия, 123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1); e-mail: Bogdanov_AA@nrcki.ru

Жданов Роман Сергеевич, заместитель главного конструктора проекта, руководитель группы АО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения „Малахит"» (Россия, 196135, г. Санкт-Петербург, Фрунзе ул., д. 18.); e-mail: info-ckb@malachite-spb.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksej Aleksandrovich Bogdanov, Chief Specialist, Chief Project Engineer, National Research Center "Kurchatov Institute" (pl. Akademika Kurchatova, d. 1, Moscow, 123182, Russia); e-mail: Bogdanov_AA@nrcki.ru

Roman Sergeevich Zhdanov, Deputy Chief Designer of the project, Head of the group at Joint Stock Company "Malakhit" St. Petersburg Marine Bureau of Mechanical Engineering, (ul. Frunze, d. 18, St. Petersburg, 196135, Russia); e-mail: info-ckb@malachite-spb.ru

Поступила в редакцию	27.09.2026	**Received**	27.09.2026
Прошла рецензирование	12.10.2026	**Revised**	12.10.2026
Принята к публикации	25.10.2026	**Accepted**	25.10.2026

МЕДИЦИНА | MEDICINE

Оригинальная статья | Original article

DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2026.85.62.006 УДК 53.081

Единицы измерения концентрации газов в водолазном деле: ОБЗОР

М. В. Краморенко[1], А. А. Ярков[2]

[1] *ООО «А-РГО», г. Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия*
kramorenko21@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены единицы измерения концентраций газов и методика их взаимного пересчёта при оценке качества воздуха для водолазов. При оценке результатов измерений на контрольно-измерительном (аналитическом) оборудовании возникает необходимость перевода единиц измерения концентрации газа (мг/м³, ppm, % об. д.). Важно правильно провести конвертацию значений из одной системы единиц измерения в другую.

В статье приведены основные единицы измерения, используемые при оценке качества воздуха для дыхания водолазов и приготовления дыхательных газовых смесей, и их взаимный пересчёт в разных системах измерения.

Ключевые слова единицы измерения, концентрация газов, загрязняющие вещества, вредные вещества

Для цитирования Краморенко М. В., Ярков А. А. Единицы измерения концентрации газов в водолазном деле: ОБЗОР. *Гидрокосмос.* 2026;4(2):87–92. https://doi.org/10.26175/URC.2026.85.62.006

Gas Concentration Units of Measurement: A Review

Michael V. Kramorenko[1], Alexander A. Yarkov[2]

[1] *LLC "A-RGO", St. Petersburg, Russia*
[2] *S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia*
kramorenko21@mail.ru

Abstract

When evaluating measurement results obtained using monitoring and analytical instruments, it is often necessary to convert gas concentration values between different units, such as mg/m³ and ppm, ppm and mg/m³, volume percent (vol. %) and mg/m³, or mg/m³ and volume percent (vol. %). Accurate conversion between these units is essential for the correct interpretation of measurement results.

This article reviews the principal units of measurement used to assess the quality of breathing air for divers and to prepare breathing gas mixtures, and presents methods for converting values between different measurement systems.

Keywords units of measurement, gas concentration, pollutants, hazardous substances, breathing gas mixtures, diving medicine

For citation Kramorenko. M. V., Yarkov A. M. Gas Concentration Units of Measurement: A Review. *Hydrocosmos*. 2026;4(2):87–92. https://doi.org/10.26175/URC.2026.85.62.006

Водолазы для дыхания и приготовления дыхательных газовых смесей (ДГС) используют атмосферный воздух, состав которого приведён в Приложении А, таблица 2 ГОСТ 4401-81 «Атмосфера стандартная. Параметры»[1].

В воздухе, используемом для дыхания водолазов или для приготовления ДГС, могут содержаться загрязняющие[2] и вредные[3] вещества. Использование для дыхания и приготовления ДГС загрязнённого воздуха может привести к возникновению отравлений и заболеваний у водолазов. Важно правильно произвести пересчёт полученных значений для сравнения с требованиями к предельно допустимой концентрации вредных веществ в воздухе, часто представленными в разных системах измерений [1].

Классы чистоты сжатого воздуха по твёрдым частицам, загрязнениям водой или маслами приведены в Национальном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 8573-1-2016 «Сжатый воздух. Часть 1. Загрязнения и классы чистоты»[4]. Загрязнение воздуха не должно превышать норм (величин), предъявляемых к классу чистоты 1 (по величине и количеству твёрдых частиц) и к классу чистоты 2 (по влажности и содержанию воды в жидкой фазе).

Требования к предельно допустимой концентрации вредных веществ в воздухе изложены в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»[5], которые утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г., и в РД 31.84.01-90 «Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Часть 2. Медицинское обеспечение водолазов»[6].

Определение концентрации вредных веществ в воздухе может производиться двумя методами контроля[7]:

а) отбор проб и проведение анализа «на месте»;

б) отбор проб «на месте» и проведение анализа в лаборатории.

При проведении анализа «на месте» или в лаборатории используется контрольно-измерительное (аналитическое) оборудование:

— *индикаторная трубка для газов (по изменению цвета);*

— *недисперсионный инфракрасный абсорбционный спектрометр (NDIR);*

— *хемилюминесцентный детектор (CLD).*

[1] ГОСТ 4401-81 Атмосфера стандартная. Параметры. М.: Изд-во стандартов, 2004. 180 с.

[2] **Загрязняющее вещество** — вещество или смесь веществ и микроорганизмов, которые в количестве и (или) концентрациях, превышающих установленные для химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов нормативы, оказывают негативное воздействие на окружающую среду, жизнь, здоровье человека. Федеральный закон от 04.05.1999 N 96–ФЗ Об охране атмосферного воздуха.

[3] **Вредное вещество** — вещество, которое при контакте с организмом человека в случае нарушения требований безопасности может вызывать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе работы, так и в отдалённые сроки жизни настоящего и последующих поколений. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

[4] ГОСТ Р ИСО 8573-1-2016 Сжатый воздух. Часть 1. Загрязнения и классы чистоты. М.: Стандартинформ, 2019. 9 с.

[5] СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2. М.: ЦЕНТРМАГ, 2024. 736 с.

[6] РД 31.84.01–90 Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Ч. 2. Медицинское обеспечение водолазов. М.: Мортехинформреклама, 1992. 208 с.

[7] Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 8573-6-2005 Сжатый воздух. Часть 6. Методы контроля загрязнения газами. М.: Стандартинформ, 2005. 11 с.

Контрольно-измерительное оборудование может определять концентрацию вредного газа в следующих единицах измерения:

— *% об. д. (процент объёмной доли);*

— *мг/м³ (массовая концентрация);*

— *ppm (млн.⁻¹) (объёмная или молярная доля);*

— *моль/дм³ (количество вещества на кубический дециметр).*

Наиболее распространённой единицей измерения концентраций веществ в воздухе является объёмная доля, которая обозначается % об. д.

% об. д. является величиной, равной отношению объёма какого-либо вещества в газовой смеси к объёму всей пробы. Объёмная доля газа обозначается в процентах (%).

Единица измерения мг/м³ (от англ. mass concentration, «массовая концентрация») используется при обозначении концентрации контролируемого компонента в воздухе рабочей зоны, в атмосферном воздухе, а также в дымовых газах.

Объёмная (молярная) доля газов и различных веществ является относительной величиной и обозначается в ppm или в млн.⁻¹.

ppm (от англ. parts per million, «частей на миллион») — единица измерения концентрации газов и других относительных величин, аналогичная по смыслу промилле и проценту. Единицу ppm (млн.⁻¹) удобно применять для оценки малых концентраций. Например, 1 ppm = 0,0001 % или 1 % = 10 000 ppm.

моль/дм³ (количество вещества на кубический дециметр) — единица измерения молярной концентрации смеси газов. Она показывает количество молей определённого вещества, содержащегося в одном кубическом дециметре газовой смеси.

Например, при использовании прибора для проверки качества сжатого воздуха ПТС «Тест-комплект» (см. рис. 1) результаты получают с помощью индикаторных трубок (см. рис. 2) в единицах измерения **ppm** для диоксида углерода, монооксида углерода и окислов азота.

В Приложении 10 РД 31.84.01-90: «Инструкция по проведению анализа и оценке качества воздуха, предназначенного для дыхания водолазов» приведены предельно допустимые концентрации вредных веществ (окиси углерода и окислов азота) в воздухе, предназначенном для дыхания на различных глубинах и в барокамере (при проведении анализа в условиях нормального давления), в единицах измерения мг/м³ (мг/л), а диоксида углерода — в % (об. д.)[8].



Рис. 1. *Прибор ПТС «Тест-комплект» для проверки качества сжатого воздуха (источник: архив авторов)*

Fig. 1. *PTS "Test-Kit" device for checking compressed air quality(source: authors' archive)*



Рис. 2. *Детекторные трубки для газов: диоксида углерода, монооксида углерода и окислов азота (источник: архив авторов)*

Fig. 2. *Detector tubes for gases: carbon dioxide, carbon monoxide, and nitrogen oxides (source: authors' archive)*

Полученные в ppm результаты анализа воздуха необходимо перевести в требуемые руководящим документом единицы измерения. Перевод и взаимный пересчёт единиц измерения концентрации газов приведены в таблице 1.

[8] РД 31.84.01-90 Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Ч. 2. Медицинское обеспечение водолазов. М.: Мортехинформреклама, 1992. 208 с.

Таблица 1. *Единицы измерения концентраций газов и их взаимный пересчёт*

Table 1. *Units of measurement for gas concentrations and their interconversion*

Ca \ Cx	г/м³	мг/м³	моль/дм³	% (об. д.)	дм³/м³ (частей на тысячу)	ppm, см³/м³ (частей на миллион)	ppb, мм³/м³ (частей на миллиард)
г/м³	1	$Ca \times 10^{3}$	$\frac{Ca \times 10^{-3}}{M}$	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6 \times 10^{-1}}{M \times P}$	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6}{M \times P}$	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6 \times 10^{6}}{M \times P}$	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6 \times 10^{9}}{M \times P}$
мг/м³	$Ca \times 10^{-3}$	1	$\frac{Ca \times 10^{-6}}{M}$	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6 \times 10^{-4}}{M \times P}$	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6 \times 10^{-3}}{M \times P}$	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6}{M \times P}$	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6 \times 10^{-3}}{M \times P}$
моль/дм³	$Ca \times M \times 10^{3}$	$Ca \times M \times 10^{6}$	1	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6 \times 10^{2}}{P}$	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6 \times 10^{3}}{P}$	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6 \times 10^{6}}{P}$	$\frac{Ca \times T \times 8312{,}6 \times 10^{9}}{P}$
% (об. д.)	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12 \times 10^{-2}}{T}$	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12 \times 10}{T}$	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12 \times 10^{-5}}{T}$	1	$Ca \times 10$	$Ca \times 10^{4}$	$Ca \times 10^{7}$
дм³/м³ (частей на тысячу)	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12 \times 10^{-3}}{T}$	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12}{T}$	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12 \times 10^{-6}}{T}$	$Ca \times 10^{-1}$	1	$Ca \times 10^{3}$	$Ca \times 10^{6}$
ppm, см³/м³ (частей на миллион)	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12 \times 10^{-6}}{T}$	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12 \times 10^{-3}}{T}$	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12 \times 10^{-9}}{T}$	$Ca \times 10^{-4}$	$Ca \times 10^{-3}$	1	$Ca \times 10^{3}$
ppb, мм³/м³ (частей на миллиард)	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12 \times 10^{-9}}{T}$	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12 \times 10^{-6}}{T}$	$\frac{Ca \times M \times P \times 0{,}12 \times 10^{-12}}{T}$	$Ca \times 10^{-7}$	$Ca \times 10^{-6}$	$Ca \times 10^{-3}$	1

Примечания:

Ca — числовое значение концентрации в заданных единицах;
Cx — числовое значение концентрации в искомых единицах;
M — молекулярная масса газа (сумма масс атомов каждого элемента, входящего в состав молекулы, с учётом количества атомов в ней, например:
$M_{CO2} = 44{,}01$; $M_{CO} = 28{,}01$; $M_{NO2} = 46{,}01$);
P — общее давление газовой смеси, Па;
T — температура, K.

Notes:

Ca — numerical value of the concentration in the given units;
Cx — numerical value of the concentration in the desired units;
M — molecular mass of the gas (the sum of the atomic masses of each element present in the molecule, accounting for the number of atoms of each; for example:
$M_{CO2} = 44.01$; $M_{CO} = 28.01$; $M_{NO2} = 46.01$);
P — total pressure of the gas mixture, Pa;
T — temperature, K.

Таблица 2. *Единицы измерения концентраций газов и их взаимный пересчёт*
Table 2. *Units of measurement for gas concentrations and their interconversion*

Ca \ Cx	% (об. д.)	мг/м³	ppm
% (об. д.)	1	Ca × M × 415,71	Ca × 10^4
мг/м³	$\frac{Ca \times 24{,}05526 \times 10^{-4}}{M}$	1	$\frac{Ca \times 24{,}05526}{M}$
ppm	Ca × 10^{-4}	Ca × M × 0,04157	1

В международной системе измерений (СИ) основными единицами являются м — метр (длина), кг — килограмм (масса), моль (количество вещества), кельвин (термодинамическая температура) и другие, что трудно применимо для измерения малых величин [2]. В практике измерений обычно используют изменённые дробные значения, показывающие величины, удобные для восприятия:

1 г/м³ = 1 мг/л;

1 мг/м³ = 1 мкг/дм³ = 1 мкг/л;

1 моль/дм³ = 1 моль/л;

1 см³/м³ = 1 мл/м³

В таблице 2 приведён перевод и взаимный пересчёт значений концентрации газов в различных системах измерений (% об. д., мг/м³ и ppm) для стандартных условий согласно ГОСТ 2939-63[9]: температура окружающей среды +20 °С (293 К), давление 760 мм рт. ст. (1 атм. = 101 кПа).

Для примера ниже приведён результат проверки качества воздуха на содержание монооксида углерода (CO) с помощью прибора для проверки качества сжатого воздуха ПТС «Тест-комплект» с последующим пересчётом из ppm в мг/м³.

Содержание CO составило 45 ppm.

$$Cx = 45 \times 0{,}04157 \times 28{,}01 = 52{,}4 \text{ мг/м}^3.$$

Полученный результат существенно превышает ПДК монооксида углерода (20 мг/м³) для воздуха, предназначенного для дыхания водолазов по РД 31.84.01-90. Применение такого воздуха не допустимо при проведении водолазных работ [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В практике водолазных работ при оценке качества воздуха традиционно используют три единицы измерения концентрации газов: % об. д., мг/м³ и ppm. Для перевода и взаимного пересчёта результатов концентрации газов в различных единицах измерения целесообразно воспользоваться таблицами 1 и 2.

Корректный перевод значений измерений позволяет предотвратить отравления водолазов и обеспечить точность приведения измерений к нормативным требованиям ПДК (РД 31.84.01–90, СанПиН 1.2.3685–21).

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.

[9] ГОСТ 2939-63 Газы. Условия для определения объёма. М.: Изд-во стандартов, 1988. 3 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комарова И. В., Краморенко М. В., Ярков А. М. Газы и газовые смеси для водолазов // Гидрокосмос. 2024. Т. 2, 1. № 5–6. С. 111–122. DOI: https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-111-122
2. Ахметханова, Я. И. Единицы измерений международной системы (си) как фундамент современной науки, техники и экономики // Мавлютовские чтения : Материалы XX Всероссийской молодёжной научной конференции. В 9-ти томах, Уфа, 12–15 мая 2026 года. Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2026. С. 258–262.
3. Комарова И. В., Фокин С. Г., Ярков А. А., Жданов Р. С., Удовиченко И. А. Актуальность учёта эндогенного монооксида углерода в обитаемых подводных аппаратах: ОБЗОР // Гидрокосмос. 2025. Т. 3, 2. № 11–12. С. 114– 125. DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2025.21.78.007

REFERENCES

1. Komarova I. V., Kramorenko M. V., Yarkov A. M. Gazy` i gazovy`e smesi dlya vodolazov [Gases and Gas Mixtures for Divers]. Hydrocosmos. 2024, vol. 2, 1, no. 5–6, pp. 111–122. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-111-122
2. Axmetxanova, Ya. I. *Edinicy izmerenij mezhdunarodnoj sistemy` (si) kak fundament sovremennoj nauki, texniki i e`konomiki* [Units of Measurement of the International System (SI) as a Foundation for Modern Science, Technology, and the Economy]. *Mavlyutovskie chteniya : Materialy` XX Vserossijskoj molodyozhnoj nauchnoj konferencii. V 9-ti tomax, Ufa, 12–15 maya 2026 goda* [Mavlyutov Readings: Proceedings of the XX All-Russian Youth Scientific Conference. In 9 volumes, Ufa, May 12–15, 2026]. Ufa, Ufimskij universitet nauki i texnologij, 2026, pp. 258–262. (In Russ.)
3. Komarova I. V., Fokin S. G., Yarkov A. A., Zhdanov R. S., Udovichenko I. A. *Aktual`nost` uchyota e`ndogennogo monooksida ugleroda v obitaemy`x podvodny`x apparatax: OBZOR* [Relevance of Accounting for Endogenous Carbon Monoxide in Manned Submersibles. A Review]. Hydrocosmos. 2025, vol. 3, 2, no. 11–12, pp. 114–125. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2025.21.78.007

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства согласно 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:
Краморенко М. В. — разработка концепции, методология, создание черновика рукописи, редактирование рукописи;
Ярков А. М. — проведение исследования, создание черновика рукописи, редактирование 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:
Kramorenko M. V. — conceptualization, methodology, writing — original draft, writing — review & editing;
Yarkov A. M. — investigation, writing — original draft, writing — review & editing.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Краморенко Михаил Вячеславович, кандидат технических наук, водолазный специалист, ООО «А-РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А); e-mail: kramorenko21@mail.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7260-256X

Ярков Александр Андреевич, студент 3 курса, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова. (Россия, 194044, Санкт–Петербург, ул. Академика Лебедева д. 6.); e-mail: Alexanderlarkov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mikhail Vyacheslavovitch Kramorenko, candidate of technical sciences, diving specialist, Limited Liability Company "A-RGO" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia); e-mail: kramorenko21@mail.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7260-256X

Alexander Andreevitch Yarkov, 3nd year student of the Military Medical Academy named after S. M. Kirov (6 Akademika Lebedeva str., St. Petersburg, 194044, Russia); e-mail: Alexanderlarkov@yandex.ru

Поступила в редакцию	11.10.2026	**Received**	11.10.2026
Прошла рецензирование	19.10.2026	**Revised**	19.10.2026
Принята к публикации	01.11.2026	**Accepted**	01.11.2026

МЕДИЦИНА | MEDICINE

Обзорная статья | Review article

DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2026.23.90.007 УДК 614.88 : 359.6

Взгляды терапевта относительно некоторых аспектов первой помощи и этапной медицинской помощи на Военно-Морском Флоте

А. В. Чумаков

Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия
aleksandrchumakov14@gmail.com

Аннотация

Последовательно рассмотрены несколько тем, посвящённых актуальным проблемам оказания первой помощи и этапной медицинской помощи на Военно-Морском Флоте (ВМФ):

1) тактическая медицина на ВМФ;

2) особенности оказания первой помощи, медицинской помощи раненым, больным и поражённым внутри гермообъектов, находящихся под повышенным давлением;

3) оказание первой помощи и экстренной (неотложной) медицинской помощи начальных этапов на плавсредствах и в воде;

4) неотложная помощь при потере сознания в воде;

5) аспекты этапной медицинской эвакуации пострадавших на ВМФ.

Данные темы для флота имеют отчётливую специфику, тем более когда речь идёт о боевой терапевтической травме. В исследовании и аналитике терапевтических аспектов первой помощи и этапной медицинской помощи на ВМФ особое место занимает научный, образовательный и издательский проект «Нерей» (©). Авторские материалы проекта сегодня публикуются в базовых руководствах по военной и морской медицине.

Ключевые слова Военно-Морской Флот, первая помощь, этапная медицинская помощь, терапевтические аспекты, новые издания и проекты

Для цитирования Чумаков А. В. Взгляды терапевта относительно некоторых аспектов первой помощи и этапной медицинской помощи на Военно-Морском Флоте. *Гидрокосмос.* 2026;4(2):93–105. https://doi.org/10.26175/URC.2026.23.90.007

A Therapist's Perspective on Selected Aspects of First Aid and Staged Medical Care in the Navy

Aleksandr V. Chumakov

S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia
aleksandrchumakov14@gmail.com

Abstract Several topics concerning current challenges in the provision of first aid and staged medical care in the Navy are examined in turn: (1) tactical medicine in the Navy; (2) specific considerations for providing first aid and medical care to wounded, ill, and injured personnel inside pressurized compartments; (3) the provision of first aid and initial emergency medical care aboard watercraft and in the water; (4) emergency care for loss of consciousness in the water; and (5) aspects of staged medical evacuation of casualties in the Navy. These topics have distinct fleet-specific characteristics, particularly in cases of combat-related medical conditions and injuries. The scientific, educational, and publishing project Nereus (©) occupies a special place in research and analysis of the therapeutic aspects of first aid and staged medical care in the Navy. Materials produced by the project's author are now published in foundational reference works on military and naval medicine.

Keywords Navy, first aid, staged medical care, therapeutic aspects, new publications and projects

For citation Chumakov A. V. A Therapist's Perspective on Selected Aspects of First Aid and Staged Medical Care in the Navy. *Hydrocosmos*. 2026;4(2):93–105. https://doi.org/10.26175/URC.2026.23.90.007

ВВЕДЕНИЕ

Статья предлагает охватить взглядом проблему оказания первой помощи и этапной медицинской помощи в Вооружённых Силах Российской Федерации (ВС РФ). Общепринятые схемы такой помощи описывают действия военнослужащих, медицинских подразделений и организаций сухопутных войск, по умолчанию подразумевая универсальность для всех войсковых видов и родов. Касательно ВМФ за подобным подходом кроются невежество, шаблонный формализм, отсутствие компетенций и реальных данных у авторов, понимания места, роли и перспектив развития флота в современном мире. Это наша общая проблема, поскольку положение вещей, трезвое видение будущего и постулированные задачи нередко сильно расходятся. Тем не менее приходится осмыслить имеющиеся активы и инициативно предлагать решения. Для ВМФ необходимо понимание специфики морской службы как таковой, нюансов воздействия морских сред на перевязочные материалы и лекарственные средства, особенностей организации первой помощи и этапной медицинской помощи с учётом имеющихся сил и средств, актуального нозологического спектра. Опасно бездумное внедрение типовых алгоритмов тактической медицины, пока не получены однозначные ответы на многие вопросы, специфические для объектов морской инфраструктуры и техники (в их числе — границы зон опасности, кто и где может выполнять инфузии, отвечают ли реальные возможности помощи перечню предписанных действий). Кроме того, по задумке, тактическая медицина преимущественно работает с боевой хирургической патологией. Но на ВМФ широко представлена и терапевтическая травма. Предлагаем коснуться лишь нескольких проблем, изложенных в видении военно-морского терапевта.

Интродукция к терминологии и сути статьи

Обращаем внимание, что статья в первую очередь посвящена аспектам первой помощи и этапной медицинской помощи на Военно-Морском Флоте. У гражданских медицинских специалистов закономерно возникают вопросы:

1. Почему речь идёт об этапной медицинской помощи, ведь в современной законодательной базе Министерства здравоохранения РФ такое понятие отсутствует?

2. Неужели предлагаемые автором рассуждения эфемерны и не имеют для гражданской морской медицины никакого практического смысла?

Действительно, мы не фокусируемся на современной медицинской нормативно-правовой базе, в частности не ссылаемся на Федеральный закон от 21.11.2011 г. № 323-ФЗ, в положениях которого изложены виды, формы и условия оказания медицинской помощи.

Сегодня медицинская помощь в лечебных организациях гражданского здравоохранения осуществляется в виде первичной медико-санитарной и специализированной (включая высокотехнологичную) медицинской помощи в экстренной, неотложной и плановой формах. Этот порядок вещей привычен для широкой медицинской общественности, действующей в поле современной экономической модели и архитектуры государственной системы здравоохранения.

В основу же системы оказания медицинской помощи в войсках положен этапный принцип. Вот эти этапы:

1) первая помощь — оказывается в порядке само- и взаимопомощи (военнослужащими, санитарами и медицинскими специалистами, мирными гражданами в зоне боевых действий, на берегу и в море);

2) доврачебная помощь — оказывается фельдшером (на берегу, плавсредствах, малых судах);

3) первая врачебная помощь — оказывается врачами, с постановкой диагноза, поддержанием жизни, применением хирургического принципа damage control, первичной сортировкой (на берегу, крупных кораблях и судах, в барокомплексах и пр.);

4) квалифицированная медицинская помощь — оказывается квалифицированными медицинскими специалистами (врачами), но при отсутствии у них специального, в том числе высокотехнологичного, оборудования (на крупных кораблях, в гарнизонных стационарах);

5) специализированная (в том числе высокотехнологичная) медицинская помощь (корабельной группой специализированной медицинской помощи, в крупных береговых стационарах);

6) санаторно-курортное лечение и медицинская реабилитация (в соответствующих береговых организациях).

Этапная эвакуация эффективна при массовых санитарных потерях в ходе боевых действий, в экстремальных условиях службы, в том числе и морской. Обоснованное поступательное движение раненых, больных и поражённых по этапам, качественная их сортировка по предназначению — залог этой эффективности.

Современная военно-политическая обстановка сопряжена с реальными угрозами для всех без исключения граждан РФ. Как на военном, так и на гражданском флотах морской поход, гидротехнические работы, подводное погружение — мероприятия, сопряжённые с особым риском для здоровья и жизни их участников. И на ВМФ эти мероприятия безальтернативно рассматриваются как боевая служба. Гражданский же флот традиционно вовлекается в опасные дальние, в том числе кругосветные и арктические, морские походы, глубоководные работы и спасательные операции. Особенно высоки риски техногенных аварий и катастроф, вооружённых атак на портовую инфраструктуру, мирные суда и подводные аппараты. И алгоритмы этапной помощи, используемые на ВМФ, полностью применимы и высоко эффективны в экстремальных условиях и для флота гражданского. Немаловажно, что в военное время действие гражданского медицинского законодательства утрачивает силу, актуальными становятся распоряжения старших войсковых медицинских начальников и алгоритмы войсковой (военно-морской) медицины.

В Вооружённых Силах РФ первая помощь в концепции тактической медицины до недавнего времени рассматривалась преимущественно военно-полевой хирургией, главным образом ориентируясь на раневую и травматическую болезнь. Мы же акцентируем внимание на феномене именно терапевтической травмы, на проблематике первой помощи при острой терапевтической патологии на флоте, таким образом переосмысливая и дополняя базовую концепцию тактической медицины (но не принципы первой помощи) применительно к особенностям и реалиям морской службы. Представляется необходимым и важным ознакомить как военных, так и гражданских врачей флота с проблематикой первой помощи применительно к ВМФ, вовлечь этих специалистов в продуктивную дискуссию касательно алгоритмов помощи и медицинского обеспечения на кораблях, судах, в гидробарокомплексах и так далее.

Сравнению подходов к оказанию помощи в военном и гражданском здравоохранении посвящены многочисленные современные литературные источники. В военное время лечебно-эвакуационные мероприятия выполняются по этапному принципу, и всем крайне важно знать его основы. К слову, советская гражданская медицина, построенная на базе военного здравоохранения, также исповедовала идеологию этапов.

Современное же гражданское медицинское законодательство в значительной степени опирается на финансово-экономическую модель, применимую для конкретных уровней оказания помощи в мирное время — в условиях страховой и частной медицины, федеральной, территориальной (региональной) и муниципальной градации, стандартов и рекомендаций.

Нюансы военно-медицинского подхода к помощи раненым, больным и поражённым не ограничиваются только различиями в лечебно-эвакуационной тактике. Так, среди мероприятий ресусцитации в случаях остановки сердца мы до сих пор приемлем прекардиальный удар, несмотря на то, что федеральными стандартами как допустимый он уже не рассматривается.

Помощь внутри гермообъектов — весьма специфическая и непростая задача, зачастую ввиду отсутствия непосредственно рядом квалифицированных медицинских кадров и невозможности быстрой реализации этапной эвакуации. В барокамере (гидробарокомплексе) первая помощь при отсутствии врача нередко оказывается самими водолазами — в соответствии с требованиями федеральных стандартов и сообразно уровню подготовки.

Несмотря на различия подходов военной и гражданской медицины, тем не менее требуется единство взглядов на первую помощь, на важность терапевтической нозологической составляющей в спектре заболеваний у моряков, понимание нюансов ныне существующей на ВМФ лечебно-эвакуационной этапной системы.

Тактическая медицина на Военно-Морском Флоте

Сегодня тактическая медицина — это важнейший составной элемент военно-медицинской подготовки личного состава ВС РФ. Данное направление непрерывно развивается, базируясь на современных протоколах TCCC (Tactical Combat Casualty Care) стран блока НАТО и на классических принципах оказания само- и взаимопомощи в советских, а ныне в российских войсках, используя новые медицинские технологии и материально-технические возможности. Тактическая медицина — это совокупность медицинских и тактических мероприятий, проводимых во время боя, аварии, катастрофы и на всём протяжении догоспитального этапа (в виде базового и расширенного уровней первой помощи раненым, больным или поражённым), направленных на устранение угрожающих жизни состояний, предотвращение развития тяжёлых осложнений и поддержание жизненно важных функций организма до начала и в ходе медицинской эвакуации. Данные мероприятия включают элементы само- и взаимопомощи.

Для ВМФ вопросы тактической медицины имеют отчётливую специфику и требуют особого подхода к алгоритмам первой помощи с учётом:

1) морских климатических условий;

2) конструктивных, эксплуатационных и боевых характеристик представленных на флоте объектов военной техники и оружия;

3) специфики профессиональной деятельности личного состава флота;

4) тактики боя, особенностей морских техногенных аварий и катастроф (и связанных с этими событиями структуры и тяжести ожидаемых потерь);

5) ситуационно обусловленного динамического подхода к градации зон по степени опасности для жизни и здоровья на борту аварийных надводных кораблей, подводных лодок, глубоководных технических средств;

6) безусловной и пролонгированной витальной угрозы внутри задраенных аварийных гермообъектов (барокамер, гидробарокомплексов, отсеков подводных лодок и так далее);

7) конкретных возможностей аварийно-спасательного, лечебно-эвакуационного и материально-технического обеспечения с учётом береговой инфраструктуры, удалённости от основных сил и средств флота и так далее.

Базируясь на постулатах первой помощи, тактическая медицина флота ситуационно включает и некоторые элементы доврачебной и первой врачебной помощи, а некоторые экстренные и неотложные мероприятия на ВМФ относятся к элементам специализированной медицинской помощи. Например, такие профессиональные заболевания, как декомпрессионная болезнь, баротравма лёгких

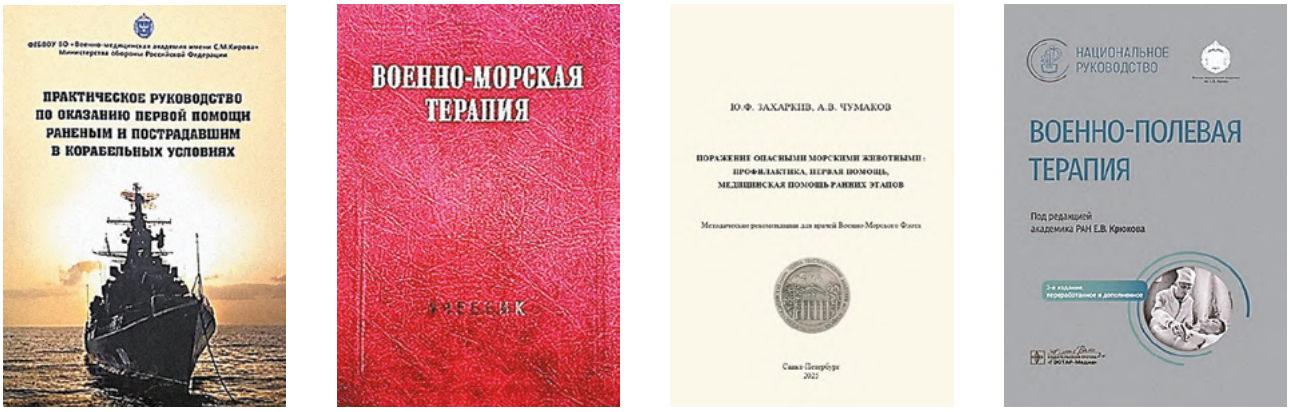


Рис. 1. *Основные современные труды, осветившие аспекты первой помощи на ВМФ при терапевтической патологии (слева направо): «Практическое руководство по оказанию первой помощи раненым и пострадавшим в корабельных условиях» (2025), учебник «Военно-морская терапия» (2025), методические рекомендации «Поражение опасными морскими животными: профилактика, первая помощь, медицинская помощь ранних этапов» (2025), национальное руководство «Военно-полевая терапия» (2024) (источник: архив автора)*

Fig. 1. *The main modern works that highlighted the aspects of first aid at the Navy for therapeutic pathology (from left to right): "Practical guide on first aid to the wounded and injured men in ship conditions" (2025), textbook "Naval therapy" (2025), guidelines "Affection by dangerous marine animals: prevention, first aid, early stages of medical care" (2025), national guide "Military field therapy" (2024) (source: author's archive)*

и синдром изобарической противодиффузии индифферентных газов, развившись внутри барокамеры, требуют скорейшей лечебной рекомпрессии на месте, которая проводится под контролем врача по водолазной медицине параллельно с оказанием водолазами само- и взаимопомощи под давлением. С иной стороны, лечебная рекомпрессия в воде опытными водолазами нередко осуществляется самостоятельно.

Правильное и своевременное оказание первой помощи во время морского похода нередко затрудняется динамично меняющейся аварийной или боевой обстановкой, характером ранений, болезней или поражений, уровнем знаний и практических навыков у военнослужащих немедицинского состава, инициально контактирующих с пострадавшими (больными), доступностью медицинского имущества, вспомогательных средств и так далее.

Исходно принципы современной тактической медицины в первую очередь разрабатывались в интересах неотложной военно-полевой хирургии. В 2025 году по инициативе кафедры военно-морской хирургии Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова и при поддержке многочисленных авторов эти принципы для ВМФ были сформулированы на страницах «Практического руководства по оказанию первой помощи раненым и пострадавшим в корабельных условиях»[1]. Вопросам первой помощи на ВМФ уделено должное внимание и в современном учебнике по военно-морской терапии[2]. В 2025 году отдельным тиражом в свет вышли методические рекомендации для врачей ВМФ «Поражение опасными морскими животными: профилактика, первая помощь, медицинская помощь ранних этапов»[3] (см. рис. 1). Морская специфика при оказании помощи пострадавшим исчерпывающе отражена в лекции «Медицинское обеспечение спасения людей при авариях и катастрофах на море» [1]. Видение проблемы тактической медицины на флоте — предмет серьёзной научной дискуссии [2–4]. Элементы тактической медицины в ВС РФ интегрированы в систему оказания помощи при боевой

[1] Практическое руководство по оказанию первой помощи раненым и пострадавшим в корабельных условиях / под общ. ред. П. Е. Крайнюкова, Р. Г. Макиева, М. Р. Булатова. СПб.: Планета, 2025. 325 с.

[2] Военно-морская терапия: учебник / под ред. Е. В. Крюкова, Д. В. Черкашина. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Политехника, 2025. 512 с. ISBN 978-5-7325-1221-2

[3] Захаркив Ю. Ф., Чумаков А. В. Поражение опасными морскими животными: профилактика, первая помощь, медицинская помощь ранних этапов: методические рекомендации для врачей ВМФ. СПб.: Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, 2025. 34 с. ISBN 978-5-4386-2417-2

терапевтической травме[4]. Фундаментальным изданием, посвящённым этапной помощи раненым, больным и поражённым с нозологиями терапевтического профиля, является новое национальное руководство «Военно-полевая терапия», в котором представлен и морской раздел[5] (см. рис. 1).

Боевую и аварийную терапевтическую патологию уместно рассматривать наравне с хирургической как следствие травматического события, сопутствующего бою, аварии или катастрофе. Нередко ранение, болезнь либо поражение носят комбинированный характер. Но в парадигме тактической медицины при оказании первой (домедицинской) помощи, которая производится личным составом в порядке само- и взаимопомощи, разделение патологии на терапевтическую и хирургическую весьма условно. Главные задачи оказывающего первую помощь — оперативно эвакуировать раненого, больного или поражённого из зоны прямой витальной угрозы, доступными средствами устранить опасные для его жизни функциональные нарушения, стабилизировать состояние, обеспечить его передачу представителям медицинской службы. Эти задачи полностью или отчасти далеко не всегда достижимы в условиях морского боя, аварии и катастрофы.

ВМФ — высокотехнологичный вид ВС РФ, и для реалий морской службы в зависимости от совокупности поражающих и сопутствующих неблагоприятных факторов физической, химической и биологической природы, учитывая специфику патологии, в алгоритмах первой помощи базового и расширенного уровней реализуются типовые решения, оптимальные для конкретных ситуаций при наиболее вероятной (частой) терапевтической патологии. При невозможности оперативно установить причину, выделить специфический фактор угрозы для здоровья и жизни пострадавшего (больного) действия оказывающего помощь (при должных мерах по обеспечению безопасности и медицинской защиты) осуществляются с соблюдением основного протокола КУЛАК-БАРИН. Помимо реализации основных приоритетов этого протокола, необходимо направить усилия на устранение ведущих жалоб и симптомов. Важно помнить о необходимости своевременной частичной санитарной обработки, изоляции лиц, пострадавших в результате радиационного, химического и биологического воздействия, пребывающих в остром психореактивном состоянии, то есть несущих угрозу окружающим.

Тактическая медицина флота относительно конкретной патологии работает алгоритмами трёх типовых зон: «красной» (в очаге поражения), «жёлтой» (в укрытии) и «зелёной» (на пути эвакуации к специалистам медицинской службы). В равной степени к действиям в «зелёной» зоне условно можно отнести мероприятия экстренной профилактики поражений (например, приём антидотов перед входом аварийной партии в зону радиационного или химического загрязнения). В «зелёной» зоне жизненно необходимые мероприятия первой помощи в случае задержки (невозможности) эвакуации с аварийного объекта в море могут быть продолжены неопределённо долго вплоть до исхода, включать как симптоматическую, так и паллиативную помощь.

При авариях в море деление на зоны и время экспозиции в них могут стать весьма условными. На надводном корабле, в подводной лодке, внутри подводного аппарата, в гидробарокомплексе (барокамере) это связано с вынужденной изоляцией (герметизацией) аварийных помещений и отсеков вплоть до завершения борьбы личного состава за живучесть и обеспечения условий безопасного выхода, с необходимостью экстренного покидания терпящих бедствие объектов военной техники, с утратой сил и средств бортовой медицинской службой во время боя или катастрофы, с неопределённо долгим сроком нахождения военнослужащих на дрейфующих спасательных плавсредствах и в воде до прибытия спасателей и так далее. Тем не менее протоколы тактической медицины по возможности должны быть оперативно и полностью реализованы.

Среди важнейших задач тактической медицины флота, решаемых сегодня, — внедрение в практику алгоритмов, включающих

---

[4] Тришкин Д. В., Серговенцев А. А., Крюков Е. В., Паценко М. Б., Гайдук С. В., Чеховских Ю. С. [и др.] Методические рекомендации по этапному лечению поражённых с боевой терапевтической патологией. М.: Главное военно-медицинское управление МО РФ, 2022. 273 с.; Крайнюков П. Е., Макиев Р. Г., Булатов М. Р., Смирнов Д. Ю., Мустаев О. З., Юманов А. П., Касаткин Я. И., Кудашин С. А. Первая помощь при ранениях, травмах и других неотложных состояниях в условиях мирного времени и в вооружённых конфликтах: практическое руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2023. 184 с. DOI: https://doi.org/10.33029/9704-7969-8-EAS-2023-1-184; Справочник тактической медицины. Вер. 2.0. СПб.: Главное военно-медицинское управление МО РФ, 2022. 35 с.

[5] Военно-полевая терапия: национальное руководство / под ред. Е. В. Крюкова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2024. 736 с.

обоснованное назначение ацетилсалициловой кислоты, левофлоксацина, мелоксикама, нефопама, цинка бисвинилимидазола диацетата, транексамовой кислоты и иных лекарственных средств с доказанной клинической эффективностью. Сохраняется актуальность применения тримеперидина гидрохлорида, ондансетрона, утвержденных новых радиопротекторов и антидотов. По-прежнему дополнительного исследования требуют возможности безопасного использования лекарственных средств в условиях сред с изменёнными физико-химическими свойствами (главным образом гипербарических, в перспективе гипоксических). Исследуется эффективность устройств механической компрессии сосудов конечностей (жгутов, турникетов) для остановки массивных (артериальных) кровотечений (в том числе при их наложении поверх гидроизолирующих костюмов), местных гемостатиков и противоожоговых гелей, перевязочных материалов, пригодных к эксплуатации в условиях влажной (морской) среды. Для большинства военнослужащих ВМФ, не имеющих специальных медицинских знаний и навыков, при оказании первой помощи введение лекарственных средств наиболее быстро, просто и безопасно осуществлять пероральным (что невозможно при отсутствии сознания, непрекращающейся рвоте, травме лицевого черепа, повреждении пищеварительного и дыхательного трактов) либо внутримышечным путём. Удобно введение препаратов, изготовленных в форм-факторе шприц-тюбика. Существуют острые нозологии (массивное кровотечение, длительное сдавление, инфекционно-токсический шок и прочие), при которых необходимы экстренные инфузии, при этом надеяться на успех внутривенного доступа трудно, а подкожное введение растворов недостаточно эффективно. Решение проблемы видится в дальнейшем внедрении технологии внутрикостных инфузий при оснащении аптечек соответствующими механическими устройствами и необходимой подготовке личного состава. Критически важна доступность оксигено- и оксигенобаротерапии, лечебной рекомпрессии.

Особенности оказания первой помощи, медицинской помощи раненым, больным и поражённым внутри гермообъектов, находящихся под повышенным давлением

При проведении аварийно-спасательных операций на море и в дальнейшем членам экипажей подводных лодок, терпящих бедствие аппаратов и затонувших надводных кораблей, водолазам, принимающим участие в их спасении, а также пострадавшим при повседневных водолазных спусках, сопровождаемых нештатными ситуациями, может потребоваться лечение под избыточным давлением внутри гермообъектов (барокамер, отсеков, специальных выгородок), включающее рекомпрессию, оксигенобаротерапию, мероприятия первой помощи и помощь медицинских работников, фармакотерапию по экстренным и неотложным показаниям. До завершения декомпрессии медицинская эвакуация раненого, больного или поражённого из гермообъекта вовне опасна и часто практически невыполнима, а расширение объёма любой оказываемой ему помощи весьма затруднительно. Врачи по водолазной медицине и водолазы, владеющие расширенными навыками первой помощи, при оказании её раненому, больному или поражённому внутри барокамеры могут применять как штатное, так и дополнительное медицинское имущество, полученное через шлюз: выдавать лекарственные средства, выполнять инъекции и инфузии растворов, перевязки и другие доступные манипуляции в соответствии с уровнем подготовки, с учётом обстановки и ранее предпринятых мер, а также по согласованию с руководителем водолазного спуска, представителями командования и медицинскими специалистами, находящимися вне гермообъекта.

Необходимо учитывать, что действие многих лекарственных средств, особенно новых поколений, в условиях повышенного давления среды исследовано недостаточно, может сопровождаться избыточными либо парадоксальными реакциями, поэтому их дозы должны строго соответствовать предписанным, а при глубоководных спусках начинаться с половинных от среднетерапевтических значений (кроме антидотов и антибактериальных средств) на фоне пристального контроля динамики состояния раненого, больного, поражённого. Должен быть реализован общеизвестный принцип терапии «доза-эффект». Переливание крови в условиях гермообъекта при давлениях, соответствующих глубинам более 60 м, до декомпрессии экстренно осуществляют только при острой кровопотере свыше 0,5–1 л или травме, сопровождающейся тяжёлым шоком (с сильным угнетением или утратой сознания, отсутствием ответной реакции на болевые раздражители, холодным липким потом, слабым пульсом частотой более 140 в минуту, частотой дыхания свыше 24 в минуту, систолическим артериальным давлением менее 80 мм рт. ст.).

В остальных случаях рекомендуется лишь инфузия кровезаменителей. Для инфузий внутри барокамеры требуется выполнение ряда условий:

1) их осуществление лицом, владеющим техникой внутривенных и/или внутрикостных вливаний;

2) наличие показаний, подтверждённых аккредитованным медицинским специалистом (врачом);

3) указание к действиям, полученное от руководителя водолазного спуска.

Растворы во флаконах (стеклянные ампулы заранее проверяются на устойчивость к избыточному атмосферному давлению в 10 кгс/см^2 или 100 м вод. ст., или к ожидаемому большему давлению), все инфузионные кровезаменители и препараты крови (как в стеклянной, так и в пластиковой таре), передаваемые (шлюзуемые) внутрь гермообъекта (барокамеры), заранее разгерметизируются и помещаются в пластиковые мешки. Шприцы заполняют содержимым, а шприц-тюбики вскрывают только непосредственно перед выполнением инъекций. Применение высоколетучих и резко пахнущих химических соединений (спиртов, эфиров) в условиях гипербарии ограничено площадью и временем, достаточными для обработки открытых поверхностей при условии непрерывной вентиляции окружающего гермообъёма. При первой же возможности пропитанные летучими соединениями и уже использованные перевязочные материалы помещаются в герметичный пакет и шлюзуются вовне. При качественной обработке и перевязке ран и ожогов, выполнении пострадавшему инъекций и инфузий нарушение условий стерильности сводится к минимуму. Иммобилизация осуществляется по общим правилам. Колебания температуры и изменение самого ощущения теплового комфорта внутри гермообъекта под давлением требуют контроля за согреванием раненого, больного, поражённого. При удовлетворительном его состоянии ему показаны горячие сладкие напитки.

Лечение под повышенным давлением само по себе — элемент специализированной высокотехнологичной медицинской помощи.

Первая врачебная и квалифицированная медицинская помощь может оказываться врачом как непосредственно внутри гермообъекта, так и удалённо извне путём руководства по радиосвязи. При этом важными целями терапевтического воздействия на раненого, больного, поражённого становятся поддержание удовлетворительной работы его систем кровообращения и дыхания, улучшение состояния центральной и периферической нервных систем, нормализация гемореологии, тканевого и клеточного метаболизма.

Декомпрессия, зачастую продолжительная, становится возможной также и по мере стабилизации общего состояния. В случае ухудшения состояния пострадавшего начало либо продолжение декомпрессии невозможны.

Мероприятия реанимации и интенсивной терапии, инициированные как до компрессии, так и под повышенным давлением, проводятся по стандартному протоколу. При необходимости (по жизненным показаниям) они могут продолжаться по завершении декомпрессии и на этапах дальнейшей медицинской эвакуации. В их число входят непрямой массаж сердца, искусственная вентиляция лёгких, обезболивание и седация, противошоковая терапия, инъекции, внутривенные инфузии, переливание крови и кровезаменителей. Осуществляется борьба с судорожным синдромом, тромбозами, начинается антибактериальное лечение. По показаниям — ингаляции кислородом и подогретой кислородно-гелиевой смесью.

Оказание первой помощи и экстренной (неотложной) медицинской помощи начальных этапов на плавсредствах и в воде

Первая помощь и экстренная (неотложная) медицинская помощь начальных этапов до момента самостоятельного покидания (эвакуации с борта) пострадавшим аварийных надводного корабля, подводной лодки или глубоководного аппарата по возможности должны быть оказаны исчерпывающе. В угрожающих здоровью и жизни обстоятельствах личному составу, оказавшемуся не на борту спасательного судна, но в воде или на плавсредствах, в гидроизолирующем снаряжении или без него, выполнение ряда мероприятий первой помощи и медицинской помощи начальных этапов подчас становится невозможным, неэффективным и, к сожалению, даже несвоевременным. Выход из-под повышенного барометрического давления без соблюдения соответствующего обстоятельствам режима декомпрессии (например, при неконтролируемом всплытии после аварийного покидания затонувшей подводной лодки) приводит к явлениям дисбарии, осложняющим нозологический фон.

Перед эвакуацией с борта надводного корабля, подводной лодки или глубоководного аппарата у пострадавшего (раненого, больного, поражённого) необходимо выявить и временно устранить источники массивного кровотечения, максимально стабилизировать его дыхательную функцию и сердечную деятельность, ввести ему обезболивающие, антидотные и иные предписанные ситуацией лекарственные средства, придать ему оптимальное для транспортировки устойчивое положение и обездвижить повреждённые зоны тела. Согревание пострадавшего (раненого, больного, поражённого) — важнейшее для его выживания условие. Аварийное покидание (аварийная эвакуация) затонувших подводной лодки, глубоководного аппарата или помещений затопленного надводного корабля «мокрым» способом для некоторых пострадавших (раненых, больных, поражённых) неблагоприятно с прогностической точки зрения или невыполнимо практически.

При эвакуации с дрейфующего по волнам надводного корабля (подводной лодки, глубоководного аппарата) пострадавшего (раненого, больного, поражённого) на носилках оптимально без крена стропами спустить на спасательное средство, переместить вдоль троса на борт спасательного судна, поднять на борт вертолёта, что на практике, даже в благоприятных погодных условиях и при минимальной качке, смертельно опасно, трудновыполнимо, а подчас невозможно. Для пострадавших (раненых, больных, поражённых) в удовлетворительном состоянии возможен спуск на спасательные плавсредства (плот, лодку) посредством строп в положении сидя или виса. Прыжок в воду — для крайних случаев, при этом его выполняют ногами вперёд, плотно удерживаясь руками за воротник закреплённого на теле спасательного жилета. Но всё же безопаснее жилет надеть после прыжка, уже в воде. Дрейфующий корабль необходимо покидать с наветренной стороны, при наличии его бокового крена — с носа или кормы. Избегать погружения в участки разлива топлива, масла, токсических или радиоактивных продуктов аварии. В воде как для пострадавших (раненых, больных, поражённых), так и для оказывающих им помощь колоссальную опасность представляют резкое общее переохлаждение и быстрое мышечное переутомление (и закономерно связанное с ними утопление), даже для одетых в изолирующее снаряжение. В любой ситуации время относительно безопасного пребывания на открытой воде для одетых, активно двигающихся, удерживающихся за предметы с положительной плавучестью всегда кратно продолжительнее. Однако принципиально важно в кратчайший срок воду покинуть, оказаться на спасательном плоту или в шлюпке: часто это непременный залог выживания [1].

При крупных морских авариях и катастрофах, при ведении боевых действий на море в неблагоприятных условиях открытого водного пространства, особенно на удалении от флотских баз, время начала спасательной операции может быть существенно отсрочено, а скорость, качество и объём помощи пострадавшим (раненым, больным, поражённым) оказаться ниже ожидаемых, что придаёт особую актуальность грамотному и решительному выполнению в аварийных экипажах мероприятий само- и взаимопомощи, дальнейшему взаимному наблюдению.

Важно помнить, что на спасательных плавсредствах:

1) пребывание на борту даёт больше шансов на выживание, чем удержание за него в воде;

2) мероприятия сердечно-лёгочной реанимации при отсутствии жёсткой ровной поверхности слабоэффективны;

3) в условиях избыточной влаги согревания светоотражающим спасательным покрывалом в долгосрочной перспективе недостаточно;

4) необходима экономия запасов пресной воды в интересах пострадавших (раненых, больных, поражённых): употребление морской воды для них более пагубно, чем для условно здоровых;

5) употребление алкоголя «для согревания», как и курение, опасны для здоровья и жизни;

6) необходимо продолжить контроль ранее наложенных жгутов и повязок: гемостатические средства в морской воде могут быстро утратить свою эффективность;

7) безопасные инъекции и инфузии часто проблематичны.

Неотложная помощь при потере сознания в воде

Потеря сознания в воде может происходить:

1) у водолазов вследствие токсического действия газов дыхательных смесей, асфиксии, баротравмы лёгких, обжима, контузии (в результате поражения подводной взрывной волной) и так далее;

2) при отработке задач легководолазной подготовки в результате отравления диоксидом углерода, кислородного голодания, баротравмы лёгких и так далее;

3) у моряков надводных кораблей, упавших за борт и подвергшихся переохлаждению в воде, утоплению, получивших контузию и так далее;

4) при выходе из затонувшей подводной лодки при свободном всплытии у моряков-подводников из-за отравления диоксидом углерода, судорожной формы отравления кислородом, баротравмы лёгких и так далее.

Потеря сознания в воде нередко является причиной истинного утопления.

У водолазов и моряков аварийной подводной лодки утрата сознания после всплытия на поверхность может стать результатом тяжёлой декомпрессионной болезни, баротравмы лёгких, утопления, переохлаждения, болевого шока, кровопотери и так далее.

В перечисленных ситуациях при наличии показаний к проведению пострадавшему ресусцитации и лечебной рекомпрессии предпринимаются меры по экстренному подъёму его на поверхность, извлечению из воды и согреванию.

При осмотре необходимо установить, являются ли проходимыми дыхательные пути, расширены ли зрачки, есть ли их реакция на свет, убедиться в сохранности сердечной деятельности и дыхания. Осмотр и мероприятия неотложной помощи в воде практически невозможны, а на спасательном плоту, особенно при качке, крайне затруднительны. Пострадавшего необходимо освободить от снаряжения, а его дыхательные пути — от воды и слизи. Спасаемого целесообразно перевернуть на живот, перекинуть через колено спасающего лицом вниз, при помощи пальца очистить его ротовую полость, надавить на корень языка для стимуляции рвотного и дыхательного рефлексов. Далее расположить на ровной, желательно твёрдой, поверхности в положении лёжа на спине с запрокинутой назад головой (предварительно исключив травму шейного отдела позвоночника). Начать искусственную вентиляцию лёгких (способами «рот в рот», «рот в нос»). Одновременно с искусственной вентиляцией лёгких после прекардиального удара начать непрямой массаж сердца с частотой не менее 100 в минуту, на каждые 30 компрессий должно приходиться 2–3 выдоха спасающего. Катетеризируют периферическую вену.

На палубе спасательного судна можно применить дыхательный мешок Амбу и аппаратную вентиляцию лёгких, раннюю катетеризацию периферической вены и дальнейшую инфузионную терапию. Доступны электрокардиография и акустическая допплерография (для исключения декомпрессионного внутрисосудистого газообразования). При асистолии, типичной для утопления в морской воде, каждые 3–5 минут вводят 1 мл 0,1 % раствора эпинефрина гидрохлорида внутривенно струйно в 10–20 мл физиологического раствора, 1 мл 0,1 % раствора атропина сульфата (не более 0,04 мг/кг) подкожно. Подкожно вводят 1 мл 20 % раствора кофеин-бензоата натрия. Желудочковые нарушения ритма купируют внутривенно раствором лидокаина гидрохлорида.

Попадание морской воды в дыхательные пути может способствовать отсроченному на 1–3 часа развитию отёка лёгких, купировать который помогают мочегонные средства и назначение 90–120 мг преднизолона. Также, подозревая гиперкалиемию, внутривенно вводят 3–5 мл 10 % раствора хлористого кальция — струйно очень медленно (за 3–5 минут). Показана инфузия 100–150 мл 5 % раствора натрия гидрокарбоната.

В зависимости от причины, повлёкшей потерю сознания в воде, также проводится соответствующее нозологически ориентированное лечение.

На госпитальном судне доступны дефибриллятор, пульсоксиметр, кардиомонитор и другая аппаратура, существенно повышающая качество экстренного и неотложного лечения пострадавших.

Успешность экстренной и неотложной помощи водолазам и морякам плавсостава, потерявшим сознание в воде, определяет и тактику дальнейших лечебно-эвакуационных мероприятий, проводимых в их отношении.

Аспекты этапной медицинской эвакуации пострадавших на ВМФ

Последовательность этапов медицинской эвакуации на ВМФ может быть обоснованно изменена (сокращена) с учётом имеющихся в наличии сил и средств медицинской службы, удалённости этапов друг от друга (протяжённости плеч эвакуации), погодной, аварийной и боевой обстановки, транспортных возможностей, тяжести состояния, нозологической специфики, прогноза для пострадавших (раненых, больных, поражённых) и так далее.

Для береговых частей этапность медицинской эвакуации чаще соответсвует общепринятой. Однако ВМФ — это высокотехнологичный вид ВС РФ, поэтому этапы медицинской помощи могут быть максимально приближены к месту происшествия на удалённых сложных инфраструктурных и технических объектах морской дислокации.

При происшествиях в прибрежной зоне и «возле пирса» обоснованна скорейшая отправка пострадавших в ближайший гарнизонный госпиталь. При авариях и катастрофах на морских просторах (на удалении от береговой базы) в зависимости от ранга кораблей на месте возможно оказание медицинской помощи вплоть до квалифицированной, а привлечение таких сил и средств медицинской службы, как корабельная группа специализированной медицинской помощи (КГСМП), а также использование лечебных возможностей гипербарии внутри гермообъектов (отсеков и специальных выгородок подводных лодок, барокамер, гидробарокомплексов) часто расширяет её объём за счёт элементов специализированной помощи. Транспортная медицинская эвакуация пострадавших (раненых, больных, поражённых) в море в зависимости от обстановки может быть ориентирована непосредственно на флотский военно-морской клинический госпиталь, минуя предыдущие стационарные этапы. Сама передача и транспортировка больных в море сопряжена с известными рисками для их здоровья и жизни, а вынужденная задержка на этапах медицинской эвакуации ведёт к исчерпанию возможностей конкретного промежуточного этапа.

Таким образом, система медицинской эвакуации на ВМФ, в отличие от сухопутной, нередко требует от организаторов особого, более гибкого, ситуационно-обусловленного подхода в зависимости от обстоятельств.

Роль проекта «Нерей» (©) в исследовании терапевтических аспектов первой помощи и этапной медицинской помощи на флоте

Вопросы первой помощи и этапной медицинской помощи на флоте, как военном, так и гражданском, сегодня являются одним из объектов интереса и последующих разработок для научного, образовательного и издательского проекта «Нерей» (©) (автор — А. В. Чумаков, развитие проекта с 2004 года по настоящее время), специализирующегося на проблемах морской терапии, профессиональной патологии флота, подводной и гипербарической медицины[6]. Логотип проекта «Нерей» представлен на рисунке 2.



Рис. 2. *Логотип оригинального российского научного, образовательного и издательского проекта «Нерей» (©) в области морской терапии (МТ), профессиональной патологии флота (ППФ), подводной и гипербарической медицины (ПГМ)*

Fig. 2. *The logo of an original russian scientific, educational and publishing project "Nereus" (©) in the field of marine therapy (MT), occupational pathology of fleet (OPF), underwater and hyperbaric medicine (UHM)*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные вопросы не охватывают всех нюансов проблематики первой помощи и этапной медицинской помощи на ВМФ, требуют внедрения новых оптимальных решений, консенсуса ведущих специалистов по морской медицине. Необходимо своевременное освещение изменений, происходящих в данном направлении [5–8].

[6] Ссылки на публикации и материалы проекта представлены на авторских страницах глобальной информационной сети eLibrary (SPIN: 9488-0041; AuthorID: 574142), ORCID (ID: 0000-0003-3390-1369) и ResearchGate (A. V. Tchumakov).

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 author declares no conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синьков А. П. Медицинское обеспечение спасения людей при авариях и катастрофах на море : лекция. СПб.: Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, 2004. 29 с.
2. Чумаков А. В., Черкашин Д. В. Морская терапия и инновационные медицинские технологии на службе Арктического флота // RAO/CIS Offshore 2023. Труды Международной выставки и конференции по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ, Санкт-Петербург, 26–29 сентября 2023 г. М.: Перо, 2023. С. 74–77.
3. Чумаков А. В., Черкашин Д. В., Макиев Р. Г. Проблемные вопросы оказания терапевтической помощи на Военно-Морском Флоте и пути их решения // АРМИЯ-2023. Сборник материалов по конференциям Международного военно-технического форума, Москва, Кубинка, 16 августа 2023 г. М.: Патриот-ЭКСПО, 2023. С. 38–39.
4. Чумаков А. В., Сильченко Е. С., Любимов А. В., Мотасов Г. П. Тактическая медицина, возможные перспективы медицинского материально-технического обеспечения на Российском Военно-Морском Флоте // Актуальные вопросы промышленной и морской медицины: сборник научных работ V-й Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 3–4 апреля 2024 г. Т. 1. СПб.: НИИ ПММ ФМБА России, 2024. С. 278–292.
5. Сильченко Е. С., Суров Д. А., Дымников Д. А., Любимов А. В., Куприянов С. А., Миннуллин И. П., Уточкин А П., Климов А. Д. Военно-морская медицина на распутье: время что-то менять? // Морская медицина. 2025. Т. 11. № 2. С. 48–66. DOI: https://doi.org/10.22328/2413-5747-2025-11-2-48-66
6. Семенцов В. К., Саленко Ю. А., Ханкевич Ю. Р. Опыт медицинского обеспечения кораблей Военно-Морского Флота в длительных плаваниях // Военно-медицинский журнал. 2008. Т. 329, № 7. С. 6–11.
7. Дыбин А. С., Мавренков Э. М., Лучников Э. А., Шаповалов П. Ю. Практические аспекты применения комплектов табельного медицинского имущества на кораблях Военно-Морского Флота : кейс-исследование // Морская медицина. 2024. Т. 10, № 1. С. 64–73. DOI: https://doi.org/10.22328/2413-5747-2024-10-1-64-73
8. Cap A. P., Pidcoke H. F., Spinella P., Strandenes G. Damage Control Resuscitation. Military Medicine. 2018, vol. 183, issue suppl. 2, pp. 36–43. DOI: https://doi.org/10.1093/milmed/usy112

REFERENCES

1. Sin`kov A. P. *Medicinskoe obespechenie spaseniya lyudej pri avariyax i katastrofax na more* [Medical Support for the Rescue of People in Accidents and Disasters at Sea]. St. Petersburg, Russian Military Medical Academy named after S. M. Kirov Publ., 2004, 29 p. (In Russ.)
2. Chumakov A. V., Cherkashin D. V. *Morskaya terapiya i innovacionny`e medicinskie texnologii na sluzhbe Arkticheskogo flota* [Naval Therapy and Innovative Medical Technologies on the Service of Arctic Fleet]. *RAO/CIS Offshore 2023. Trudy` Mezhdunarodnoj vy`stavki i konferencii po osvoeniyu resursov nefti i gaza Rossijskoj Arktiki i kontinental`nogo shel`fa stran SNG, Sankt-Peterburg, 26–29 sentyabrya 2023 g.* [RAO/CIS Offshore 2023: Proceedings of the International Exhibition and Conference on Exploration of Oil and Gas Resources of Russian Arctic and the Continental Shelf of CIS Countries, St. Petersburg, September 26–29, 2023]. Moscow, Pero Publ., 2023, pp. 74–77. (In Russ.)
3. Chumakov A. V., Cherkashin D. V., Makiev R. G. *Problemny`e voprosy` okazaniya terapevticheskoj pomoshhi na Voenno-Morskom Flote i puti ix resheniya* [Problematic Issues of Providing Therapeutic Care on the Navy]. *ARMIYa-2023. Sbornik materialov po konferenciyam Mezhdunarodnogo voenno-texnicheskogo foruma, Moskva, Kubinka, 16 avgusta 2023 g.* [ARMY-2023. Collection of Materials on Conferences of the International Military-Technical Forum, Moscow, Kubinka, August 16, 2023]. Moscow, Patriot-EXPO Publ., 2023, pp. 38–39. (In Russ.)
4. Chumakov A. V., Sil`chenko E. S., Lyubimov A. V., Motasov G. P. *Takticheskaya medicina, vozmozhny`e perspektivy` medicinskogo material`no-texnicheskogo obespecheniya na Rossijskom Voenno-Morskom Flote* [Tactical Medicine, Possible Perspectives of Medical Material and Technical Support at Russian Navy]. *Aktual`ny`e voprosy` promy`shlennoj i morskoj mediciny`: sbornik nauchny`x rabot V-j Vserossijskoj*

nauchno-prakticheskoj konferencii. Sankt-Peterburg, 3–4 aprelya 2024 g. [Topical Issues of Industrial and Marine Medicine: Collection of Scientific Works of the V-th All-Russian Scientific and Practical Conference. St. Petersburg, April 3–4, 2024]. Vol. 1. St. Petersburg: Research Institute of Industrial and Marine Medicine of Russian Federal Medical and Biological Agency, 2024, pp. 278–292. (In Russ.)

5. Sil`chenko E. S., Surov D. A., Dy`mnikov D. A., Lyubimov A. V., Kupriyanov S. A., Minnullin I. P., Utochkin A P., Klimov A. D. *Voenno-morskaya medicina na rasput`e: vremya chto-to menyat`?* [Naval Medicine at a Crossroads: Time to Change Something?] *Morskaya medicina* [Marine Medicine]. 2025, vol. 11, no. 2, pp. 48–66. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.22328/2413-5747-2025-11-2-48-66
6. Semenczov V. K., Salenko Yu. A., Xankevich Yu. R. *Opy`t medicinskogo obespecheniya korablej Voenno-Morskogo Flota v dlitel`ny`x plavaniyax* [Experience in Medical Support of Navy Ships on Long Voyages]. *Voenno-medicinskij zhurnal* [Military Medical Journal]. 2008, vol. 329, no. 7, pp. 6–11. (In Russ.)
7. Dy`bin A. S., Mavrenkov E`. M., Luchnikov E`. A., Shapovalov P. Yu. *Prakticheskie aspekty` primeneniya komplektov tabel`nogo medicinskogo imushhestva na korablyax Voenno-Morskogo Flota : kejs-issledovanie* [Practical Aspects of Using Basic Medical Kit on Navy Ships. Case Study]. *Morskaya medicina* [Marine medicine]. 2024, vol. 10, no. 1, pp. 64–73. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.22328/2413-5747-2024-10-1-64-73
8. Cap A. P., Pidcoke H. F., Spinella P., Strandenes G. Damage Control Resuscitation. Military Medicine. 2018, vol. 183, issue suppl. 2, pp. 36–43. DOI: https://doi.org/10.1093/milmed/usy112

ВКЛАД АВТОРОВ

Автор подтверждает соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (единоличный вклад в разработку концепции, проведение изысканий, подготовку рукописи статьи, прочёл и одобрил финальную версию перед публикацией).

AUTHORS' CONTRIBUTION

Author met the ICMJE authorship criteria.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чумаков Александр Владимирович, кандидат медицинских наук, полковник медицинской службы, старший преподаватель кафедры военно-морской терапии ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ, автор и руководитель оригинального российского научного, образовательного и издательского проекта в области морской терапии, профессиональной патологии флота, подводной и гипербарической медицины «Нерей» (Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6); SPIN-код eLibrary: 9488-0041; РИНЦ: 574142; e-mail: aleksandrchumakov14@gmail.com; e-mail: chumakovavvmeda@mail.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3390-1369

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Aleksandr Vladimirovich Chumakov, Ph. D., colonel of medical service, senior lecturer in Department of Naval Therapy of Federal State Budgetary Military Educational Institution of Higher Education "Kirov Military Medical Academy" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, author and head of "Nereus" — the original Russian scientific, educational and publishing project in the field of marine therapy, occupational pathology of fleet, underwater and hyperbaric medicine (ul. Akademika Lebedeva, d. 6, St. Petersburg, 194044, Russia); SPIN-код eLibrary: 9488-0041; РИНЦ: 574142; e-mail: aleksandrchumakov14@gmail.com; e-mail: chumakovavvmeda@mail.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3390-1369

Поступила в редакцию 05.07.2026
Прошла рецензирование 22.10.2026
Принята к публикации 25.10.2026

Received 05.07.2026
Revised 22.10.2026
Accepted .2026

МЕДИЦИНА | MEDICINE

Оригинальная статья | Original article

DOI: https://doi.org/10.26175/URC.2026.68.27.008 УДК 504.054; 504.064; 612.223.1

Сравнение и выбор химических поглотителей диоксида углерода: ОБЗОР

И. В. Комарова[1], **А. А. Ярков**[2]

[1] *ООО «А-РГО», г. Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия*
i.komarova@urc-rgs.ru

Аннотация

Цель работы. Сравнение химических поглотителей диоксида углерода на основе натронной извести (различных производителей) и аварийных поглотительных средств на основе гидроксида лития по содержанию в них связанной доли диоксида углерода и по поглотительной ёмкости. Выбрать оптимальный поглотитель для использования в водолазных дыхательных аппаратах и в системе жизнеобеспечения обитаемых подводных аппаратов.

Материалы и методы. Приведена информация из руководящих документов: ГОСТ 6755-88 «Поглотитель химический известковый ХП-И, технические условия» и РД 31.84.01–90 «Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Часть 2. Медицинское обеспечение водолазов».

Исследование проведено методом кальциметрии, основанным на реакции насыщенных диоксидом углерода образцов поглотителя с раствором соляной кислоты в герметизированной камере с выделением газообразного диоксида углерода из связанного состояния.

Результаты. Полученные результаты выявили образец с оптимальными характеристиками, влияющими на качество и продолжительность работы поглотителя.

Заключение. Проведение анализа поглотителя на содержание связанного диоксида углерода даёт возможность прогнозировать время его работы, а также оценить соблюдение условий его правильного хранения.

Предварительная проверка новой партии поглотителя позволяет выявить некачественный продукт и не допустить его использование до начала водолазных работ.

Проведя анализ в предспусковом периоде водолазных работ, возможно скорректировать время использования поглотителя либо вообще не допустить его применения в случае превышения связанного диоксида углерода, тем самым предотвратить риск отравления. С появлением портативных кальциметров проводить анализ стало существенно проще, в том числе в условиях экспедиций.

Ключевые слова химический поглотитель, диоксид углерода, натронная известь, гидроксид лития, кальциметрия

Для цитирования Комарова И. В., Ярков А. А. Сравнение и выбор химических поглотителей диоксида углерода: ОБЗОР. *Гидрокосмос.* 2026;4(2):106–117. https://doi.org/10.26175/URC.2026.68.27.008

Comparison and Selection of Chemical Carbon Dioxide Absorbents: A Review

Irina V. Komarova[1], **Alexander A. Yarkov**[2]

[1] *LLC "A-RGO", St. Petersburg, Russia*
[2] *S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia*
i.komarova@urc-rgs.ru

Abstract

OBJECTIVE. To compare chemical carbon dioxide absorbents based on soda lime from different manufacturers with emergency absorbents based on lithium hydroxide, in terms of their bound carbon dioxide content and absorption capacity, and to select the most suitable absorbent for use in diving breathing apparatuses and the life-support systems of manned submersibles.

MATERIALS AND METHODS. The study draws on the requirements set out in the following regulatory documents: GOST 6755-88, Chemical Lime Absorbent KhP-I: Technical Specifications, and RD 31.84.01-90, Unified Occupational Safety Rules for Diving Operations. Part 2: Medical Support for Divers.

The study was conducted using calcimetry, a method based on the reaction of carbon dioxide-saturated absorbent samples with hydrochloric acid in a sealed chamber, releasing carbon dioxide gas from its bound state.

RESULTS. The results identified an absorbent sample with optimal characteristics affecting its performance and service life.

CONCLUSION. Measuring the bound carbon dioxide content of an absorbent makes it possible to predict its service life and assess whether it has been stored under appropriate conditions.

Preliminary testing of a new batch of absorbent for bound carbon dioxide content can identify substandard products and prevent their use before diving operations begin.

Testing the absorbent before a dive can help determine the appropriate duration of its use or rule out its use if the bound carbon dioxide content exceeds the permissible limit, thereby reducing the risk of carbon dioxide poisoning.

The availability of portable calcimeters has substantially simplified such testing, including under field expedition conditions.

Keywords chemical absorbent, carbon dioxide, soda lime, lithium hydroxide, calcimetry

For citation Komarova I. V., Yarkov A. M. Comparison and Selection of Chemical Carbon Dioxide Absorbents: A Review. *Hydrocosmos*. 2026;4(2):106–117. https://doi.org/10.26175/URC.2026.68.27.008

ВВЕДЕНИЕ

Человек в течение всей жизни ежеминутно выдыхает 0,18–0,23 л диоксида углерода. Этот газ является естественным продуктом жизнедеятельности, но он же при повышенном его содержании во вдыхаемом воздухе приведёт к отравлению. Для удаления CO_2 из атмосферы, где происходит его избыточное накопление, используют системы поглощения.

Диоксид углерода (углекислый газ, двуокись углерода, CO_2) — бесцветный газ, не обладающий раздражающими свойствами, в 1,5 раза тяжелее воздуха. В природе CO_2 образуется в результате многих естественных процессов: горение, тление, разложение органических веществ, дыхание живых существ и другие. Антропогенное влияние промышленности существенно увеличивает уровень загрязнения. Оптимальное содержание CO_2 в атмосфере — около 0,036–0,045 %.

Таблица 1. *Количество диоксида углерода, выделяемое человеком при работе различной интенсивности*
Table 1. *Amount of carbon dioxide released by a person during activities of varying intensity*

Характер работы	Количество CO_2, л/мин
Лёгкая	0,6
Средней тяжести	0,8
Тяжёлая	1,3

В промышленных городах оно может достигать 0,08 %[1].

В организме живых существ диоксид углерода является конечным продуктом метаболических процессов, происходящих в клетках, растворяется в венозной крови и по малому кругу кровообращения достигает лёгочной ткани. Там он проходит альвеолокапиллярную мембрану за счёт градиента концентрации в альвеолярное пространство и с выдохом выделяется в атмосферу.

Выделение CO_2 в покое у взрослого человека составляет 0,18–0,23 л/мин [1]. Этот показатель варьируется в зависимости от ряда факторов, один из значимых — интенсивность выполняемой нагрузки[2] (см. табл. 1).

Благодаря газообмену, происходящему в лёгких, диоксид углерода присутствует в тканях в постоянных концентрациях. Парциальное давление в артериальной крови составляет от 35 до 45 мм рт. ст., а в венозной — от 40 до 50 мм рт. ст.

При повышении концентрации диоксида углерода во вдыхаемом воздухе газообмен в лёгких происходит менее эффективно, с последующим увеличением его напряжения в крови. Умеренное повышение парциального давления CO_2 в крови воздействует на центральные и периферические хеморецепторы, стимулируя увеличение вентиляции лёгких с целью выведения избыточного CO_2 из организма. При его высокой концентрации в атмосфере этот механизм приводит к обратному эффекту — напряжение CO_2 в тканях растёт. При длительном воздействии повышенного парциального давления или критичном его повышении происходит срыв компенсаторных механизмов. Напряжение диоксида углерода в артериальной крови свыше 70 мм рт. ст. оказывает угнетающее воздействие на дыхательный центр вплоть до полной остановки дыхания.

Отравление диоксидом углерода возможно при загрязнении атмосферы продуктами горения, гниения, тления, при нахождении людей в плохо проветриваемом помещении малого объёма, дыхании из замкнутого ограниченного пространства. Для предотвращения отравления используются индивидуальные и коллективные технические средства (устройства), основным предназначением которых является поглощение CO_2. Входящее в средство вещество — абсорбент (химический поглотитель) — вступает в химическую реакцию с диоксидом углерода, образуя прочное соединение.

В качестве абсорбента CO_2 наибольшее распространение получила натронная известь. Её состав приведён в стандарте ГОСТ 6755-88 «Поглотитель химический известковый ХП-И, технические условия»[3], в соответствии с требованиями которого натронная известь содержит не менее 96 % гидроксида кальция $Ca(OH)_2$ и 4 % гидроксида натрия NaOH (в пересчёте на сухое вещество) при влажности 13–19 %.

Сырьё для получения известковых поглотителей сравнительно недорогое и широко распространено, однако по своим характеристикам (скорости взаимодействия и поглотительной

[1] Ахметов Н. С. Общая и неорганическая химия: учебник. 5-е изд., испр. М.: Высшая школа, 2003. 743 с.

[2] ГОСТ Р ИСО 16000-26-2015 Воздух замкнутых помещений. Часть 26. Отбор проб при определении содержания диоксида углерода (CO_2). М.: Стандартинформ, 2016. 18 с.

[3] ГОСТ 6755-88 Поглотитель химический известковый ХП-И, технические условия. М.: Издательство стандартов, 1988. 25 с.

ёмкости) известковый поглотитель существенно уступает более дорогостоящему абсорбенту на основе гидроксида лития. Высокая химическая активность гидроксида лития позволяет использовать его в основе аварийных поглотителей в ситуациях, когда требуется размещение поглотительных средств в помещении, где находятся люди и необходимо поддерживать безопасный уровень CO_2, но отсутствует электроснабжение и вентиляционная тяга.

Химические реакции натронной извести и гидроксида лития с диоксидом углерода идентичны по результатам: образуется карбонат и вода. Процесс хемосорбции CO_2 натронной известью может быть представлен в таком виде:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_2 + H_2O,$$

$$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_2 + H_2O.$$

Взаимодействие гидроксида лития с диоксидом углерода представлено формулой [2]:

$$2LiOH + CO_2 \rightarrow Li_2CO_3 + H_2O.$$

В 1920 году впервые был предложен промышленный химический поглотитель с составом: $Ca(OH)_2$ — 57 %; цемент — 18 %; кизельгур — 7,5 %; NaOH — 1,5 %; $KMnO_4$ — 3 %; H_2O — 13 %. Дальнейшие исследования показали, что для поглощения CO_2 в изолирующих противогазах наиболее оптимален химический состав, получивший название «натронная известь», содержащий: NaOH — 4 %, $Ca(OH)_2$ — 84 % и H_2O — 16–18 %.

Промышленностью России химический поглотитель известковый ХП-И выпускается с 40-х годов прошлого столетия. За рубежом аналогами ХП-И являются марки: Soda Lime, Baralyme, Carbolime, Sodasorb, Spherasorb, Sofnolime, DrägerSorb, Intersorb. В последние годы на российском рынке появились и новые производители [3].

Поглотители CO_2 широко применяются в разных отраслях:

— *в индивидуальных средствах защиты (изолирующие дыхательные аппараты, изолирующие противогазы), где предполагается работа в атмосфере с повышенной концентрацией вредных веществ;*

— *в системах жизнеобеспечения на подводных лодках, обитаемых подводных аппаратах, воздушных судах, космических аппаратах и в коллективных укрытиях;*

— *в медицине — системы искусственной вентиляции лёгких и наркозные аппараты при проведении ингаляционной анестезии;*

— *в барокамерах;*

— *в водолазных дыхательных аппаратах с замкнутой и полузамкнутой схемой дыхания.*

В Центре подводных исследований Русского географического общества (ЦПИ РГО) натронную известь используют в водолазных дыхательных аппаратах с замкнутой схемой дыхания (ВДА с ЗСД) и в системе жизнеобеспечения в обитаемых подводных аппаратах (ОПА). Химические поглотители на основе гидроксида лития входят в комплект аварийной системы жизнеобеспечения ОПА.

Преимуществом ВДА с ЗСД является возможность повторно использовать дыхательные газовые смеси после их очищения от диоксида углерода и обогащения кислородом. Это достигается путём связывания диоксида углерода выдыхаемого воздуха химическим поглотителем и восполнения кислорода из баллона [4].

В ВДА с ЗСД и системах жизнеобеспечения ОПА используется гранулированная натронная известь, засыпанная в специальные ёмкости (поглотительные коробки), через которые проходит поток очищаемой газовой смеси, создаваемый усилием дыхательной мускулатуры водолаза или работой вентиляционных механизмов ОПА.

Литиевые поглотители, входящие в комплект аварийной системы жизнеобеспечения ОПА C-Explorer 3.11, представляют собой сложенные в герметичную упаковку полотенца из нетканого материала, содержащие гранулы или рифлёные пластины вещества. При возникновении аварийной ситуации они развешиваются в обитаемом отсеке ОПА (см. рис. 1). Гидроксид лития активно реагирует с диоксидом углерода и имеет высокую поглотительную ёмкость, что важно в условиях отсутствия потока воздуха, проходящего через поглотитель, из-за выключенного в аварийной ситуации электропитания.



Рис. 1. *Развешивание литиевого поглотителя в ОПА C-Explorer 3.11 (источник: архив авторов)*

Fig. 1. *Hanging the lithium absorber in the C-Explorer 3.11 OPA (source: authors' archive)*

Выбор качественного химического поглотителя обеспечивает безопасную и предсказуемую по продолжительности работу экипажа ОПА или водолаза под водой.

ЦЕЛИ РАБОТЫ

Сравнение трёх образцов химических поглотителей на основе натронной извести (доступных к приобретению в РФ и производимых различными компаниями) по характеристикам, которые можно исследовать в условиях, не требующих применения сложного лабораторного оборудования: визуальный осмотр, определение содержания связанного диоксида углерода и поглотительной способности абсорбента.

Выбор (рекомендация) по результатам экспериментов оптимального поглотителя для использования в водолазных дыхательных аппаратах.

Исследование поглотительных свойств аварийных средств на основе гидроксида лития, используемых в системе жизнеобеспечения обитаемого подводного аппарата.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В статье приведена информация из руководящих документов (ГОСТ 6755-88 «Поглотитель химический известковый ХП-И, технические условия» и РД 31.84.01-90 «Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Часть 2. Медицинское обеспечение водолазов»[4]), касающаяся требований к характеристикам химического поглотителя.

В таблице 2 приведены физико-химические показатели поглотителя на основе натронной извести (выписка из ГОСТ 6755-88), имеющие значение и особенно актуальные при использовании в водолазных дыхательных аппаратах с замкнутой схемой дыхания.

Рассмотрение основных показателей:

1. Размер гранул. Оказывает влияние на процент проскоковой объёмной доли двуокиси углерода, который увеличивается при недостаточно плотном расположении крупных гранул. Мелкие гранулы повышают сопротивление дыханию и приводят к слёживанию поглотителя. Это ведёт к увеличению нагрузки на вспомогательные дыхательные мышцы водолаза, быстрому утомлению и, как следствие, к повышенному образованию диоксида углерода в организме. Фракция пыли загрязняет ВДА и раздражает дыхательные пути водолаза при попадании.

2. Влажность. Повышенная влажность снижает сорбирующие свойства, а также способствует слёживанию частиц вещества и повышает сопротивление дыханию.

3. Массовая доля связанного CO_2 характеризует количество CO_2, присутствующее в поглотителе. В соответствии с требованиями ГОСТ 6755-88 она не должна превышать 4 %. В соответствии РД 31.84.01-90 содержание двуокиси углерода перед использованием химического поглотителя не должно превышать 20 л/кг.

Анализ содержания связанного диоксида углерода в соответствии с требованиями РД 31.84.01-90 входит в медицинское обеспечение водолазных спусков. Целесообразно провести анализ и при поступлении новой партии вещества, чтобы не допустить некачественный поглотитель к проведению водолазных работ, особенно если они производятся в отдалённых районах.

В руководящих документах нет указания по требуемой поглотительной ёмкости абсорбента, от которой напрямую зависит, какой объём CO_2 способен связать поглотитель и как долго водолаз сможет на нём работать без проявлений гиперкапнии. Некоторые производители предоставляют сведения о поглотительной способности своей продукции (абсорбентов) (см. табл. 3).

[4] РД 31.84.01-90 Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Ч. 2. Медицинское обеспечение водолазов. М.: Мортехинформреклама, 1992. 208 с.

Таблица 2. *Нормы физико-химических показателей по ГОСТ 6755-88*
Table 2. *Standards for physicochemical parameters according to GOST 6755-88*

Наименование показателя	Норма
1. Внешний вид	Зернистый продукт белого или светло-серого цвета
2. Проскоковая объёмная доля двуокиси углерода в воздухе на выходе из патрона, %, не более:	–
— в первые 40 мин определения	0,1
— через 120 мин от начала определения	0,5
3. Максимальное сопротивление во время определения проскоковой объёмной доли двуокиси углерода, Па (мм вод.ст.), не более	147 (15,0)
4. Максимальная температура воздуха на выходе из патрона во время определения проскоковой объёмной доли двуокиси углерода, °С, не более	50,0
5. Прочность на истирание, %, не менее	65,0
6. Массовая доля фракций, % диаметр зёрен по фракциям, мм:	–
от 5,50 до 6,50, не более	5,0
от 2,80 до 5,50, не менее	90,0
от 1,00 до 2,80, не более	5,0
менее 1,00 (пыль), не более	0,6
7. Массовая доля влаги, %	16,0–21,0
8. Массовая доля связанной двуокиси углерода, %, не более	4,0

Таблица 3. *Поглотительная способность абсорбентов разных производителей (справочное)*
Table 3. *Absorption capacity of absorbents from various manufacturers (for reference)*

Поглотитель	Поглотительная способность 1 кг вещества, л/кг
ХП-И	80
Drägersorb	120–150
Soda Lime	120–150
Sofnolime 797	150

Зная поглотительную способность, можно рассчитать время работы поглотителя ($Т_{погл}$) в минутах по формуле:

$$Т_{погл} = \frac{ПС \cdot m_{погл}}{V_{CO2}}, \quad (1)$$

где $ПС$ — поглотительная способность 1 кг вещества, л/кг (см. табл. 3);

$m_{погл}$ — количество абсорбента в поглотительной коробке, кг;

V_{CO2} — объем выдыхаемой двуокиси углерода, л/мин (см. табл. 1).

Необходимо учитывать, что поглотительная способность уменьшается по мере снижения температуры окружающей среды и увеличения давления газовой и/или водной среды.

В данной работе введён дополнительный показатель — максимальная поглотительная ёмкость, для получения которой исследуемые поглотители помещали на 72 часа в искусственно созданную замкнутую среду диоксида углерода, близкую к 100 %, с целью их максимального насыщения. Полученные показатели существенно превышали поглотительную способность абсорбентов, указанную производителем. Они являются лишь экспериментальной величиной для сравнения и не используются в расчётах времени работы поглотителя.

Массовую долю связанного CO_2 и поглотительную ёмкость сорбента определяют методом кальциметрии. Метод основан на взаимодействии соляной кислоты с насыщенным двуокисью углерода химическим поглотителем в закрытой реакторной ёмкости, в результате чего происходит химическая реакция с выделением газообразного диоксида углерода.

В ЦПИ РГО используется портативный кальциметр Fann. Кальциметры Fann соответствуют требованиям стандарта ASTM D4373-84 «Стандартный метод определения содержания карбоната кальция в почвах». Данная методика испытаний находится в юрисдикции комитета ASTM D-18 по почвам и породам, а также в сфере непосредственной ответственности подкомитета D-18.13 по морской геотехнике [5].

При определении содержания массовой доли связанного CO_2 непосредственно после вскрытия заводской упаковки отобрали десять образцов вещества с целью устранения погрешности. Далее из каждого образца брали навеску по 1 г и поочерёдно помещали в герметизированную реакционную колбу кальциметра (см. рис. 2). В результате реакции 10 % раствора соляной кислоты с поглотителем, содержащим связанный диоксид углерода, выделялся газообразный CO_2, подлежащий замеру. Результаты измерений фиксировались по манометру.

При определении максимальной поглотительной ёмкости после насыщения образцов диоксидом углерода, как описано выше, также отбирали по 10 навесок по 1 г и проводили кальциметрию с каждой из них.



Рис. 2. *Проведение кальциметрии (источник: архив авторов)*

Fig. 2. *Performing calcimetry (source: authors' archive)*

Таблица 4. *Давление в закрытом реакторе в зависимости от количества двуокиси углерода в химическом поглотителе*

Table 4. *Pressure in a closed reactor as a function of carbon dioxide content in the chemical absorbent*

Изменение давления, кгс/см²	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,15
Содержание двуокиси углерода, л/кг	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30

Реакция, происходящая в герметизированной реакционной камере с повышением давления вследствие образования газообразного CO_2, может быть представлена в виде:

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow H_2O + CO_2\uparrow + CaCl_2,$$

$$Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow H_2O + CO_2\uparrow + 2NaCl.$$

Образцы для исследования аварийных поглотительных средств на основе гидроксида лития были извлечены из разных частей полотенца путём нарушения целостности нетканого материала, в котором заключено пластинчатое или гранулированное вещество поглотителя.

Исследование содержания связанного диоксида углерода и максимальной поглотительной ёмкости проводили таким же образом, как с поглотителями на основе натронной извести.

При исследовании максимальной поглотительной ёмкости результат также получен при насыщении образцов в искусственно созданной среде углекислого газа.

Схема реакции гидроксида лития, насыщенного диоксидом углерода, с соляной кислотой:

$$Li_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2LiCl + H_2O + CO_2\uparrow.$$

Полученные манометрические результаты были переведены из единиц давления в единицы объёма и в массовую долю в процентах, используя таблицу 4 [5].

Массовую долю связанной двуокиси углерода (X_1) в процентах вычисляли по формуле, приведённой в ГОСТ 6755-88 «Поглотитель химический известковый ХП-И, технические условия», п. 3.7:

$$X_1 = \frac{V_n \cdot 0{,}001829100}{m}, \qquad (2)$$

где V_n — объем выделившейся двуокиси углерода, см³;

0,001829 — масса 1 см³ двуокиси углерода при стандартных условиях, г;

m — масса навески поглотителя, г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованы пять образцов химических поглотителей: три образца натронной извести и два образца поглотителя на основе гидроксида лития.

В таблице 5 представлены результаты исследования образцов натронной извести.

Из таблицы 5 видно, что доля связанного диоксида углерода в образце 1 и образце 3 в соответствии с РД 31.84.01-90 и ГОСТ 6755-88 соответствует существующим требованиям (не более 20 л/кг, не более 4 %).

В образце 2 доля связанного диоксида углерода составила 26 л/кг, массовая доля — 4,4 %. Использование такого химического поглотителя недопустимо.

Максимальная поглотительная ёмкость образца 1 оказалась наибольшей.

Таблица 5. *Результаты исследования образцов натронной извести*
Table 5. *Results of the analysis of soda lime samples*

	Единица измерения	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Связанная доля двуокиси углерода*	л/кг	8	26	12
Массовая доля связанной двуокиси углерода	%	1,4	4,4	2
Максимальная поглотительная ёмкость**	л/кг	210	180	150

Примечания:
** Показатель 8 таблицы 1 ГОСТ 6755-88*
*** Получена при нахождении химического поглотителя в газовой среде CO_2*
Notes:
** Indicator 8 of table 1 GOST 6755-88*
*** Obtained when the chemical absorber was in a CO_2 gas environment*

При визуальном осмотре обращалось внимание на размер гранул и запылённость вещества:

— *образец 1* (см. рис. 3) *представлен гранулами без признаков запылённости;*

— *образец 2* (см. рис. 4) *имеет достаточно крупные продолговатые гранулы;*

— *образец 3* (см. рис. 5) *имеет визуально определяемую существенную запылённость.*

Проведённые исследования демонстрируют лучшие показатели поглотителя образца 1 по всем характеристикам. Это также подтверждается на практике — водолазы отдают предпочтение химическому поглотителю,

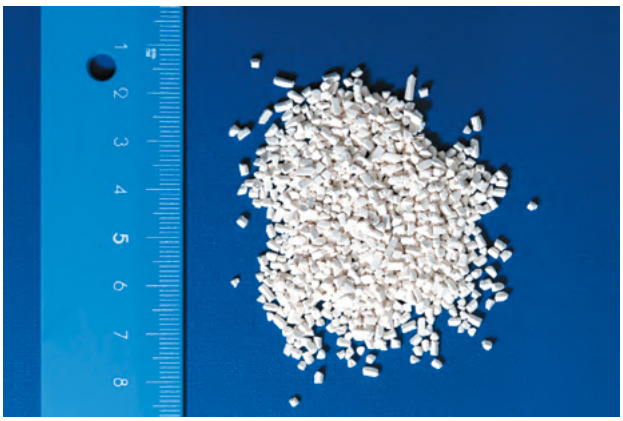


Рис. 3. *Химический поглотитель — образец 1 (источник: архив авторов)*
Fig. 3. *Chemical absorber — sample 1 (source: authors' archive)*



Рис. 4. *Химический поглотитель — образец 2 (источник: архив авторов)*
Fig. 4. *Chemical absorber — sample 2 (source: authors' archive)*

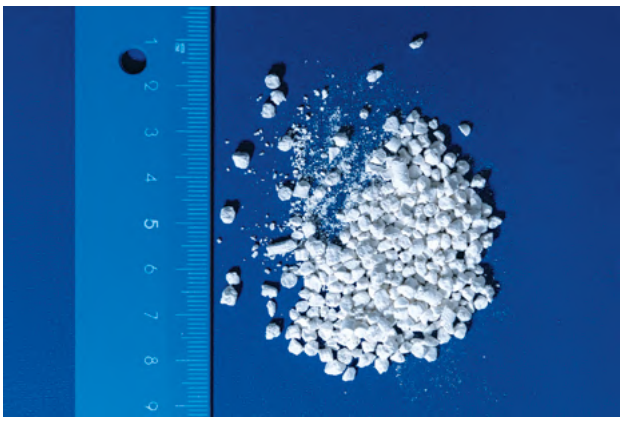


Рис. 5. *Химический поглотитель — образец 3 (источник: архив авторов)*
Fig. 5. *Chemical absorber — sample 3 (source: authors' archive)*

соответствующему образцу 1, отмечая отсутствие запылённости и достаточное время работы без признаков начальных проявлений отравления CO_2. При работе на поглотителе образца 3 требуется его предварительное просеивание перед помещением в поглотительную коробку. Время работы на нём без признаков гиперкапнии меньше.

В таблице 6 представлены результаты, полученные при исследовании литиевых поглотителей.

Таблица 6. *Результаты исследование образцов литиевых поглотителей*
Table 5. *Results of studying samples of lithium absorbers*

	Единица измерения	Штатное средство	Экспериментальное средство
Связанная доля двуокиси углерода*	л/кг	4	8
Массовая доля связанной двуокиси углерода	%	0,7	1,4
Максимальная поглотительная ёмкость**	л/кг	230	306

Примечания:
** Показатель 8 таблицы 1 ГОСТ 6755-88*
*** Получена при нахождении химического поглотителя в газовой среде CO_2*
Notes:
** Indicator 8 of table 1 GOST 6755-88*
*** Obtained when the chemical absorber was in a CO_2 gas environment*

Из таблицы 6 видно, что поглотители на основе гидроксида лития обладают большей поглотительной ёмкостью по сравнению с натронной известью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно руководящим документам выбор качественного химического поглотителя является обязательным пунктом при организации водолазных работ. Необходимо соблюдать правила его хранения, загрузки в поглотительную коробку, а также использовать поглотитель в соответствии с требованиями производителя (не превышать заявленного рабочего времени, не загружать повторно).

С появлением мобильных и простых в эксплуатации портативных кальциметров существенно упростился анализ поглотительных веществ, что имеет большое значение в условиях экспедиций.

Проверка поглотителя на содержание связанного диоксида углерода на подготовительном этапе водолазного спуска (в предспусковой период) позволяет дополнительно скорректировать время использования поглотителя непосредственно перед работой либо отказаться от его использования в случае превышения содержания в нём CO_2, предотвратив риск развития отравления.

Применение кальциметрии позволяет оценить соблюдение условий хранения поглотителя. Предварительная проверка новой партии химпоглотителя на содержание связанного диоксида углерода позволяет выявить некачественный продукт и не допустить его использование при проведении водолазных работ.

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. Штабницкий В. А. Нарушение обмена углекислого газа: особенности патогенеза и диагностики. Consilium Medicum. 2016. Т. 18. вып. 12. С. 88–91.
2. Еськов В. А., Плотников М. Ю., Тарова А. А. Экспериментальное исследование процесса хемосорбции CO_2 листовым литиевым поглотителем. Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XV международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, г. Томск, 24–27 апреля 2018 г. Том 2. Химия. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. С. 111–113.
3. Гладышев Н. Ф., Гладышева Т. В., Путин Б. В., Путин С. Б. Известковые поглотители нового поколения. М.: Спектр, 2012. 135 с. ISBN 978-5-904270-98-8
4. Yarkov A. M, Fokin S. G., Komarova I. V., Kramorenko M. V. Study of the Functional State of Divers Using Closed-Circuit Diving Breathing Apparatus. Biomed J Sci & Tech Res. 2025, vol. 61, issue 2, pp. 53403–53412. DOI: https://doi.org/10.26717/BJSTR.2025.61.009570
5. Фокин С. Г., Бычков С. А., Ярков А. М. Анализ поглотительного вещества на содержание двуокиси углерода с помощью кальциметра «Fann» // Морская медицина. 2023. Т. 9, № 1. С. 100–103. DOI: https://doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-1-100-103

REFERENCES

1. Shtabniczkij V. A. *Narushenie obmena uglekislogo gaza: osobennosti patogeneza i diagnostiki* [Carbon Dioxide Exchange Violation: Features of the Pathogenesis and Diagnosis]. Consilium Medicum. 2016, vol. 18, issue 12, pp. 88–91. (In Russ.)
2. Es`kov V. A., Plotnikov M. Yu., Tarova A. A. *E`ksperimental`noe issledovanie processa xemosorbcii $SO_2$ listovy`m litievy`m poglotitelem* [Experimental Study the Process of $CO_2$ Chemosorption by Sheet Lithium Absorption]. *Perspektivy` razvitiya fundamental`ny`x nauk : sbornik nauchny`x trudov XV mezhdunarodnoj konferencii studentov, aspirantov i molody`x uchyony`x, g. Tomsk, 24–27 aprelya 2018 g. Tom 2. Ximiya* [Prospects for the Development of Fundamental Sciences: Proceedings of the XV International Conference of Students, Postgraduate Students, and Young Scientists, Tomsk, April 24–27, 2018]. Tomsk, Tomsk State University Publishing House, 2018, pp. 111–113. (In Russ.)
3. Glady`shev N. F., Glady`sheva T. V., Putin B. V., Putin S. B. *Izvestkovy`e poglotiteli novogo pokoleniya* [New generation Lime Absorbers]. Moscow, Spektr, 2012, 135 p. (In Russ.) ISBN 978-5-904270-98-8
4. Yarkov A. M, Fokin S. G., Komarova I. V., Kramorenko M. V. Study of the Functional State of Divers Using Closed-Circuit Diving Breathing Apparatus. Biomed J Sci & Tech Res. 2025, vol. 61, issue 2, pp. 53403–53412. DOI: https://doi.org/10.26717/BJSTR.2025.61.009570
5. Fokin S. G., By`chkov S. A., Yarkov A. M. *Analiz poglotitel`nogo veshhestva na soderzhanie dvuokisi ugleroda s pomoshh`yu kal`cimetra "Fann"* [Analysis of Absorbing Substance for Content of Carbon Dioxide via Calcimeter Fann]. *Morskaya medicina* [Marine Medicine]. 2023, vol. 9, no. 1, pp. 100–103. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-1-100-103

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства согласно 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 распределен следующим образом:

Комарова И. В. — концепция и план исследования, сбор и анализ данных, подготовка рукописи.

Ярков А. 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:

Komarova I. V. — conceptualization, methodology, data curation, writing — original draft.

Yarkov A. A. — investigation, data curation, writing — original draft.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Комарова Ирина Владимировна, врач водолазной медицины, ООО «А-РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А); e-mail: i.komarova@urc-rgs.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-1978-1801

Ярков Александр Андреевич, студент 3 курса, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова. (Россия, 194044, Санкт–Петербург, ул. Академика Лебедева д. 6.); e-mail: Alexanderlarkov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Irina Vladimirovna Komarova, Doctor of Diving Medicine, Limited Liability Company “A-RGO” (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia); e-mail: i.komarova@urc-rgs.ru
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-1978-1801

Alexander Andreevitch Yarkov, 3nd year student of the Military Medical Academy named after S. M. Kirov (6 Akademika Lebedeva str., St. Petersburg, 194044, Russia); e-mail: Alexanderlarkov@yandex.ru

Поступила в редакцию	01.09.2026	**Received**	01.09.2026
Прошла рецензирование	13.10.2026	**Revised**	13.10.2026
Принята к публикации	25.10.2026	**Accepted**	25.10.2026

МУЗЕЙ АРХЕОЛОГИИ ЗАЛИВА

20 октября 2026 года в пространствах батареи «Брылкин» форта Великий князь Константин открылся Музей археологии залива. По традиции Центра подводных исследований РГО вместо классической ленточки перерезали настоящую рыболовную сеть. Эта церемония пришла из подводной практики: старинные корпуса кораблей и судов на дне Финского залива часто окутаны сетями, и до начала исследований водолазы очищают от них объект.



* Фотографии **Д. Сосновский**.
Архив ЦПИ РГО



Входной комплекс
Музея археологии залива





△ Сергей Фокин, исполнительный директор ЦПИ РГО, и Кирилл Дьяковский, генеральный директор АО «Третий парк», разрезают рыболовную сеть на открытии музея

◁ Зал находок с военных кораблей XX века



Витрины с находками из зала XIX века

Финский залив — настоящий хранитель сокровищ. Под его водами покоятся десятки тысяч затонувших судов и кораблей, каждый из которых является капсулой своего времени, а совокупность физических условий исключительно благоприятна для сохранения вещей из природных материалов. Подводная археология — наука, вызволяющая исторические свидетельства и уникальные предметы из морских глубин для обогащения общих знаний о нашем прошлом.

Долгосрочный выставочный проект Центра подводных исследований РГО разместился в четырёх помещениях батареи «Брылкин» форта Великий князь Константин. Первый экспозиционный зал посвящён самой акватории: её стратегической важности, торговым путям и природным особенностям. Последующие пространства наполнены подлинными предметами быта, торговли и военного ремесла по векам: XVIII, XIX и XX. Каждый зал имеет характерное эпохе художественное оформление: визуальная стилистика и аудиосопровождение дополнены аромадизайном, усиливающим эмоциональное восприятие экспозиции.



Текстиль с немецкого торгового судна «Архангел Рафаил»



Витрины зала XIX века



△
Зал с находками с судов и кораблей XVIII века



◁ Зрители на открытии музея

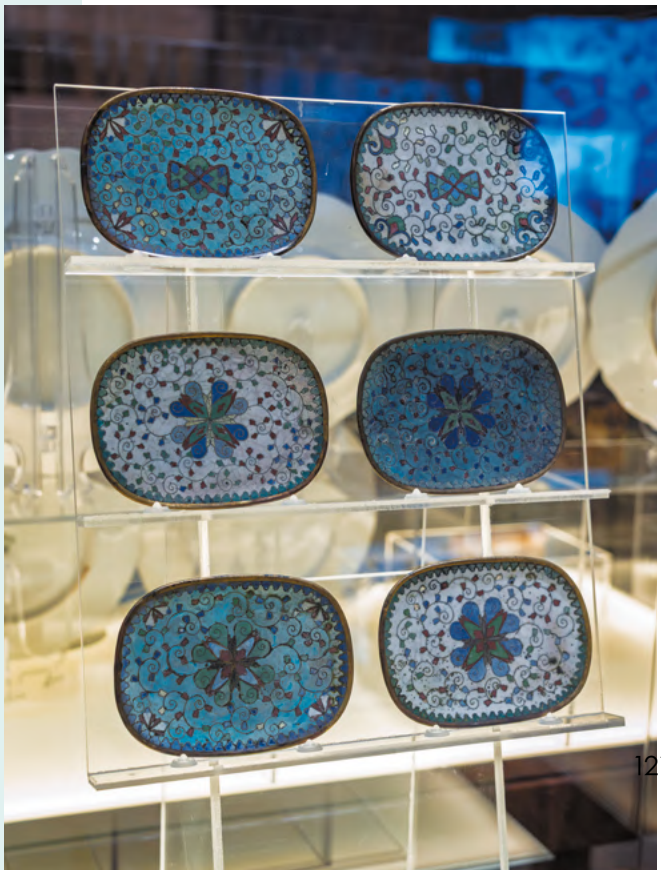
Подносики, XIX в., Япония. Подняты с российского броненосца «Гангут»
▽

В стилизованных витринах музея разместилось более 300 экспонатов. Мультимедийные экраны и информационные стенды рассказывают о нескольких десятках подводных экспедиций. В ходе этих исследований и были подняты представленные предметы, большинство из которых не имеют аналогов в музейных фондах не только нашей страны, но и мира.

Помимо исторического повествования об ушедшем времени, экспозиция рассказывает о современных технологиях и методиках проведения подводных археологических работ, позволяющих специалистам проникать в глубины времён сквозь толщу воды.

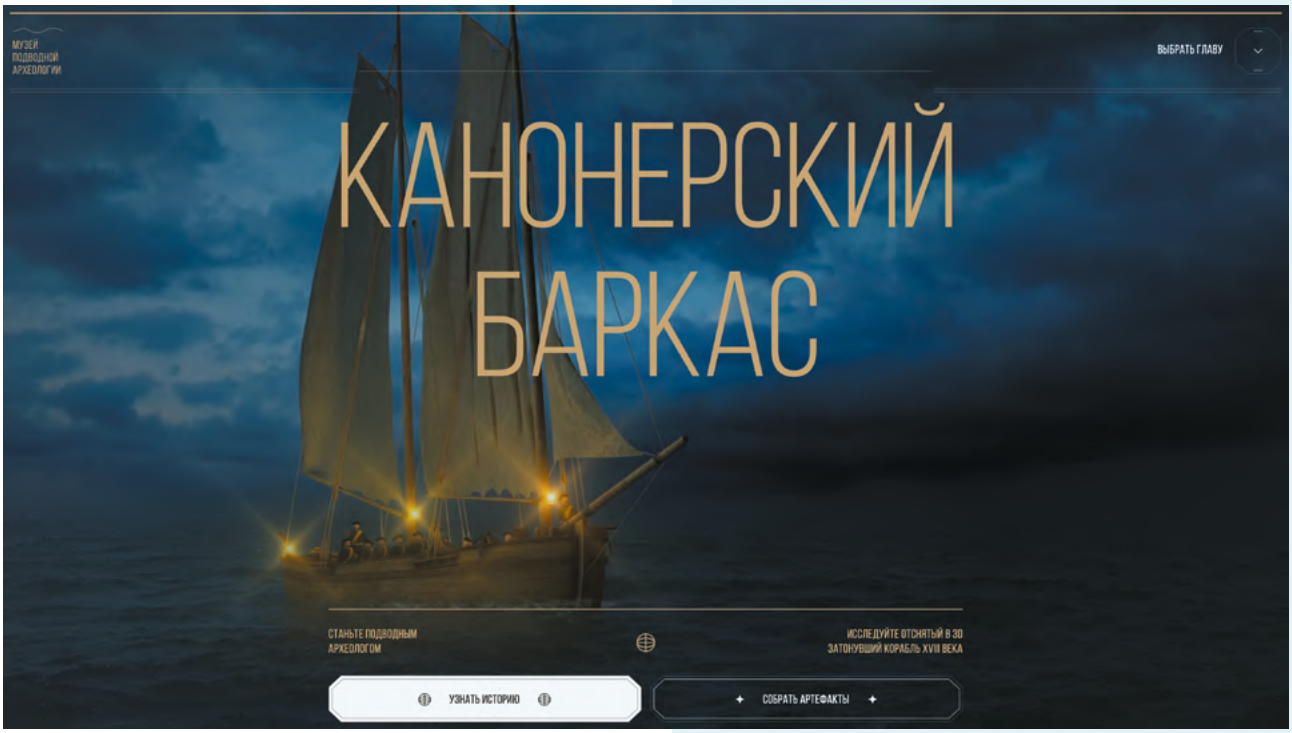
Организаторы выставки: Центр подводных исследований Русского географического общества и Историко-культурный комплекс «Форт Константин».

Сайт музея https://zalivmuseum.ru/



КАК ПОГРУЗИТЬСЯ НА ДНО ФИНСКОГО ЗАЛИВА, НЕ ВСТАВАЯ ИЗ-ЗА КОМПЬЮТЕРА?

В ноябре 2026 года в Музее подводной археологии underwatermuseum.ru был запущен игровой 3D-проект, посвящённый шведскому военному кораблю XVIII века (Kanonbarkass № 8). Это редкая для зрителя возможность совершить погружение к останкам судна, самостоятельно найти и изучить артефакты.



△
Скриншот интерактивной выставки о Канонерском баркасе на сайте Музея подводной археологии

Скриншот с реконструкцией гибели Канонерского баркаса на сайте Музея подводной археологии



Музей подводной археологии — проект Национального центра подводных исследований и Центра подводных исследований РГО. Он соединяет лучшие цифровые технологии и уникальные находки из-под воды. Для журнала «Гидрокосмос» мы взяли короткое интервью у куратора музея Ольги Каплёновой.

— Как появилась идея онлайн-музея как особого виртуального пространства?

— Во время исследований сотрудники Центра детально изучают каждую находку, собирают огромное количество архивной и полевой информации, занимаются реконструкцией исторических событий, но в итоге у них остаются только собранные материалы. Согласно 73-му Федеральному закону «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» после подъёма артефактов или фрагментов затонувшего корабля исследователям даётся всего три года на консервационные и реставрационные работы, организацию выставок, продвижение найденного подводного культурного наследия. После этого срока все артефакты должны быть переданы в государственный музейный фонд, где часть ещё и надолго осядет в хранилищах. Например, работа над немецким торговым судном «Архангел Рафаил» длилась семь полевых сезонов, была собрана колоссальная база знаний. Когда почти все артефакты были переданы в Музей истории Кронштадта, команде крайне важно было остаться причастной к этой работе. Так и возникла идея создания онлайн-музея, который позволит сохранить внимание к поднятым артефактам и продолжить работу с ними, символически оставляя их «своими». Важна и возможность показать массовому зрителю и профсообществу артефакты через призму особого, «авторского», взгляда подводного исследователя.

— В чём особенность цифрового подхода к работе с археологическими находками?

— Онлайн-формат делает возможным создание абсолютно любых экспозиций: как перенести реальную выставку в цифровую версию, так и сделать совершенно новый проект, который нельзя реализовать офлайн. Когда у наших партнёров — Центра подводных исследований Русского географического общества — появился собственный Музей археологии залива на территории форта Константин, стало очевидно, что больше не нужно дублировать коллекцию артефактов онлайн. Мы должны предлагать другой угол зрения, дополнять офлайн-экспозиции, иллюстрировать новые перспективы и проблематику подводных исследований.

Так, выставка о Kanonbarkass № 8 приглашает зрителей опуститься на дно Финского залива и рассмотреть останки корабля статус-кво. Для создания эффекта полного погружения используются снимки, сделанные методом фотограмметрии, созданные из снятых водолазами тысяч изображений или видеофрагментов, соединённых вместе. Сделать фотограмметрию под водой крайне сложно: на водолазов действуют течение, плохая видимость, донная взвесь, ограниченное время работы на дне, сложности с освещением большого или даже небольшого затонувшего объекта. Зато в итоге мы получаем точные модели подлинного состояния судна под водой.

— Как соблюсти баланс между научностью и зрелищностью в цифровом проекте?

— Наша первичная задача — с научной точки зрения отобразить те данные, которые мы получили в результате обследования судна, подъёма и изучения артефактов. Поэтому в основе каждого проекта — всё-таки научные данные. Но представить широкому зрителю информацию исключительно в научном разрезе — вряд ли оптимальное решение. Нам нужно заинтересовать зрителя и передать эмоции исследователей от встречи с теми или иными артефактами. Достигается это разными способами. Собственно, музей — это конструктор, из которого мы в любой момент можем собрать или обновить выставку, используя разные медиаформаты, от 3D-моделей до фото- и текстовых блоков.

— И расскажите подробнее о новом проекте.

— Канонерский баркас — военный корабль, затонувший, предположительно, во время Выборгского сражения в Финском заливе, в ночь с 22 на 23 июня 1790 года. Его идентификация затруднена, так как в архивах России и Швеции данные противоречат друг другу. Ранее у нас уже была выставка-лонгрид о канонерском баркасе и находках с него. Но благодаря снятой фотограмметрии она полностью переродилась. В проекте на 3D-модели текущего состояния баркаса на дне, на глубине 21 м, на палубе разложены подлинные артефакты (также снятые в 3D) и дано их описание. Получилась игра-квест с миссией для водолаза-исследователя помочь археологу собрать все предметы, спасти их от разрушения течениями, рыбацкими сетями и чёрными копателями. Нам кажется, это отличный пример использования саунд-дизайна и элементов геймификации в демонстрации результатов археологических работ.

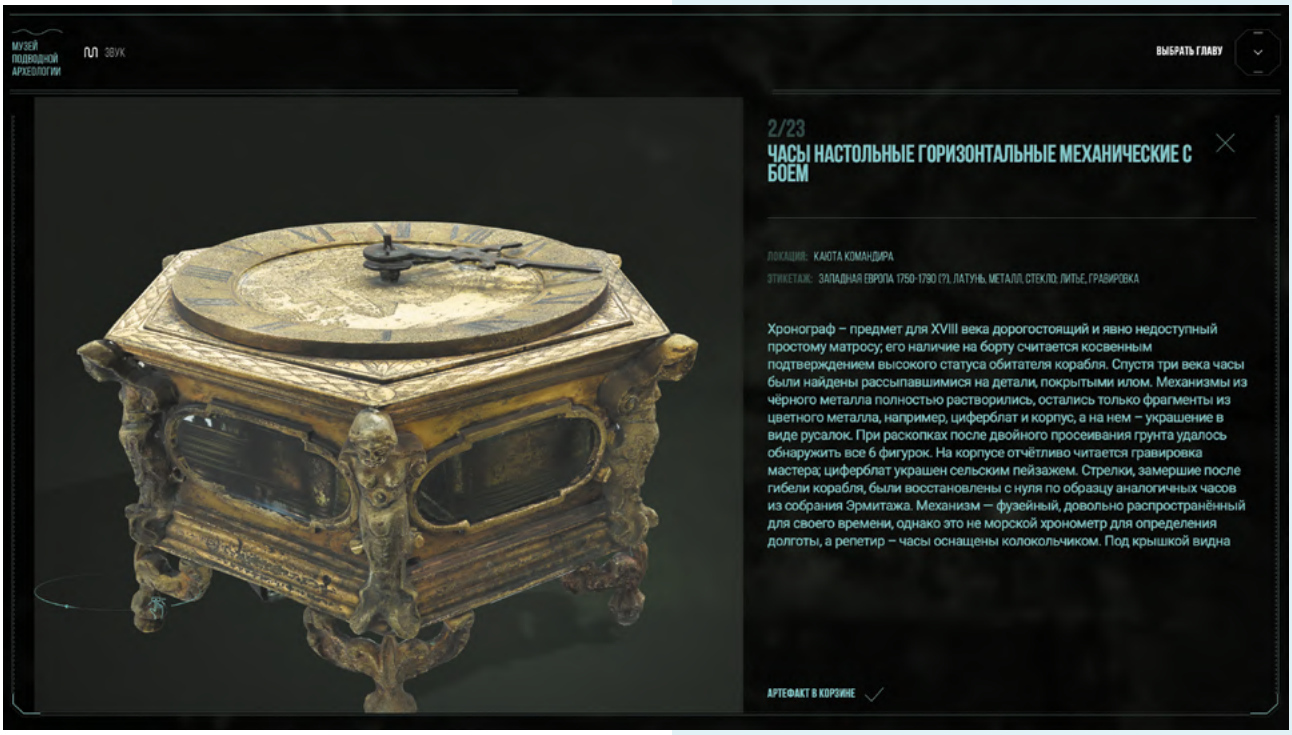


△
Скриншот игрового интерфейса интерактивной выставки о Канонерском баркасе



△

Скриншот игрового интерфейса интерактивной выставки о Канонерском баркасе



△

Скриншот с описанием одной из находок с Канонерского баркаса

© АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества», 2026


ЦЕНТР ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РГО



ISSN 2949-3838 (Print)
ISSN 3033-7976 (Online)