



HYDROCOSMOS

ГИДРОКОСМОС

5-6 ТОМ 2, 1
'24



российский научный журнал | russian scientific journal





Д. П. Зверев

*начальник кафедры
физиологии подводного плавания
Военно-медицинской академии
имени С. М. Кирова, нештатный
главный специалист по водолазной
медицине Министерства обороны*

В номере журнала, который уважаемые читатели держат в руках, несколько статей посвящены проблемам гипербарической физиологии и водолазной медицины. И это не случайно. С того момента, когда благодаря инженерной мысли было создано снаряжение, позволяющее человеку длительное время находиться на глубине, возникла необходимость разрабатывать медицинские мероприятия для профилактики и лечения специфических и неспецифических водолазных заболеваний.

Водолазная медицина занимается, прежде всего, предупреждением заболеваний. Для этого надо не только следить за четкой организацией водолазного спуска, за функциональным состоянием организма водолаза до, во время и после спуска, но и проводить системные научные исследования для определения допустимых параметров неблагоприятных факторов повышенного давления газовой и водной сред, действующих на организм. Результаты таких исследований представлены в статьях, посвященных возможностям водолазного компьютера по расчету безопасных режимов декомпрессии (профилактика острой декомпрессионной болезни), уточнению критериев оптимальной дыхательной газовой смеси (профилактика отравлений газообразными веществами), целесообразности использования метода тимпанометрии для выявления нарушений функции слуховой трубы (профилактика баротравмы уха).

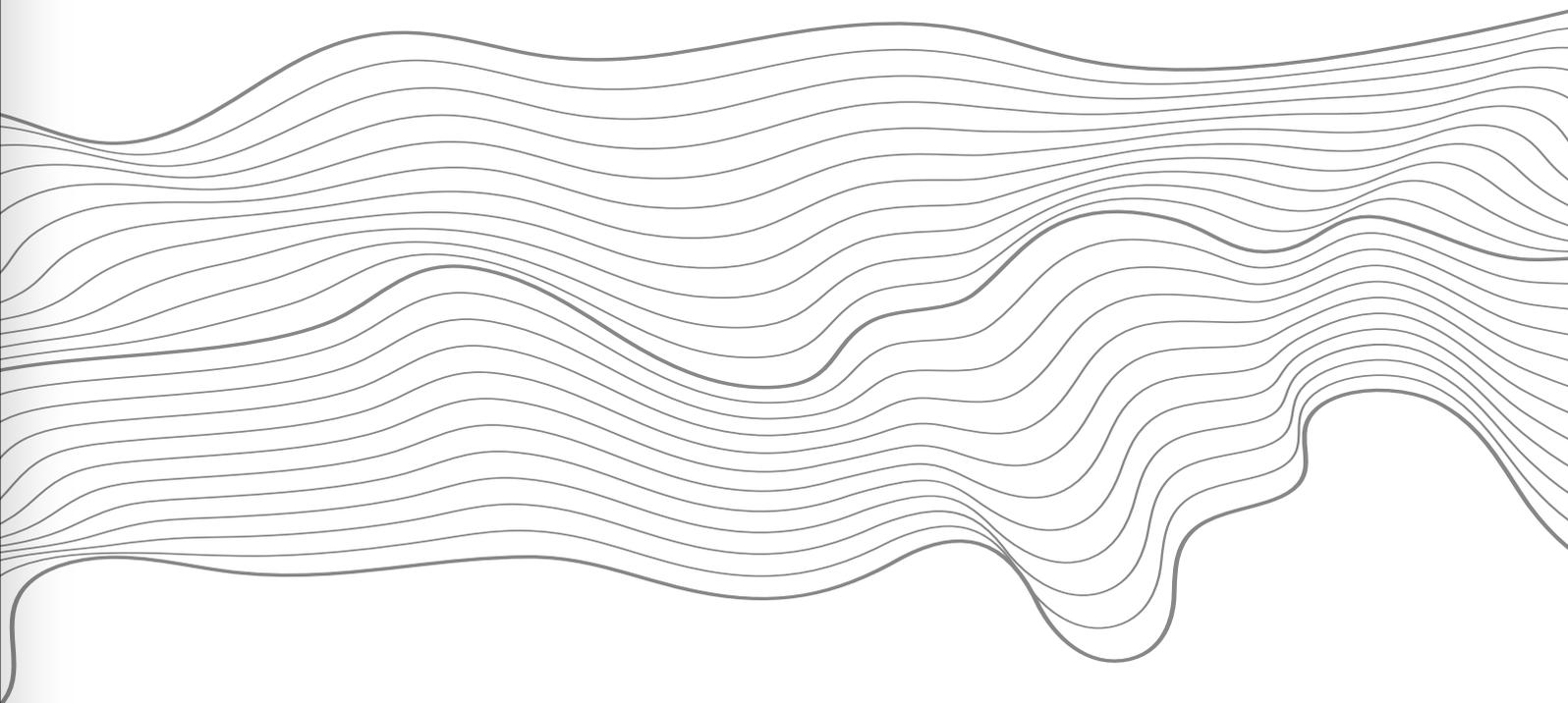
Здоровья водолазам и читателям!

Центр подводных исследований Русского географического общества

ГИДРОКОСМОС

Российский научный журнал

Том 2, 1, № 5–6
2024



HYDROCOSMOS

Russian scientific journal

Vol. 2, 1, No. 5–6
2024

Underwater Research Center of the Russian Geographical Society

РЕДАКЦИОННАЯ ПОЛИТИКА

01. Цели и задачи

Научный журнал «Гидрокосмос» — первое в России междисциплинарное издание о подводных исследованиях. Он задуман как площадка для обсуждения научных проблем изучения свидетельств взаимодействия людей с морями, озерами и реками, исследованиям смежных занятий и ремесел, а также ныне затопленных участков суши. В повестку издания входят вопросы по теории и методологии подводных

исследований, проблемы морской археологии, связанные с консервацией и реставрацией предметов, обнаруженных в воде, вопросы сохранности объектов культурного наследия, технического, медицинского, организационного и юридического обеспечения подводных археологических работ. Журнал «Гидрокосмос» создан как инструмент для укрепления сообщества теоретиков и практиков подводных исследований, для обеспечения синергии в дальнейшем развитии отрасли в России.



Журнал издается в русской и англоязычной версиях, поскольку для нас важно продвижение российской науки за рубежом и содействие самому широкому взаимодействию и научному обмену в среде ученых и энтузиастов, связанных с подводной археологией.

Редакция журнала «Гидрокосмос» ставит перед собой цель бороться за высокий научный уровень публикаций и войти в российские и международные научные рейтинги. Все публикуемые материалы оформляются в соответствии с международными стандартами и снабжаются аннотациями, ключевыми словами и списком источников и литературы.

02. Общие требования

Исходя из целей журнала, предъявляются требования к публикуемым статьям. Они должны содержать постановку научной проблемы, описание источников, на которых построена статья, описание методики, примененной автором в своем исследовании, вывод, соответствующий теме и названию статьи. Статья должна содержать полный список использованной литературы и источников (на которые есть ссылки в самой статье), а также ссылки на них на языке оригинала с транслитерацией на русский или английский язык в соответствии с редакционными правилами. Не рекомендуется использовать энциклопедические статьи (печатные и электронные) в качестве источников, если только они не являются объектом исследования. Авторам рекомендуется по возможности ссылаться на печатные, а не электронные издания. Плагиат не допускается. В случаях самцитирования авторы должны указать источник ранее опубликованной информации и обосновать необходимость ссылки на такой источник.

В случае соавторства редакция оставляет за собой право запросить объяснение степени вклада каждого автора в конкретную статью. Авторы обязаны предоставить информацию о том, что их исследование имеет особое финансирование (в рамках грантов, субсидий и т. п.). Авторы несут ответственность за то, что права на публикацию предоставленных ими иллюстраций (фотографий, схем, чертежей и др.) действительно принадлежат авторам либо предоставлены авторам в законном порядке. Редакция оставляет за собой право запрашивать у авторов разъяснения по данному вопросу. Иллюстрации, предоставленные авторами, могут быть отвергнуты по причине их несоответствия техническим требованиям.

Журнал «Гидрокосмос» поощряет дискуссии на своих страницах. В любом случае автору критикуемой статьи или другой публикации в нашем журнале будет предоставлена возможность ответить оппонентам на страницах журнала (при соблюдении всех правил, которыми руководствуется редакция).

03. Периодичность

Журнал «Гидрокосмос» является ежеквартальным изданием.

04. Открытый доступ

Все публикации журнала находятся в непосредственном открытом доступе с целью способствовать глобальному обмену знаниями. Журнал издается в электронном виде и размещен на сайте гидрокосмос.рф. Бумажная версия журнала является дополнительной по отношению к электронной.

05. Рецензирование

Все статьи проходят двойное слепое рецензирование, то есть осуществляется по принципу «double blind», т. е. анонимно: имена авторов и рецензентов не раскрываются друг другу. Переписка автора и рецензента происходит через редакцию.

06. Этика

Редакционная коллегия несет ответственность за все опубликованные материалы. Редакционная коллегия стремится строго придерживаться комплекса процедур, обеспечивающих высокое качество публикуемых материалов, совершенствовать его, защищать свободу выражения мнений, культуру научной дискуссии, высокие интеллектуальные и этические стандарты. Решение редакционной коллегии принять или отклонить статью основывается исключительно на ее важности, оригинальности, научном качестве, достоверности результатов исследования, соответствии тематике журнала. Редакционная коллегия в своей деятельности строго следует установленным процедурам и правилам, включая соблюдение сроков работы с предоставленными материалами, и рассчитывает на понимание и сотрудничество авторов в этом вопросе. Редакционная коллегия ожидает от рецензентов, задействованных в процедуре двойного слепого рецензирования, соблюдения установленных правил, в частности, сохранения полной конфиденциальности присланных материалов, раскрытия возможного конфликта интересов, соблюдения этических норм. Редакционная коллегия не раскрывает личных данных рецензентов без их письменного согласия.

Редакционная коллегия обязуется соблюдать законодательство Российской Федерации, связанное с вопросами конфиденциальности, в том числе Федеральный закон № 152 ФЗ «О защите данных» от 27 июля 2006 г. и Федеральный закон № 149 ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27 июля 2006 г. со всеми соответствующими изменениями в эти акты. Кроме того, независимо от законодательства, редакционная коллегия обязуется всегда защищать конфиденциальность личной информации, полученной в ходе исследований или профессиональной деятельности. При необходимости редакция имеет право запросить письменное информированное согласие на публикацию у лиц, которые могут узнать себя или быть идентифицированными другими (например, по историям болезни или фотографиям). В своей деятельности редколлегия руководствуется рекомендациями международного Комитета по публикационной этике (COPE).

07. Плата за публикацию

Плата за публикацию статьи, ее рецензирование или другую обработку не взимается.

08. Обязанности авторов

Автор, отправляющий рукопись на рассмотрение в журнал, подтверждает, что она является оригинальной, то есть не публиковалась ранее в других изданиях в нынешней или близкой по содержанию форме и не находится на рассмотрении в другом журнале. Если работа основана на материале, ранее опубликованном в качестве доклада, препринта, рабочего материала, следует уведомить об этом редакцию.

В список авторов включаются только лица, внесшие существенный вклад в проведение исследования, и все они подтверждают свое согласие на представление рукописи в журнал. При этом автор, который поддерживает контакт с редакцией, не принимает единоличных решений и уведомляет всех своих соавторов о возможных исправлениях в статье.

Авторы должны представлять результаты своих исследований честно, без фабрикаций, фальсификации или недобросовестного манипулирования данными.

Авторы гарантируют отсутствие в работе плагиата в любой форме; в случае использования работ или утверждений других лиц авторы предоставляют соответствующие библиографические ссылки или цитаты.

Авторы должны избегать самоплагиата и корректно ссылаться на свои предыдущие работы. Представление одних и тех же данных в нескольких публикациях, дословное копирование и перефразирование собственных работ автора недопустимы.

Авторы обязаны раскрывать в своих рукописях финансовые или другие существующие конфликты интересов (в том числе гранты и другое финансовое обеспечение), которые могут быть восприняты как оказавшие влияние на результаты или выводы, представленные в работе.

В случае обнаружения существенных ошибок или неточностей в своей уже опубликованной работе автор должен своевременно уведомить об этом редакцию и принять совместное с ней решение о возможной форме их исправления.

09. Отзыв (ретракция) статей

При рассмотрении ситуаций, связанных с отзывом (ретракцией) статей, редакция и издатель журнала руководствуются рекомендациями Комитета по публикационной этике (COPE Retraction Guidelines) и Совета по этике АНРИ [Правило отзыва (ретрагирования) статьи от публикации].

Основания для отзыва статьи:

- обнаружение в статье серьезных ошибок или фальсификации данных, что ставит под сомнение ее научную ценность;
- дублирование публикации в нескольких изданиях;
- обнаружение некорректных заимствований (плагиата) в публикации.

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:

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

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

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

В. В. Лобынцев, доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта, кандидат технических наук, г. Москва, Россия

Д. Ю. Минкин, профессор, доктор технических наук, г. Санкт-Петербург, 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

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

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

РЕДАКТОР-АДМИНИСТРАТОР:

*И. А. Аксенова, проектный менеджер
АНО «ЦПИ РГО», г. Санкт-Петербург,
Россия*

**ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР,
ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР:**

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

ДИЗАЙН, ВЕРСТКА:

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

РЕЦЕНЗЕНТЫ НОМЕРА:

*В. В. Вахонеев, канд. ист. наук
Е. Н. Головач, канд. мед. наук
Н. А. Грязнов, кан. ф-м. наук
М. В. Краморенко, канд. тех. наук
М. З. Лесен, врач первой категории
А. Н. Мазуркевич
К. Б. Назаренко, д-р ист. наук
П. П. Пивнев, кан. тех. наук
Д. Д. Пиганов
Д. В. Реймов, канд. мед. наук
С. Л. Соловьев, канд. ист. наук
Б. В. Сорокин
Ю. Р. Ханкевич, д-р мед. наук
А. И. Малахов*

ISSN 2949-3838

Гидрокосмос.

2024. Том 2, 1. № 5–6. 1–140.

Подписано в печать: 01.07.2024.

Дата выхода в свет: 23.07.2024.

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

Полное или частичное
воспроизведение материалов
возможно только по согласованию
с редакцией.
Точка зрения авторов может
не совпадать с мнением редакции.

Статья может быть отозвана по официальному обращению авторов, мотивированно объяснивших причину своего решения, а также по инициативе редакции журнала или издателя на основании собственной экспертизы. В последнем случае автору (или ведущему автору в составе коллектива авторов) направляется официальное письмо с информацией о причинах отзыва статьи.

После отзыва статья остается на сайте журнала в составе соответствующего выпуска и сохраняет идентификатор DOI, но помечается как отозванная. Такая же пометка делается в оглавлении выпуска. PDF-версия статьи заменяется идентичной версией с водяным знаком, указывающим на каждой странице, что статья отозвана.

Редакция публикует заявление об отзыве статьи с указанием причин и даты ретракции на официальном сайте журнала и в ближайшем печатном выпуске.

Информация об отзыве статьи и ее PDF-версия с соответствующей маркировкой направляются в НЭБ (elibrary.ru) и другие библиографические базы, в которые включен журнал.

10. Политика раскрытия и конфликты интересов

Неопубликованные данные, полученные из представленных к рассмотрению рукописей, нельзя использовать в личных исследованиях без письменного согласия Автора.

Информация или идеи, полученные в ходе рецензирования и связанные с возможными преимуществами, должны сохраняться конфиденциальными и не использоваться с целью получения личной выгоды.

Рецензенты не должны участвовать в рассмотрении рукописей в случае наличия конфликтов интересов вследствие конкурентных, совместных и других взаимодействий и отношений с любым из Авторов, компаниями или другими организациями, связанными с представленной работой.

Учредитель и издатель

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

Периодичность

Ежеквартально (4 раза в год)

Сайт

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



EDITORIAL POLICY

01. Aims and objectives

The scientific journal “Hydrocosmos” is Russia’s first interdisciplinary publication on underwater research. It is conceived as a platform for discussing scientific problems, namely, studying the evidence of human interaction with seas, lakes and rivers, research of related activities and crafts as well as exploration of currently submerged land areas. The periodical’s agenda includes different issues

on the theory and methodology of underwater research; the problems of marine archaeology relating to conservation and restoration of subsea-found objects; the issues of preservation of cultural heritage objects; technical, medical, organisational and legal support of underwater archaeological works. “Hydrocosmos” was set up as a tool to consolidate the community of underwater research theorists and practitioners, to ensure synergy in further development of this industry in Russia.



The journal is published in Russian and English versions, since it is important for us to promote Russian science abroad and to facilitate maximum possible interaction and scientific exchange among scientists and enthusiasts involved in underwater archaeology.

The editorial board of the journal "Hydrocosmos" aims to secure high scientific level of its publications and to enter the Russian and international scientific rankings. All published materials are formatted in accordance with the international standards and provided with abstracts, keywords, a list of sources and references.

02. General requirements

Proceeding from the objectives of the journal, certain requirements are set for published articles. They should contain a statement of the scientific problem, description of sources underlying the article, description of methodology applied by the author in his/her research, a conclusion substantiating the subject and title of the article. The article should contain a complete list of used literature and sources (referred to in the article), with references to them in the original language and with transliteration into Russian or English in accordance with the editorial rules. It is not recommended to use encyclopaedic articles (printed and electronic) as sources unless they represent a subject of the research. The authors are advised to refer to printed rather than electronic publications whenever possible. Plagiarism is not allowed. In cases of self-citation, the authors should refer to the source of previously published information and justify the need to refer to this source.

In case of co-authorship, the editorial board reserves the right to inquire about the extent of contribution of each author to the article. The authors are obliged to provide due information in case their research has special funding (within the framework of grants, subsidies, etc.). The authors should responsibly confirm that the right to publish the illustrations (photographs, charts, drawings, etc.) provided by them really belongs to them or is legally granted to them. The editorial board reserves the right to ask the authors' clarification with respect to the above. Illustrations provided by authors may be rejected for the reason of their non-compliance with the technical requirements.

The journal "Hydrocosmos" encourages discussions in its pages. In any case, the author of a criticised article or other publication in our journal will be given an opportunity to respond to the opponents on the pages of the journal (subject to all rules adhered to by the editorial board).

03. Publication frequency

The journal "Hydrocosmos" is a quarterly edition.

04. Open Access

All publications of the journal are in direct and open access in order to promote global knowledge exchange. The journal is published in electronic form and is available on the website hydrocosmos.ru. The paper version of the journal is complementary to the electronic one.

05. Reviewing

All articles are double-blind peer reviewed, which means that reviewing is performed according to the "double-blind" principle, i.e. anonymously: the names of authors and reviewers are not disclosed to each other. The correspondence between the author and the reviewer takes place through the editorial board.

06. Ethics

The editorial board is responsible for all published materials. The editorial board endeavours to strictly adhere to a set of procedures aimed to ensure high quality of the published materials, to improve it, to protect freedom of expression, culture of scientific discussion, high intellectual and ethical standards. The editorial board's decision to accept or reject an article is based solely on its importance, originality, scientific quality, reliability of research results, compliance with the journal's subject area. The editorial board strictly follows the established procedures and rules in its activities, including compliance with deadlines for working with submitted materials, and relies on understanding and co-operation of authors with respect to this. The editorial board expects the reviewers involved in double-blind review procedure to comply with the established rules, in particular, to maintain full confidentiality of submitted materials, to disclose possible conflicts of interest and to observe ethical standards. The editorial board does not disclose the reviewers' personal data without their written consent.

The editorial board undertakes to comply with the legislation of the Russian Federation related to privacy issues, including the Federal Law No. 152-FZ "On Data Protection" as of 27 July 2006 and the Federal Law "On Information, Information Technologies and Information Protection" No. 149-FZ as of 27 July 2006, with all relevant amendments to these acts. In addition, regardless of the legislation, the editorial board commits itself to always protect confidentiality of personal information obtained in the course of research or professional activity. If necessary, the editorial board has the right to request written informed consent for publication from persons who may recognise themselves or be identified by others (e.g. on the basis of medical history records or photographs). The editorial board is guided in its activities by recommendations of the International Committee on Publication Ethics (CORE).

07. Publication fee

No fee is charged for publication of articles, their review or other processing.

08. Authors' responsibilities

The author submitting a manuscript to the journal for consideration confirms that it is original, i.e., it has not been previously published in other editions in its present or similar form (in terms of content) and is not under review by any other journal. If the work is based on the material previously published as a report/paper, preprint, working material, the editorial board must be notified about it.

Only the scholars who have made a significant contribution to the research are included in the list of authors, and all of them confirm their consent to submit the manuscript to the journal. The author who maintains contact with the editorial board does not take sole decisions and notifies all the other co-authors about possible corrections to the article.

The authors must present the results of their research honestly, with no fabrication, falsification or unfair manipulation of data.

The authors guarantee that the work is free from plagiarism in any form; when using the works or statements of other writers, the authors provide appropriate bibliographic references or citations.

The authors must avoid self-plagiarism and refer to their previous works in a correct manner. Presentation of the same data in several publications, verbatim copying and paraphrasing of the author's own works is unacceptable.

The authors are required to disclose any financial or other existing conflicts of interest in their manuscripts (including grants and other financial support) that could be perceived as having influenced the results or conclusions presented in the paper.

In case the author reveals some significant errors or inaccuracies in his/her work, already published, he/she must notify the editorial board about it in a timely manner and make a joint decision with the editorial board on the possible form of their correction.

09. Withdrawal (retraction) of articles

When considering the situations related to withdrawal (retraction) of articles, the editorial board and the journal publisher are guided by the recommendations of the Committee on Publication Ethics (COPE Retraction Guidelines) and those of the Council on Scientific Publications Ethics under the Association of Scientific Editors and Publishers (ASEP) (the Rule for withdrawal {retraction} of an article from publication).

The grounds for withdrawal of an article:

- revealing serious errors or falsification of data in the article, which brings its scientific value into question
- duplication of the publication in several editions
- revealing unattributed borrowing (plagiarism) in the publication

EDITOR-IN-CHIEF:

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

SCIENTIFIC EDITOR:

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

SCIENTIFIC ADVISER:

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

EDITORIAL BOARD:

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

M. 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

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

V. V. Lobyntsev, Associate Professor of Department of Electrical Engineering of Transport at the Institute of Transport Technologies and Control Systems of the Russian University of Transport, PhD (Technical Sciences), Moscow, Russia

D. Yu. Minkin, Professor, Doctor of Technical Sciences, St. Petersburg, Russia

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

R. 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

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

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

ADMINISTRATIVE EDITOR:

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

LITERARY EDITOR, PROOFREADER:

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

DESIGN, LAYOUT:

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

ISSUE REVIEWERS:

V. V. Vakhoneev, PhD (History)
E. N. Golovatch, PhD (Medicine)
N. A. Gryaznov, PhD (Physics, Mathematics)
M. V. Kramorenko, PhD (Technical sciences)
M. Z. Lesen, doctor with the 1st qualification category
A. N. Mazurkevich
K. B. Nazarenko, Doctor of History, Professor
P. P. Pivnev, PhD (Technical sciences)
D. V. Reimov, PhD (Medicine)
S. L. Solovyov, PhD (History)
B. V. Sorokin
Yu. R. Khankevitch, Doctor of Medicine
A. I. Malakhov

ISSN 2949-3838

Hydrocosmos.

2024. Vol. 2, 1. no. 5–6. 1–140.

Signed for publication: 01.07.2024.

Publication date: 23.07.2024.

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

For copying or reproduction for any purposes written permission must be sought from the editorial team. Views expressed in the journal are those of the authors and do not necessarily represent those of the editorial team.

An article can be withdrawn following an official appeal of the authors who motivated the reason for their decision, as well as on the initiative of the editorial board or the journal publisher on the basis of their own expert examination. In the latter case, the author (or the lead author in the team of writers) is sent an official letter with the information on the reasons for withdrawal of the article.

After the withdrawal, the article remains on the journal's website as part of the pending issue and retains its DOI identifier, but is marked as withdrawn. The same marking is made in the table of contents of the issue. The PDF version of the article is replaced by an identical version with a watermark on each page indicating that the article has been withdrawn.

The editorial board publishes a statement about the article's withdrawal with indication of the reasons and the retraction date on the official website of the journal and in the pending print-version issue.

The information about withdrawal of the article, along with its PDF version with appropriate marking, is sent to the National Electronic Library (elibrary.ru) and other bibliographic databases in which the journal is included.

10. Disclosure policy and conflicts of interest

Any unpublished data contained in the manuscripts submitted for review may not be used in personal research without the Author's written consent.

The information or concepts obtained during the review and capable to yield possible benefits must be kept confidential and not be used for personal gain.

The reviewers must not participate in review of manuscripts in case of conflicts of interest caused by competitive, collaborative and other interaction and relations with any of the Authors, companies or other organisations connected with the submitted work.

Founder and Publisher

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

Publication Frequency

Quarterly

Websitehydrocosmos.ru**Postal address**

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

Emailhydrocosmos@urc-rgs.ru**Phone**

+7 812 327 45 05

Subscription

Free distribution



КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

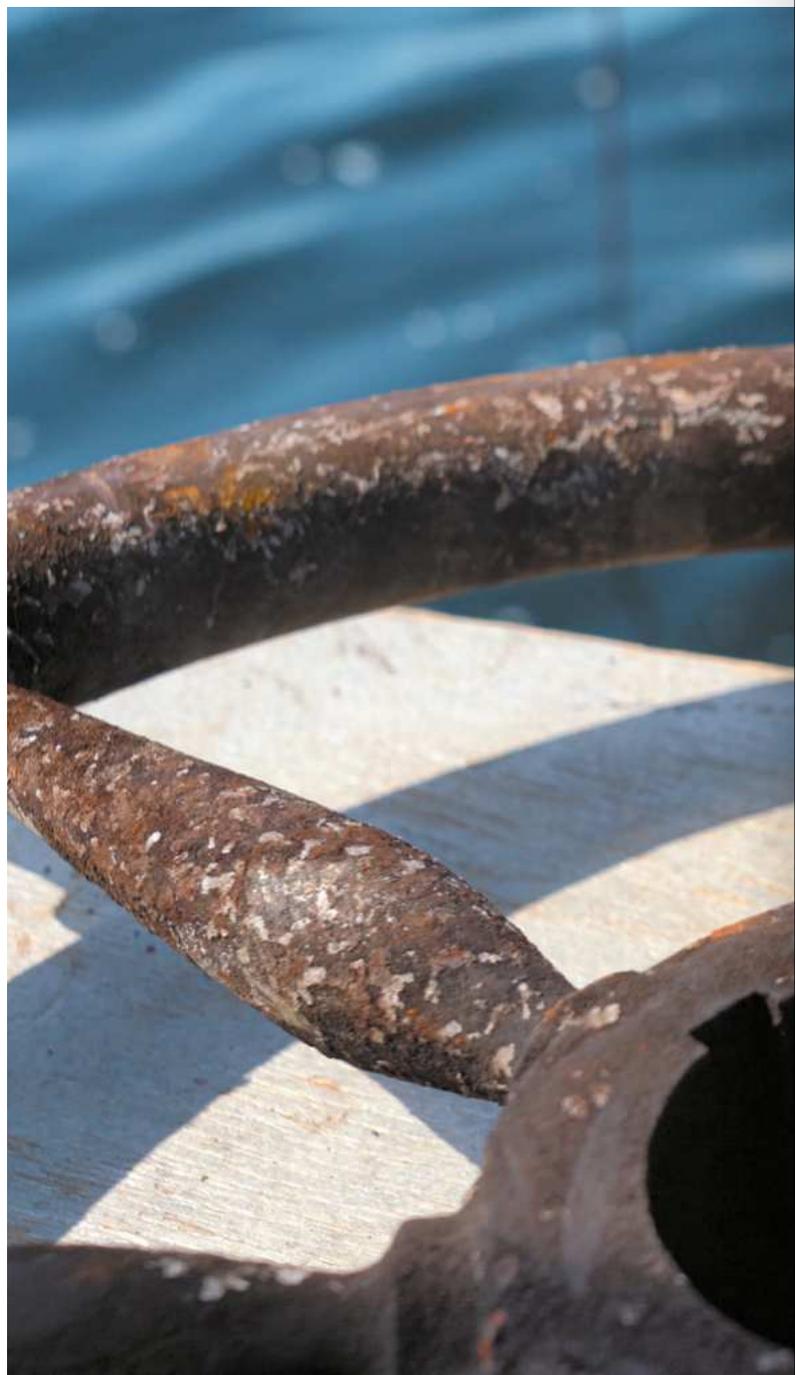
Дорогие читатели, рад приветствовать вас на страницах журнала «Гидрокосмос» уже второй год.

Рад отметить, что наш журнал полностью отвечает своей междисциплинарной парадигме. В первых номерах нашли отражение множество вопросов по подводной археологии, технике, медицине, экологии — по широкому спектру тем, связанных с освоением водной среды. В 2024 году мы продолжаем держать взятый курс.

В этом номере отдельное внимание уделено вопросам безопасности водолазных работ и водолазных спусков, различным ее аспектам. Для ЦПИ РГО это закономерность, так как уже несколько лет мы ведем НИОКР по водолазной тематике. Не забыли и про подводную археологию, где на практике применяются все достижения из области подводно-технических исследований.

Здесь вы найдете материалы по истории кораблекрушений, исследований подводных археологических объектов и объектов, имеющих культурно-историческое значение. Отдельное внимание уделено музеефикации объектов и выставочной деятельности. Рады видеть, что многочисленные усилия российских ученых и практиков, а также организаций по разработке новой техники отражены и на наших страницах в статьях от коллег и единомышленников.

В этом году Центр подводных исследований Русского географического общества совместно с Государственным музеем-заповедником «Петергоф» организуют масштабный проект с выставкой, научными событиями и детской образовательной программой. В рамках него 3–4 октября на базе музея-заповедника состоится межрегиональная конференция «Подводная археология в современных музейных практиках». В фокусе дискуссий — взаимодействие подводных археологов с финальным «потребителем» подводных исследований, с музеями. В программе двух дней работы: сессии о потенциале Финского залива как источника предметов культурного наследия, их реставрации и сложностях музеефикации. Уверен, что доклады будут интересны не только узкому профессиональному кругу, но и отрасли в целом. А потому все они будут опубликованы на страницах нашего журнала.



Мы приглашаем к участию сотрудников музеев, реставрационных мастерских, археологических институций из разных регионов России. Информацию об условиях участия ищите на сайте ГМЗ «Петергоф», ЦПИ РГО и нашего журнала.

Ждем встречи с Вами на страницах «Гидрокосмоса» и на мероприятиях о подводных исследованиях!

Штурвал затонувшего судна,
поднятый со дна Финского залива.
Фотография из архива ЦПИ РГО



СЕРГЕЙ ГЕОРГИЕВИЧ ФОКИН

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



СОДЕРЖАНИЕ

АРХЕОЛОГИЯ

16 ПОБЕРЕЖЬЕ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА В КОНТЕКСТЕ ПОДВОДНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Горбунов П. А.

31 РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО ЭТАПА ОБСЛЕДОВАНИЯ РАЙОНА КРУШЕНИЯ СУДНА ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XVII ВЕКА

Лукошков А. В., Прохоров Р. Ю.

42 КИНОПЛЕНКА С МОРСКОГО ДНА. ВОЗВРАЩЕНИЕ ИСТОРИИ

Логвиненко В. В., Прохоров Р. Ю.

ТЕХНИКА / ТЕХНОЛОГИИ

52 ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДЛИННОБАЗИСНАЯ ТРЕКИНГОВАЯ СИСТЕМА WAYU: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА В ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОЕМАХ

Дикарев А. В., Василенко А. В., Дмитриев С. М., Кубкин В. А., Путинцев И. А. Машков А. К., Капустин Н. Е., Маршалов М. С.

64 СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ГИБРИДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В НЕСТАЦИОНАРНОЙ СРЕДЕ

Нечаев Ю. И., Никущенко Д. В.

85 ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗАТОНУВШИХ ОБЪЕКТОВ ПО МАТЕРИАЛАМ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ СЪЕМОК, СДЕЛАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ (ТНПА, ОПА)

Анищенко В. А., Кичко С. А., Лобынцев В. В., Фокин С. Г.

97 ВОДОЛАЗНЫЙ КОМПЬЮТЕР И ПРАВИЛА ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВОДОЛАЗНЫХ РАБОТ

Кошкин П. В., Краморенко М. В., Ярков А. М.

МЕДИЦИНА

111 ГАЗЫ И ГАЗОВЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ВОДОЛАЗОВ
Комарова И. В., Краморенко М. В., Ярков А. М.

123 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТИМПАНОМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ
РИСКА БАРОТРАВМЫ УХА
*Кленков И. Р., Комарова И. В., Михеева Е. А., Мясников А. А., Фокин С. Г.,
Хакимов П. Р., Ярков А. М.*

РЕПОРТАЖ

132 ПЕРЕДАЧА КОМПАСА ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ «СОМЬ»

136 АНАЛИЗ НАПИТКА В БУТЫЛКАХ С ТРЕХМАЧТОВОГО
ГАЛЬОТА XVIII ВЕКА

CONTENTS

ARCHAEOLOGY

16 THE COASTLINE OF SOUTHEASTERN CRIMEA IN THE CONTEXT OF UNDERWATER ARCHAEOLOGICAL RESEARCH

Gorbunov P. A.

31 RESULTS OF THE FIRST STAGE OF INVESTIGATION OF THE SHIPWRECK SITE OF A 17TH-CENTURY SAILING VESSEL

Lukoshkov A. V., Proxorov R. YU.

42 FILM REEL FROM THE SEABED: A RETURN TO HISTORY

Logvinenko V. V., Proxorov R. YU.

TECHNOLOGY / TECHNOLOGIES

52 WAYU LONG BASELINE HYDROACOUSTIC TRACKING SYSTEM: EXPERIMENTAL TESTING IN NATURAL WATER RESERVOIRS

Dikarev A. V., Vasilenko A. V., Dmitriev S. M., Kubkin V. A., Putincev I. A., Mashkov A. K., Kapustin N. E., Marshalov M. S.

64 A STRATEGIC PLATFORM FOR HYBRID MODELING OF UNDERWATER OBJECTS IN A NONSTATIONARY ENVIRONMENT

Nechaev YU. I., Nikuschenko D. V.

85 BUILDING THREE-DIMENSIONAL MODELS OF SUBMERGED OBJECTS BASED ON PHOTOGRAMMETRIC SURVEYS USING UNDERWATER VEHICLES (ROV, AUV)

Anishhenko V. A., Kichko S. A., Loby'ncev V. V., Fokin S. G.

97 DIVE COMPUTER AND OCCUPATIONAL SAFETY RULES DURING DIVING OPERATIONS

Koshkin P. V., Kramorenko M. V., Yarkov A. M.

MEDICINE

111 GASES AND GAS MIXTURES FOR DIVERS
Komarova I. V., Kramorenko M. V., Yarkov A. M.

123 USING TYMPANOMETRY TO ASSESS EAR BAROTRAUMA RISK
*Klenkov I. R., Komarova I. V., Mixeeva E. A., Myasnikov A. A., Fokin S. G.,
Xakimov P. R., Yarkov A. M.*

REPORTAGE

132 TRANSFER OF THE COMPASS OF THE SUBMARINE "SOM"

136 ANALYSIS OF BOTTLED DRINKS FROM A 18TH-CENTURY
THREE-MASTED GALLIOT

АРХЕОЛОГИЯ | ARCHAEOLOGY

Оригинальная статья | Original paper

DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-16-30

УДК 902.034



ПОБЕРЕЖЬЕ ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА В КОНТЕКСТЕ ПОДВОДНЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

П. А. Горбунов ✉

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

Аннотация

Статья посвящена исследованию морского побережья Юго-Восточного Крыма с точки зрения его актуальности и перспективности в сфере подводной археологии. Приводится краткое географическое описание, а также историческая справка, дающие понимание о регионе и происходивших здесь событиях. Далее показана история и краткий обзор результатов основных подводно-археологических экспедиций, проводившихся здесь. Также приведены конкретные примеры и представлены наиболее интересные и показательные объекты подводного археологического наследия.

Ключевые слова

Юго-Восточный Крым, Судакская бухта, Новосветовское кораблекрушение, морское побережье, подводные археологические экспедиции

Для цитирования

Горбунов П. А. Побережье Юго-Восточного Крыма в контексте подводных археологических исследований // Гидрокосмос. 2024. Т. 2, 1. № 5-6. С. 16-30. DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-16-30

THE COASTLINE OF SOUTHEASTERN CRIMEA IN THE CONTEXT OF UNDERWATER ARCHAEOLOGICAL RESEARCH

P. A. Gorbunov ✉

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

Abstract

The article focuses on the coastal shoreline of Southeastern Crimea and its relevance and potential in terms of underwater archaeology. A brief geographical description is provided, as well as a historical overview that sheds light on the region and the events that have occurred there. Furthermore, the history and a brief summary of the significant underwater archaeological expeditions conducted in this area are included. Specific examples are given as well, highlighting the most interesting and representative objects of underwater archaeological heritage.

Keywords Southeastern Crimea, Sudak Bay, Novy Svet Shipwreck, coastline, underwater archaeological expeditions

For citation Gorbunov P. A. The Coastline of Southeastern Crimea in the Context of Underwater Archaeological Research. *Hydrocosmos*. 2024. Vol. 2, 1, no. 5–6, pp. 16–30. DOI: [10.24412/2949-3838-2024-56-16-30](https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-16-30) (In Russ.)

Побережье Юго-Восточного Крыма — особый прибрежно-горный регион, расположенный в юго-восточной части Крымского полуострова. В административном плане здесь расположены Феодосийский и Судакский городские округа Республики Крым. Но в отдельный регион Юго-Восточный Крым выделяют его своеобразный ландшафт, климат и история. Сюда входят регионы Феодосии, Судака, Коктебеля, Нового Света и Солнечной Долины (см. рис. 1). Следует отметить, что в настоящей статье мы будем считать побережье Юго-Восточного Крыма в более узких географических рамках, ограничиваясь береговой линией от Судака до Феодосии, и не будем затрагивать ни Керченский полуостров, ни Алуштинский район.

В то время как хрестоматийный образ Южного берега Крыма традиционно связан

с местом аристократического фешенебельного отдыха, то Юго-Восточный Крым с его «романтическими» пейзажами облюбовали художники и поэты, и прежде всего Максимилиан Волошин, называвший этот край Киммерией. По рельефу юго-восточная часть побережья Крыма также отличается от южной, состоящей из цепи горных массивов, обрывающихся над приморским склоном. Здесь, на юго-востоке, нагорье распадается на обособленные живописные горы, вздымающиеся над морем и прибрежными всхолмленными равнинами. Отсюда начинается хаотическое нагромождение отдельных небольших хребтов, кряжей и гребней самых разнообразных и необычных форм. Все побережье изрезано вдающимися в море мысами, а также многочисленными заливами и бухтами.



Рис. 1. Побережье Юго-Восточного Крыма на топографической карте

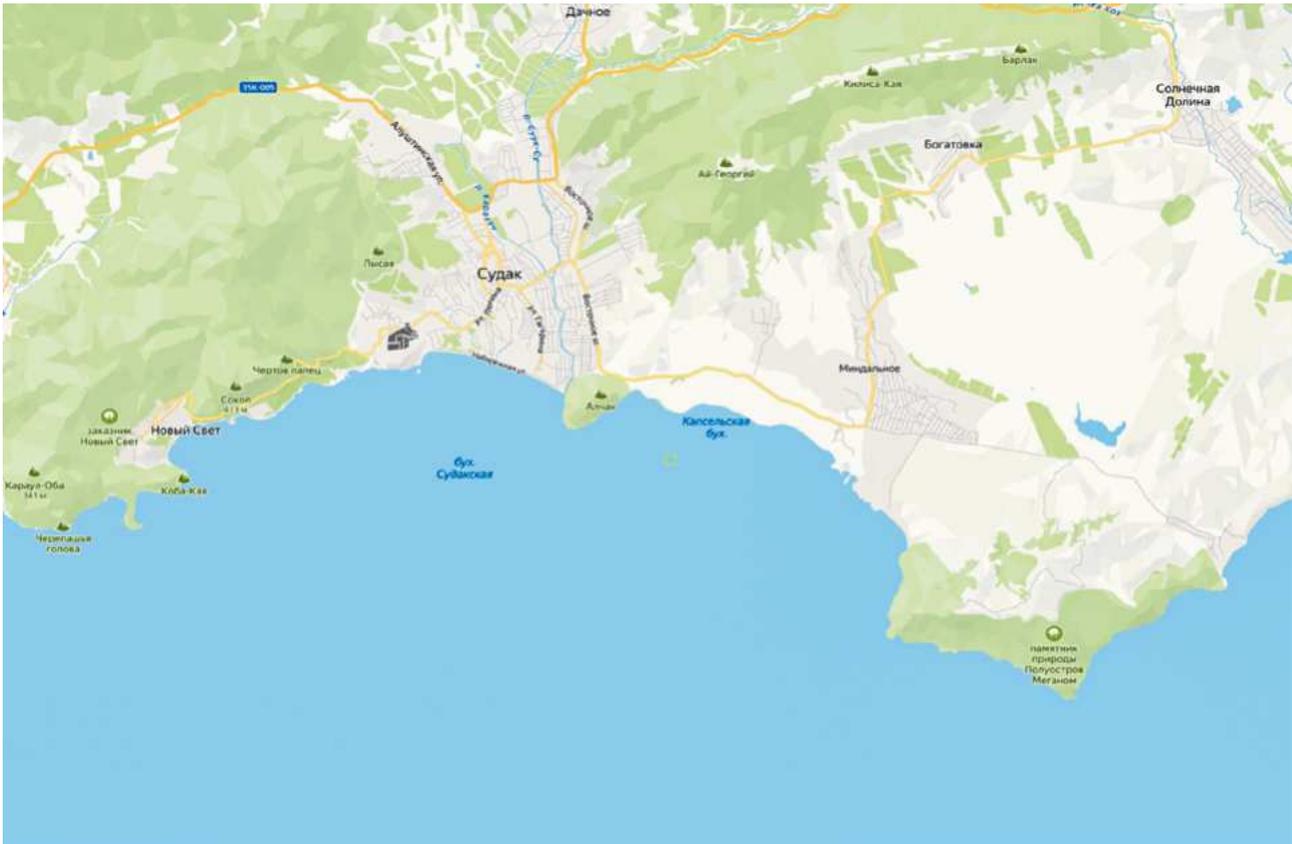


Рис. 2. Судакская бухта. Топооснова Яндекс Карты

Рис. 3. Общий вид на Судакскую бухту с востока



Географическое описание побережья Юго-Восточного Крыма

Описание побережья приводится с запада на восток и начинается с Судакской бухты (см. рис. 2). Судакская бухта представляет собой обширную акваторию, вдающуюся в берег и ограниченную мысом Капчик (Пещерный) с запада и мысом

Меганом с востока. Мыс Алча-Кая, выступающий от середины северного берега, разделяет Судакскую бухту на западную и восточную части. В крайней западной части этой акватории раскинулся открытый к морю Новосветский горный амфитеатр, состоящий из прибрежных гор Сокол и Коба-Кая, длинного каменистого мыса Капчик и завершающийся Караул-Обой с зубчатой вершиной.



Рис. 4. Общий вид на Судакскую бухту с запада

Горы взяли Новый Свет в полукольцо, создав в естественном амфитеатре мягкий и ровный климат¹. Здесь расположены три Новосветовские бухты: Зеленая, Синяя и Голубая (см. рис. 3, 4).

Геологическое строение Судакского побережья очень своеобразно. Этот район является частью обширной складчатой горной страны, которая находится в настоящее время под водой к югу от крымских берегов. Горы здесь сложены в основном массивами осадочных пород: крепкими известняками органического происхождения, вздымающимися в виде высоких конических вершин, также хорошо известными как рифовые известняки. Изолированные горы Сокол, Крепостная, Коба-Кая, Караул-Оба и некоторые другие, а также приземистые мысы Капчик и Алчак представляют собой ярко выраженные рифовые постройки позднеюрского теплого моря. Невооруженным глазом прослеживаются окаменевшие остатки ископаемых организмов, кораллов и водорослей, возрастом около 150 миллионов лет, при жизни прочно прикрепленных к скалистому морскому дну. Во впадине между рифами развита своеобразная толща глинистых пород с фауной одиночных кораллов, называемая «судакская свита». Осадочные породы в результате горообразовательных процессов смяты в складки, разбиты тектоническими нарушениями — сбросами, сдвигами. Простираясь к северо-востоку эти породы

образуют Судакско-Карадагскую систему складок².

Далее на северо-восток побережье от мыса Меганом до Карадага тянется относительно ровной линией, образуя небольшие бухточки, самая известная из которых — Лисья бухта — имеет протяженность примерно 4–5 км. На побережье бухты находится горный хребет Эчки-Даг.

Далее на восток располагается Коктебельский залив (см. рис. 5, 6). Этот залив ограничивается с юго-запада мысом Мальчин (Планерный), образованного восточным склоном горы Карадаг, а с востока — узким мысом Киик-Атлама. Залив открыт в море в направлении на юго-восток. Коктебельский залив относительно глубоко вдается в сушу и включает в себя четыре небольших бухты: Коктебель, Мертвая, Тихая и Провато.

Расположенная здесь горная группа Карадаг занимает небольшое пространство между Отузской долиной и обширной Коктебельской котловиной на берегу Черного моря. Карадаг уникален по своему геологическому строению: вулканические породы среднеюрского времени в слоях более молодых геологических эпох. Хребты и вершины собственно Карадага состоят из вулканических пород, которые своими темно-серыми тонами резко отличаются от соседних возвышенностей, сложенных светло-серыми известняками.

¹ Лебединский В. И. С геологическим молотком по Крыму. М.: Недра. 1982. С. 117.

² Полканов А. И., Полканов, Ю. А. Судак : путеводитель. Симферополь: Таврия, 1978. С. 7.

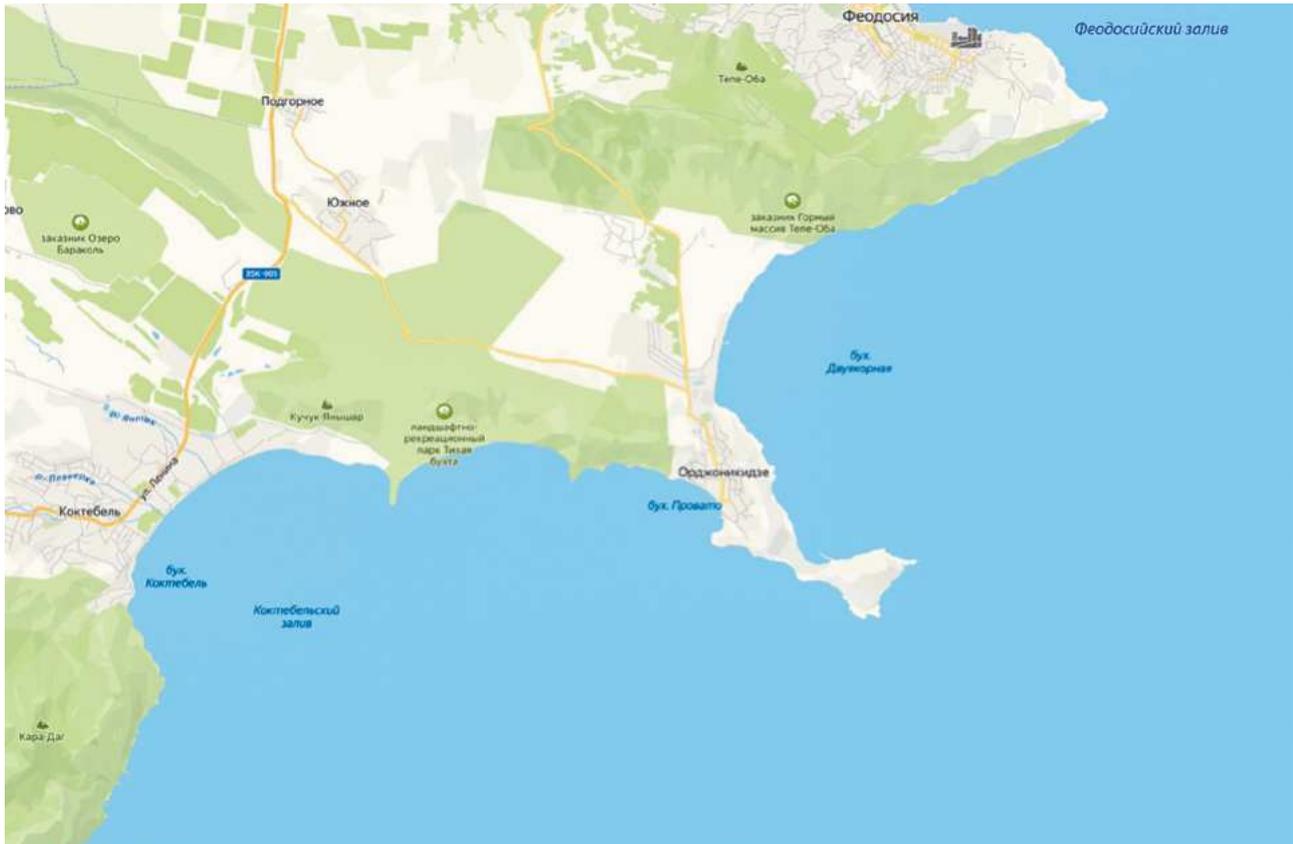


Рис. 5. Побережье от Коктебеля до Феодосии. Топооснова Яндекс Карты

Рис. 6. Общий вид на побережье с Коктебельским и Феодосийским заливами с запада



Именно этим темным тоном объясняется тюркское название горного массива Карадаг, обозначающее «черная гора» (см. рис. 7). Остальной горный массив состоит как из вулканических, так и осадочных горных пород. Геологическое строение Карадага лучше всего видно в живописных морских обрывах Берегового хребта. Сложены они мощными пластами различных туфов и туфобрекчий,

поставленных вертикально или круто наклоненных в сторону суши. Среди них есть и потоки застывшей лавы. Это свидетельствует об очень сложном характере вулканической деятельности на Карадаге³. Береговая линия Карадага

³ Лебединский В. И. Геологические экскурсии по Крыму. Симферополь.: Крым, 1969. С. 74–75.



Рис. 7. Вид на Карадаг

изрезана многочисленными выступами и множеством небольших бухточек, самые известные — Разбойничья, Пуццолановая, Пограничная, а также Львиная бухта.

Следующей бухтой побережья является Двужкорная бухта. Простирается дугой с юга на север от мыса Киик-Атлама до мыса Ильи (в Феодосии). Ширина — около 10 км. Берега бухты преимущественно возвышенные и обрывистые.

Последней акваторией исследуемого нами региона будет обширный Феодосийский залив. На западе Феодосийский залив ограничивается мысом Святого Ильи, на востоке — мысом Чауда. В широтном направлении размер — 13 км, в долготном — 31 км. На берегу западной оконечности залива, на границе Крымских гор со степью, расположена Феодосия. Горный хребет Тепе-Оба прикрывает Феодосию с юго-запада, замыкая собой Главную гряду Крымских гор.

Юго-Восточный Крым в контексте исторических событий

Акватория Черного моря у побережья Юго-Восточного Крыма является одним из интересных и перспективных районов для проведения подводных археологических исследований. Береговая линия здесь изрезана вдающимися в море мысами, а также многочисленными заливами и бухтами, издревле использовавшимися в качестве корабельных якорных стоянок. Стратегическое расположение на промежутке между крупнейшими, известными еще с античных времен центрами Крыма — Херсонесом и Боспором — дало толчок историческому развитию региона.

В Юго-Восточном Крыму находится ряд городов и поселений, которые являлись важными экономическими и политическими центрами в эпоху средневековья. Это, прежде всего, Судак и Каффа (Феодосия), а также менее известные: городище Тепсень, Посидима, Калиера, Провато.

За время своего существования город Судак (известный также под названиями Сугдея, Суруж, Солдайя) несколько раз переживал периоды своего расцвета и упадка. Традиционной датой основания считается 212 год. Однако пока следов города III в. н. э. выявить не удалось, и о первом этапе развития известно крайне мало. Археологически зафиксировано, что строительство первых городских сооружений началось лишь со второй половины VII в., и связано это с возникновением и развитием здесь византийского портового города. Сам морской порт упоминается в источниках как Судак-Лимен и начинает функционировать со второй половины VII в., о чем свидетельствуют обнаруженные при подводных исследованиях на дне бухты находки: свинцовые подвесные печати (моливдовулы) византийских чиновников, торговые пломбы, весовые гири и мелкая свинцовая византийская пластика. Следует отметить, что регулярная застройка VII–VIII вв. открыта только в портовой части, что лишней раз подчеркивает первостепенное значение Судака-Сугдеи как приморского города. В конце VIII – IX веке в Северном Причерноморье утверждается власть Хазарского каганата, и Сугдея становится его крупнейшим торговым портовым центром. После гибели Хазарского каганата в X в. город снова переходит под юрисдикцию Византии. Материальная культура Восточного Крыма и Сугдеи претерпевает коренные изменения и к концу XI в. приобретает ярко выраженные провинциально-византийские черты. Город-порт даже становится серьезным торговым конкурентом Херсона. В середине — второй половине XI в. расширяются связи Сугдеи и всего Юго-Восточного Крыма с Древнерусским государством и, прежде всего, с Тмутараканским княжеством. На следующем этапе истории Восточного Крыма в XII в. город оказался в условиях политической и экономической стабильности. Сугдея остается под властью Византии, хотя и попадает, как и вся Южная Таврика, в зависимость от Половцев⁴.

⁴ Майко В. В., Джанов А. В. Археологические памятники Судакского региона Республики Крым. Симферополь: Ариал, 2015. С. 24–30.

X–XIII вв. — период наивысшего развития города, который становится значительным торговым центром Таврики и всего Северного Причерноморья. Здесь сходились торговые пути между востоком и западом. Судак являлся главной перевалочной базой для восточного купечества с одной стороны и торговцев из Восточной Европы, а также кочевников с другой.

В 1204 году в результате Четвертого крестового похода был захвачен Константинополь, и Византийская империя, распавшись на несколько враждующих государств, временно прекратила свое существование. Бывшие византийские владения в Таврике вместе с Сугдеей попадают под власть Трапезунда.

С середины XIII в. вся территория Таврики стала частью обширной Монгольской империи. Монгольское завоевание, как ни странно, способствовало расцвету торговли в Судак. Основание Монгольского государства коренным образом изменило геополитическую ситуацию в бассейне Черного моря. Крымский полуостров ко второй половине XIII в. превратился в одну из основных перевалочных баз восточной и европейской торговли. Существование трансконтинентального Рах Mongolica создавало чрезвычайно благоприятные условия для относительно безопасного торгового обмена Западной Европы и Средиземноморья со странами Восточной Европы и Дальнего Востока⁵.

Кроме того, в XIII в. началась итальянская колонизация Причерноморья. Сложно представить себе историю региона в эту эпоху без итальянского купечества. Проникнув в Черное море, купцы морских республик Венеции, Генуи и Пизы на протяжении всего периода своего присутствия в регионе боролись между собой за доминирующую роль.

На первом этапе конкурентной борьбы было преобладание Венеции, извлекавшей максимальную выгоду от падения Византийской империи. Важным опорным пунктом венецианцев стал старый византийский порт Сугдея–Солдайя. В 1287 году венецианские документы фиксируют присутствие здесь консула, это говорит о значимости Солдайи для Венецианской республики.

В результате длительной конкурентной борьбы господство переходит к Генуэзской

республике. Опираясь на Нимфейский договор 1261 года, генуэзцы смогли создать систему торговых факторий в Причерноморье и постепенно завладеть всей черноморской торговлей. Главным политическим и экономическим центром генуэзского присутствия в Причерноморье становится Каффа — порт, основанный на месте древней Феодосии. К 1365 году генуэзцы захватывают Солдайю, окончательно вытеснив венецианцев. Средоточие всей торговли перемещается в генуэзскую Каффу, а торговая экономика Солдайи–Судака приходит в упадок. Конкуренцию генуэзцам также пыталась составить Пиза. Однако Пизанская республика потерпела от Генуи сокрушительное поражение в 1284 году и больше не имела шанса получить превосходство.

Каффа, достигнув своего расцвета в XIV–XV вв., становится крупнейшим портом и торговым центром в Причерноморье. Фактически к последней четверти XIV в. Генуэзской республикой было создано новое государственное образование, Генуэзская Газария, с центром в городе Каффа. Это государственное образование определяло политическую ситуацию в регионе и влияло на все исторические события (см. рис. 8).

Кроме того, следует отметить, что в Юго-Восточном Крыму между Каффой и Солдайей на средневековых морских компасных картах-портоланах отмечены три пункта в направлении с востока на запад: Провато, Посидима и Калиера. Пункт Провато располагался в юго-западной части побережья современной бухты Двукорной и идентифицируется с венецианской якорной стоянкой Провато XIV в. Средневековое селение Калиера удалось локализовать в южной части Отузской долины у морского берега, где в настоящее время расположен поселок Курортное. Поселение Посидима локализовано на юго-восточном прибрежном склоне холма Тепсень (западная окраина поселка Коктебель). Плато Тепсень более известно как месторасположение памятника раннесредневекового городища (VIII–IX вв.) салтово-маяцкой археологической культуры. Однако поселение Посидима относится уже к другому хронологическому периоду, к позднему Средневековью (XIII–XV вв.), и располагалось лишь на прибрежном участке⁶.

⁵ Майко В. В., Джанов А. В. Археологические памятники Судакского региона Республики Крым. Симферополь: Ариал, 2015. С. 33.

⁶ Бочаров С. Г. Поселение Посидима в Юго-Восточном Крыму и его керамический комплекс (рубеж XIII–XIV вв.) // Поливная керамика Средиземноморья и Причерноморья X–XVIII вв. Т. 2. Казань: Б. и.; Кишинев: Stratum Plus, 2017. С. 409–410.



Рис. 8. Юго-Восточный Крым в XIII–XV вв. Сельская округа Каффы. Условные обозначения: а — границы кампании Каффы; б — столица; с — города; d — сеоения; e — монастыри; f — замок; g — якорная стоянка (по Бочаров 2011: рис. 1)

Город, расположенный в одной из самых удобных частей Коктебельской бухты, скорее всего, имел порт. Здесь были обнаружены ныне трудно-прослеживаемые остатки древнего мола⁷.

Генуэзский (итальянский) период продолжался до 1475 года, когда весь регион был завоеван османами. Крымский полуостров вплоть до 1774 года вошел в состав провинции Османской империи.

Период Нового времени не менее богат на исторические события в Юго-Восточном Крыму. Резюмируя, можно сделать вывод: Крымский полуостров и бассейн Черного моря — это регионы, где издревле пересекались пути многих народов и экономические интересы различных государственных образований. Торговля имела первостепенное значение в жизни прибрежных городов и поселений. Анализ торговых связей, в том числе и морских,

является одним из факторов, позволяющих оценить социально-экономическое состояние общества того времени. Основным индикатором морской торговли на археологическом уровне служит распространение керамического материала, используемого в качестве тары либо непосредственно выступавшего товаром.

На морском дне побережья Юго-Восточного Крыма имеются разнообразные археологические свидетельства: следы кораблекрушений и якорных стоянок, а также следы деятельности портовых частей средневековых городов и поселений. Археологический материал представлен, прежде всего, керамикой, находками древних якорей, остатками старых молв и пристаней.

Археологическая изученность региона: история археологических исследований

Юго-восточное побережье Крыма имеет богатую историю подводных археологических исследований. Первые такие исследования были проведены в 1905 году в Феодосийском

⁷ Майко В. В., Джанов А. В. Археологические памятники Судакского региона Республики Крым. Симферополь: Ариал, 2015. С. 114.

порту водолазами под руководством хранителя Феодосийского музея древностей Л. П. Колли. Он исследовал район древнего мола, остатки которого были обнаружены еще в 1894 году при строительстве порта, когда во время землечерпальных работ было добыто около 4 тыс. нижних частей деревянных свай, ряды которых глубоко засели в илистом морском дне. В числе находок Л. Колли в Феодосийском порту были 15 античных ликийских амфор, поднятых с глубины около 5 м.

Подводные археологические исследования возобновились в 1930-е годы. Известный ученый Р. А. Орбели привлек водолазов ЭПРОН (Экспедиция подводных работ особого назначения) к совместным подводным археологическим работам по изучению древних подводных памятников. В 1939 году гидроархеологическая экспедиция под руководством Р. А. Орбели обследовала Феодосийскую бухту в районе городского порта. В том же году проведены исследования побережья Коктебеля, где были изучены остатки древнего мола, подтверждающие гипотезу, что в древности здесь существовал достаточно крупный портовый центр⁸.

Качественно новый этап наступил с середины 1950-х годов и связан с появлением акваланга и легководолазной техники. Подводные археологические исследования были подняты на новый уровень, во многом благодаря работам известного ученого-антиковеда В. Д. Блаватского.

В 1957 году в Коктебельской бухте, у поселка Планерское, под руководством П. Н. Шульца было проведено подводное обследование участка в районе, где ранее располагался древний мол. На дне было обнаружено до десятка диоритовых квадров со следами известкового раствора на боковых поверхностях.

Особый интерес представляют исследования в акватории Судакской бухты. В 1957–1958 гг. под руководством П. Н. Шульца проведены первые подводные археологические разведки акватории возле поселка Новый Свет в Судакской бухте. Тогда же и поступила первая информация о наличии на морском дне многочисленных скоплений керамики в этом районе.

⁸ Орбели Р. А. Исследования и изыскания : Материалы по истории подводного труда с древнейших времен до наших дней. М.; Л.: Речиздат, 1947. С. 63–65.

В 1960 году экспедиция под руководством В. Д. Блаватского обследовала на судне-тральщике «Лещ», предоставленном Черноморским флотом, ряд пунктов в Азовском и Черном морях, среди которых была и Судакская бухта, и акватория поселка Новый Свет. Было обследовано дно в западной части Судакского залива к юго-западу от горы Сокол. Исследован участок площадью около 1 га, и обнаружены неравномерные россыпи обломков средневековой керамики⁹.

Подводные исследования в Юго-Восточном Крыму, начатые в конце 50-х годов, были успешно продолжены в 70–80-е годы экспедициями Института археологии АН УССР.

В 1973 году в Коктебельской бухте была проведена подводная археологическая экспедиция под руководством А. И. Айбабина. Обследование проводилось в районе предполагаемой древней гавани. На участке южнее восточного ската холма Тепсень были обнаружены фрагменты керамики. Подъемный археологический материал состоял из двух хронологических групп: VIII–IX и XIII–XV вв.

В середине 80-х годов XX в. данные о нахождении места с керамическим материалом в Коктебельской бухте предоставил подводный клуб «Атлантида» Киевского политехнического института. Аквалангисты обнаружили в 1 км от средневекового поселения на холме Тепсень на глубине 6–9 м скопление обломков средневековой керамики. Было поднято около 90 фрагментов средневековых амфор причерноморского типа и кувшинов таманского типа с плоскими ручками IX–XI вв. Информацию об этом опубликовал археолог В. В. Назаров, определив как останки кораблекрушения.

С конца 1970-х и в 1980-е годы подводные исследования проводили группы аквалангистов от Судакской археологической экспедиции ИА АН УССР под руководством М. А. Фронджуло и И. А. Баранова. В 1980-е работа подводно-археологического отряда в составе Судакской экспедиции приобретает регулярный характер.

Юго-восточное побережье Крыма продолжает исследоваться подводно-археологическими экспедициями российских и украинских научных учреждений и в 1990-е годы.

⁹ Блаватский В. Д., Кошеленко Г. А. Открытие затонувшего мира. М.: АН СССР, 1963. С. 87–88.

С 1991 года Центром подводной археологии Киевского университета имени Т. Шевченко под руководством С. М. Зеленко проведено большое количество разведок на юго-восточном и южном побережьях Крымского полуострова¹⁰.

В 1997–1998 гг. в Коктебельской бухте под плато Тепсень подводной экспедицией С. М. Зеленко была обследована акватория в месте предполагаемой гавани портовой части средневекового поселения. Обнаруженный археологический материал представлен основными категориями керамики: амфорами, кувшинами, пифосами, столовой посудой и т.п. Хронологический разброс находок от VIII до XIV в.

В 1997–1998 гг. экспедиция также провела разведки в западной части Судакской бухты (бухте поселка Новый Свет) с целью осмотра места предполагаемого кораблекрушения, где в течение предыдущих лет исследований были зафиксированы многочисленные скопления средневекового керамического материала на дне. А с 1999 года здесь были начаты ежегодные подводно-археологические раскопки. Исследования позволили определить предварительные границы распространения археологического материала по поверхности дна и выделить с датировкой места средневековых кораблекрушений в этой бухте. Наиболее точно идентифицированным на данный момент считается кораблекрушение XIII в.: пизанской торговой галеры, затонувшей здесь после морского сражения с генуэзцами в 1277 году.

В 2000-е годы подводные археологи проводят планомерные разведки в акватории Судакской бухты и всего Крымского побережья. Большой масштаб имели археологические работы в Судакской бухте в 2004 году под руководством В. В. Булгакова и В. И. Булгаковой. В ходе исследований были обнаружены остатки портовой инфраструктуры, собрана богатая коллекция мелких свинцовых изделий и печатей-моливдулов.

В 2014–2016 гг. подводные археологические разведки в Юго-Восточном Крыму проводились экспедицией отдела подводной археологии Музея-заповедника «Судакская крепость» (Новицкая Р. С., Зеленко С. М., Царенко С. А., Лебединский В. В.)



Рис. 9. Рабочий момент экспедиции

В 2017–2019 гг. акваторию Юго-Восточного Крыма исследовал ГБУ РК «Черноморский центр подводных исследований» (Вахонеев В. В., Горбунов П. А., Зеленко С. М.).

В 2019–2021 гг. подводные археологические исследования в Юго-Восточном Крыму проводил С. В. Иванов (ФГБУН «Институт археологии Крыма»).

Перспективы исследований и конкретные примеры

Акватория у побережья Юго-Восточного Крыма всегда считалась одним из перспективных районов для проведения подводных археологических исследований. На морском дне сохранился самый разнообразный археологический материал, в первую очередь керамика (см. рис. 9). Но следует учитывать, что находки керамики хотя и свидетельствуют о возможных кораблекрушениях, однако говорить о конкретных объектах пока приходится мало, поскольку гидрофизическое и биологическое влияние на малых глубинах приводит к полному разрушению деревянных конструкций корпусов кораблей.

¹⁰ Зеленко С. М. Подводная археология Крыма. Киев: Стило, 2008. 272 с.

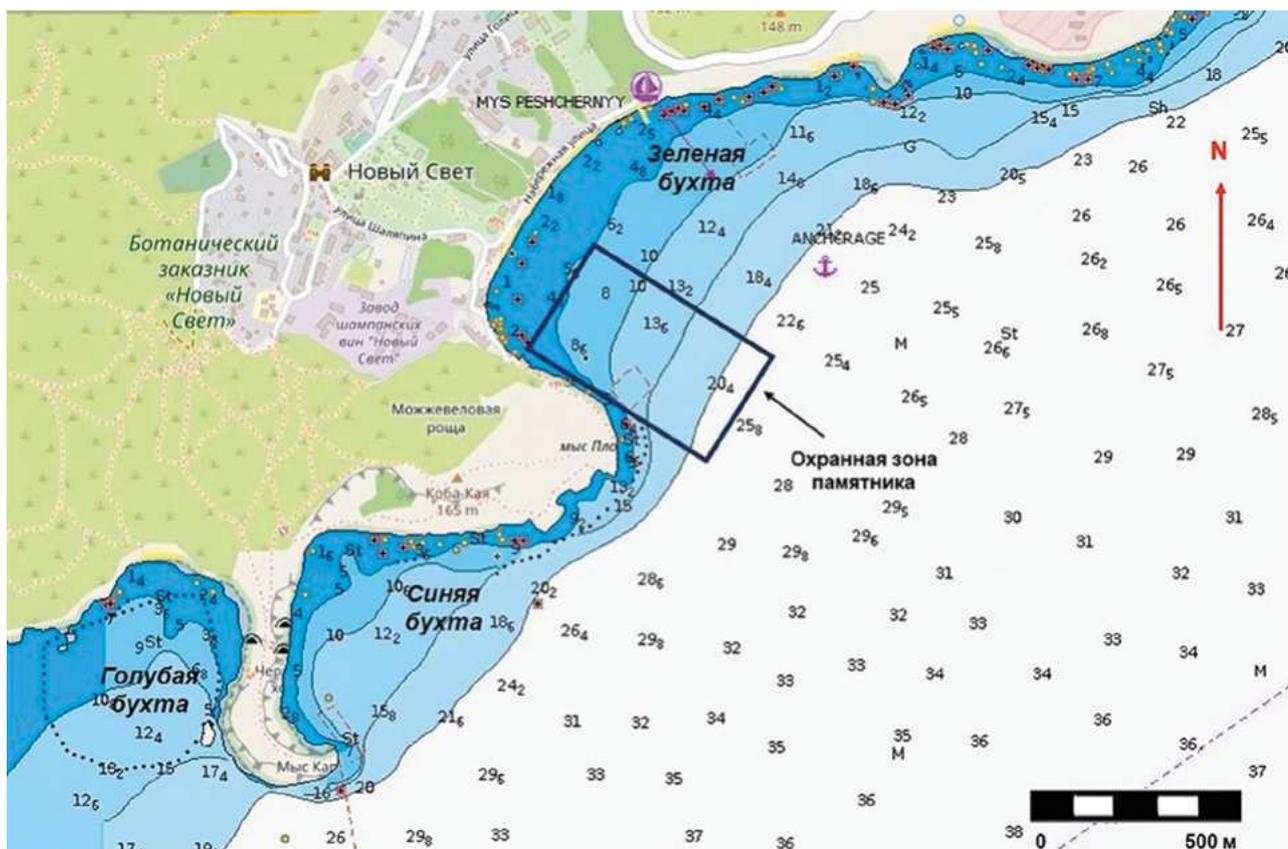


Рис. 10. Карта района исследований в бухте пгт. Новый Свет

Проблемы идентификации следов кораблекрушений как объектов подводного археологического наследия остаются весьма актуальными. Несмотря на ряд успехов в области проведения подводных разведок, многие исследователи допускают ряд методических ошибок. Это в первую очередь касается критериев определения останков кораблекрушения. Очень часто под следами кораблекрушения понимается простое скопление археологического материала на морском дне, в основном керамики, что в итоге приводит к выводам, будто все побережье Крыма усеяно остатками кораблекрушений. Такие примеры показывают слабую методическую базу определения следов кораблекрушения как объекта археологического наследия.

И все же одними из немногих наиболее точно идентифицированных являются останки средневекового кораблекрушения XIII в. на дне бухты возле поселка Новый Свет (западная часть Судакской бухты). Пожалуй, это самый известный памятник подводной археологии в Юго-Восточном Крыму, поэтому в настоящей статье мы уделим ему особое внимание (см. рис. 10). Письменные итальянские источники и археологический материал дают

все основания считать, что здесь найдены остатки пизанской торговой галеры, сожженной после морского сражения с генуэзцами¹¹. Новосветовское кораблекрушение произошло на достаточно малых глубинах (до 14 м), и вследствие действия природных факторов деревянные конструкции корпуса корабля не сохранились. Во время исследований в предшествующие годы были обнаружены лишь отдельные небольшие фрагменты древесины, сопутствующие фрагменты такелажа и корабельных гвоздей. Однако относительно хорошо сохранился груз судна, представленный керамическим материалом, преимущественно амфорной тарой, столовой поливной посудой и другими предметами материальной культуры. Археологический материал разбросан по поверхности морского дна, а также находится в слое грунта (см. рис. 11, 12). Среди керамического материала особо известен комплекс поливной посуды, представляющей высокую культурно-историческую и художественную ценность (см. рис. 13).

¹¹ Зеленко С. М. Подводная археология Крыма. Киев: Стилос, 2008. С. 142–143.



Рис. 11. Рабочий момент экспедиции

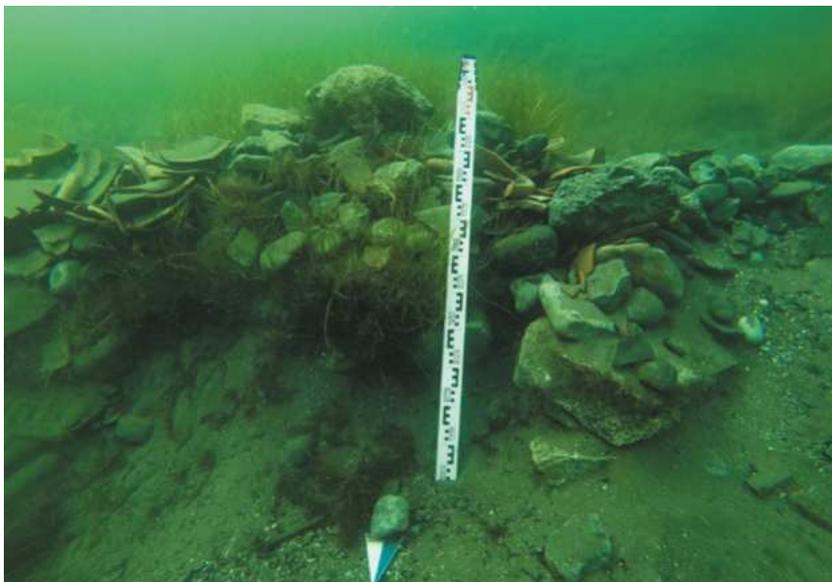


Рис. 12. Керамика в слое грунта в бухте пгт. Новый Свет



Рис. 13. Поливная посуда со дна бухты пгт. Новый Свет

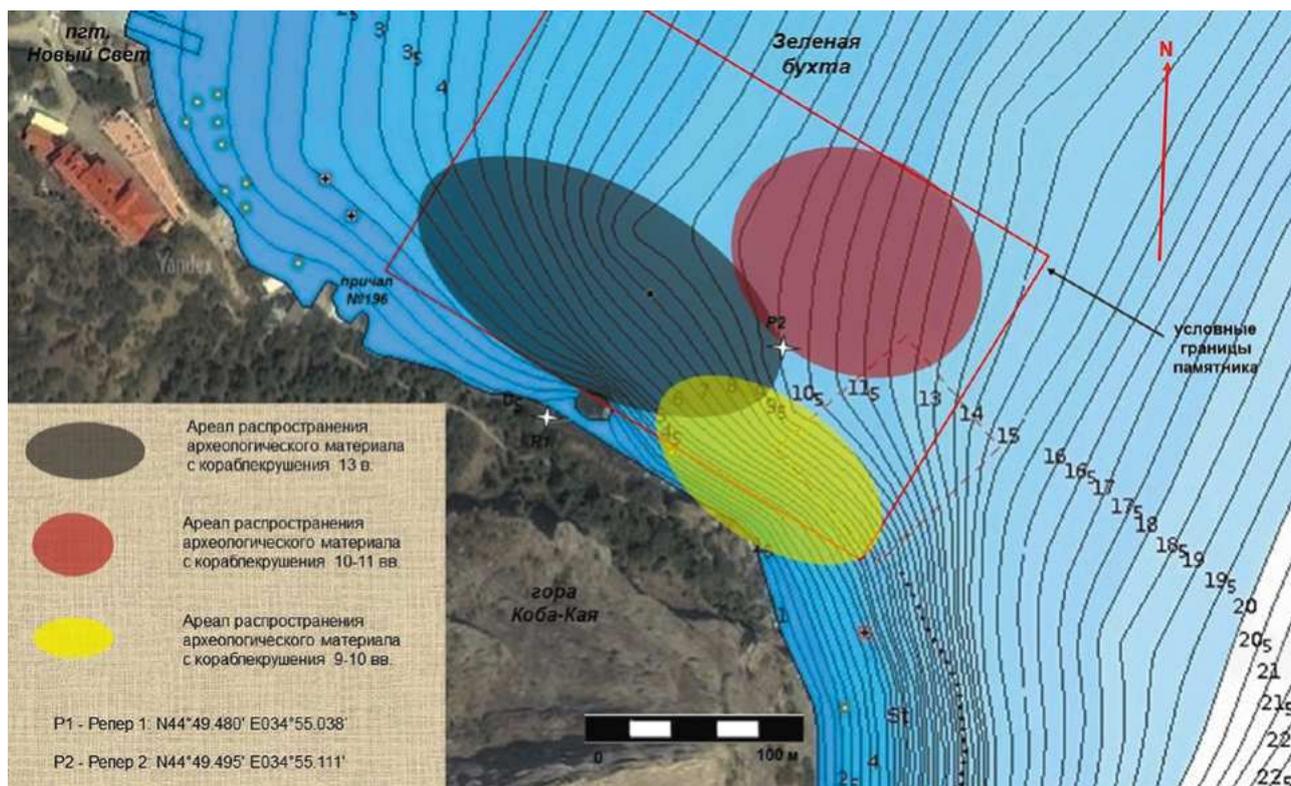


Рис. 14. План-схема района исследований в бухте пгт. Новый Свет с местами предполагаемых средневековых кораблекрушений

Новосветовское кораблекрушение широко известно в научном сообществе. Однако необходимо отметить, что керамический материал в этом месте бухты относится к трем разным хронологическим периодам. Здесь можно выделить три хронологических периода, а материал потенциально отнести к трем разным кораблекрушениям. Исследователями выделяются ареалы распространения

археологического материала с данных кораблекрушений. Причем все три ареала накладываются друг на друга, и керамический материал разных периодов часто встречается вперемешку. То же самое относится и к материалу, залегающему в грунте: разновременная керамика перемешана в слоях. В целом мы можем фиксировать здесь поврежденный культурный слой (см. рис. 14).

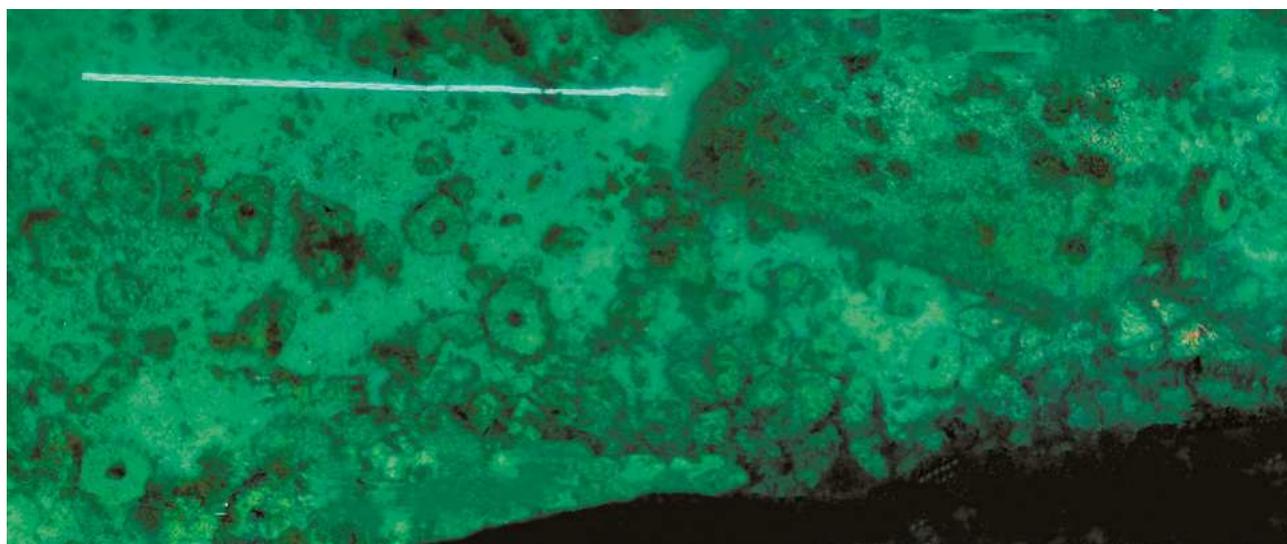


Рис. 15. Каменные жернова на дне бухты пгт. Новый Свет

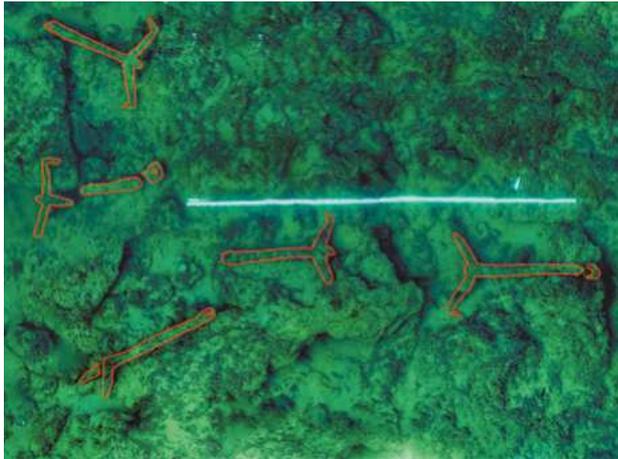


Рис. 16. Скопление якорей на дне Судакской бухты



Рис. 17. Средневековый якорь на дне Коктебельской бухты

Помимо керамического материала, часто встречаемого на морском дне у Крымского побережья, исследователи также достаточно часто находят здесь древние и средневековые якоря. Как отдельные якоря, так и скопления сразу нескольких таких якорей встречаются практически повсеместно по всем заливам и бухтам Юго-Восточного

Крыма (см. рис. 15, 16, 17). Большое количество таких находок позволяет внести весомый вклад в дело научного описания, систематизации и хронологической классификации древних и средневековых якорей. А также дает точки исследования для потенциальных якорных стоянок или даже кораблекрушений.

Изображения предоставлены автором.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блаватский В. Д., Кошеленко Г. А. Открытие затонувшего мира. М.: АН СССР, 1963. 108 с.
2. Бочаров С. Г. Поселение Посидима в Юго-Восточном Крыму и его керамический комплекс (рубеж XIII–XIV вв.) // Поливная керамика Средиземноморья и Причерноморья X–XVIII вв. Т. 2. Казань: Б. и.; Кишинев: Stratum Plus, 2017. С. 409–445.
3. Горбунов П. А. Отчет об археологических разведках в акватории Черного моря от г. Феодосия до пос. Новый Свет в Феодосийском, Судакском городских округах Республики Крым в 2019 году. Феодосия: 2020.
4. Зеленко С. М. Подводная археология Крыма. Киев: Стилос, 2008. 272 с. ISBN 978-966-8518-74-4
5. Зеленко С. М., Лебединский В. В., Кузьминов В. В., Новицкая Р. С., Царенко С. А., Морозова Я. И., Пронина Ю. А. Подводно-археологические исследования в Юго-Восточном Крыму в 2015 г. Судакские археологические экспедиции. Феодосия: АртЛайф, 2016. 248 с. ISBN: 978-5-9907434-7-2
6. Иванов С. В. Горбунов П. А. Локализация скопления средневековых якорей в акватории Судакской бухты // Парадигмы истории и общественного развития. Вып. 15–16. Севастополь: СевГУ, 2019. С. 35–40.
7. Лебединский В. И. Геологические экскурсии по Крыму. Симферополь: Крым, 1969. 120 с.
8. Лебединский В. И. С геологическим молотком по Крыму. М.: Недра, 1982. 159 с.
9. Майко В. В. Средневековое городище на плато Тепсень в Юго-Восточном Крыму. Киев: Академперіодика, 2004. 316 с.
10. Майко В. В., Джанов А. В. Археологические памятники Судакского региона Республики Крым. Симферополь: Ариал, 2015. 447 с.
11. Окорочков А. В. История отечественной подводной археологии. М.: КноРус, 2008. 144 с. ISBN 978-5-390-00401-2
12. Орбели Р. А. Исследования и изыскания : Материалы по истории подводного труда с древнейших времен до наших дней. М.; Л.: Речиздат, 1947. 284 с.
13. Полканов А. И., Полканов Ю. А. Судак : путеводитель. Симферополь: Таврия, 1978. 112 с.

REFERENCES

1. Blavatskij V. D., Koshelenko G. A. *Otkrytie zatonuvshogo mira* [Discovery of a sunken world]. Moscow, AN SSSR Publ., 1963, 108 p. (In Russ.)
2. Bocharov S. G. *Poselenie Posidima v YUgo-Vostochnom Krymu i ego keramicheskij kompleks (rubezh XIII-XIV vv.)* [Possidima Settlement in South-Eastern Crimea and Its Pottery Complex (edge 13th–14th centuries)]. *Polivnaya keramika Sredizemnomor'ya i Prichernomor'ya X-XVIII vv.* [Glazed Pottery of the Mediterranean and Pontic Regions in the 10th—18th Centuries]. vol. 2, Kazan' [S.n.], Kishinev, Stratum Plus Publ., 2017, pp. 409–445. (In Russ.) ISBN 978-9975-4269-0-9
3. Gorbunov P. A. *Otchet ob arheologicheskikh razvedkakh v akvatorii CHyornogo morya ot g. Feodosiya do pos. Novyj Svet v Feodosijskom, Sudakskom gorodskih okrugah Respubliki Krym v 2019 godu* [Report on archaeological exploration in the Black Sea from the city of Feodosiya to the village. New World in Feodosia and Sudak urban districts of the Republic of Crimea in 2019]. Feodosiya, 2020. (In Russ.)
4. Zelenko S. M. *Podvodnaya arheologiya Kryma* [Underwater archeology of Crimea]. Kyiv, Stylos Publ., 2008, 272 p. (In Russ.)
5. Zelenko S. M., Lebedinskij V. V., Kuz'minov V. V., Novickaya R. S., Careno S. A., Morozova Y. I., Pronina Y. A. *Podvodno-arheologicheskie issledovaniya v Yugo-Vostochnom Krymu v 2015 g. Sudakskie arheologicheskie ekspedicii* [Underwater-archaeological Research in the South-Eastern Crimea in 2015. Sudak Archaeological Expedition]. Feodosiya, ArtLajf Publ., 2016, 248 p. (In Russ.)
6. Ivanov S. V., Gorbunov P. A. *Lokalizaciya skopleniya srednevekovykh yakorej v akvatorii Sudakskoj buhty* [Localization of a Cluster of Medieval Anchors in the Sudak Bay]. *Paradigmy istorii i obshchestvennogo razvitiya* [Paradigms of history and social development]. vol. 15–16. Sevastopol, SevGU Publ., 2019, pp. 35–40. (In Russ.)
7. Lebedinskij V. I. *Geologicheskie ekskursii po Krymu* [Geological excursions around the Crimea]. Simferopol, Crimea Publ., 1969, 120 p. (In Russ.)
8. Lebedinskij V. I. *S geologicheskim molotkom po Krymu* [With a geological hammer across Crimea]. Moscow, Nedra Publ., 1982, 159 p. (In Russ.)
9. Majko V. V. *Srednevekovoe gorodishche na plato Tepsen' v YUgo-Vostochnom Krymu* [Medieval settlement on the Tepsen plateau in South-Eastern Crimea]. Kyiv, Akadempriodika Publ., 2004, 316 p. (In Russ.)
10. Majko V. V., Dzhanov A. V. *Arheologicheskie pamyatniki Sudakskogo regiona respubliki Krym* [Archaeological monuments of Sudak region of Crimea Republic]. Simferopol, Arial Publ., 2015, 447 p. (In Russ.)
11. Okorokov A. V. *Istoriya otechestvennoj podvodnoj arheologii* [History of Russian underwater archeology]. Moscow, KnoRus Publ., 2008, 144 p. (In Russ.)
12. Orbeli R. A. *Issledovaniya i izyskaniya* [Research and survey]. *Materialy po istorii podvodnogo truda s drevnejshih vremen do nashih dnei* [Materials on the history of underwater labor from ancient times to the present day]. Moscow, Leningrad, Rechizdat, 1947, 284 p. (In Russ.)
13. Polkanov A. I., Polkanov Y. A. *Sudak. Putevoditel'* [Guide]. Simferopol, Tavriya Publ., 1978, 112 p. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Горбунов Павел Андреевич, научный сотрудник АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А).

e-mail: p.gorbunov@urc-rgs.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Gorbunov Pavel Andreevich, scientific employee Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

e-mail: p.gorbunov@urc-rgs.ru

Поступила в редакцию 01.03.2024
Поступила после рецензирования 12.04.2024
Принята к публикации 30.04.2024

Received 01.03.2024
Revised 12.04.2024
Accepted 30.04.2024

АРХЕОЛОГИЯ | ARCHAEOLOGY

Оригинальная статья | Original paper

DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-31-41

УДК 902.034

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО ЭТАПА ОБСЛЕДОВАНИЯ РАЙОНА
КРУШЕНИЯ СУДНА ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XVII ВЕКАА. В. Лукошков¹ ✉, Р. Ю. Прохоров² ✉¹АНО «Национальный центр подводных исследований», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация²АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества»,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ office@urc-rgs.ru

Аннотация

В статье излагаются и анализируются результаты поисковых работ в центральной части российского сектора Финского залива и первого этапа разведочных водолазных осмотров находок в районе крушения крупного парусного судна постройки начала XVII века. Описаны обследованные водолазами некоторые крупные фрагменты разрушенного корпуса судна, а также найденные отдельные детали его конструкции. На основе анализа собранных материалов делаются предположения о его типе, размерениях, национальной принадлежности, времени строительства и гибели. Оцениваются перспективы дальнейших исследований объекта.

Ключевые слова

подводная археология, Финский залив, кораблекрушение, XVII век, торговое судно

Для цитирования

Лукошков А. В., Прохоров Р. Ю. Результаты первого этапа обследования района крушения судна первой половины XVII века // Гидрокосмос. 2024. Т. 2, 1. № 5–6. С. 31–41. DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-31-41

RESULTS OF THE FIRST STAGE OF INVESTIGATION OF THE
SHIPWRECK SITE OF A 17TH-CENTURY SAILING VESSELA. V. Lukoshkov¹ ✉, R. YU. Prokhorov² ✉¹ANO "National Underwater Research Center," St. Petersburg, Russian Federation²ANO "Underwater Research Center of the Russian Geographical Society,"

St. Petersburg, Russian Federation

✉ office@urc-rgs.ru

Abstract

This article presents and analyzes the results of search operations and the initial stage of underwater reconnaissance surveys of discoveries in the vicinity of the wreck of a large sailing vessel in the central part of the Russian sector of the Gulf of Finland. The vessel was constructed in the early 17th century. Several large fragments of the vessel's destroyed hull, examined by divers, were described, along with individual parts of her structure that were discovered. Based on the analysis of the collected materials, assumptions were made about the vessel's type, dimensions, national origin, time of construction, and her destruction. The prospects for further research on the object were evaluated.

Keywords	underwater archaeology, Gulf of Finland, ship-wreck, 17th century, merchant vessel
For citation	Lukoshkov A. V., Proxorov R. YU. Results of the first stage of investigation of the shipwreck site of a 17th-century sailing vessel. <i>Hydrocosmos</i> . 2024. Vol. 2, 1, no. 5-6, pp. 31-41. DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-31-41 (In Russ.)

Многочисленные исторические источники свидетельствуют, что акватория Финского залива с древнейших времен служит торговым коридором для транспортировки товаров между Европой и Азией. Однако практика поисков останков погибших судов показывает, что подавляющее количество найденных в заливе объектов датируются XVIII, XIX и XX столетиями. Останки торговых судов более ранних веков крайне редки и до последнего времени встречались лишь в западной части залива, причем обычно это были случайные находки, исторические сведения о которых отсутствовали. Более того, в архивных материалах и литературных источниках практически отсутствуют упоминания о гибели судов в восточной части залива в период до начала XVIII века. Едва ли не единственным исключением было описание гибели поздней осенью 1635 года у северо-восточной оконечности острова Гогланд гамбургского галеона, на борту которого находилось посольство герцога Шлезвиг-Голштинии Фридриха III к царю Московии. Это крушение подробно описано прозой и в стихах и даже проиллюстрировано в известной книге секретаря посольства Адама Олеария (см. рис. 1)¹. Впрочем, все известные попытки разных поисковых групп найти останки этого галеона окончились неудачей: скорее всего, погибший на мелководье в прибойной зоне острова галеон полностью разломало штормами и льдом, после чего крупные обломки были замыты в песок, а выброшенные на берег мелкие детали пошли на дрова или на строительство домов местных жителей еще в XVII веке.

В современной российской части Финского залива первой находкой торгового судна, датированного началом XVII века, стал разрушенный корпус европейского парусника, разбившегося на подводной скале под берегом одного из островов. Останки разрушенного корпуса были обнаружены на дне специалистами Национального центра

подводных исследований (НЦПИ) при проведении съемки дна с помощью гидролокатора бокового обзора и первоначально не были идентифицированы. Однако осмотр наиболее крупного фрагмента показал, что это было довольно большое судно. А поскольку сведений о крушениях крупных судов в этом месте в XVIII и XIX веках в архивных источниках нет, хотя случаи гибели судов вблизи островов в эти периоды уже обычно фиксировались, было высказано предположение о крушении в более раннее время. Тем более что осмотр фрагмента также выявил конструктивные особенности и технологические приемы, известные, начиная с позднего Средневековья и раннего Нового времени (конец XVI — начало XVII вв.)². Объект вызвал интерес, и вокруг места находки была проведена сплошная гидроакустическая съемка всего участка, где могли находиться фрагменты разрушенного корпуса и скопления отдельных элементов конструкции. Результаты съемки позволили получить общую картину подводного рельефа и выявить расположение наиболее крупных скоплений обломков.

Основным элементом рельефа оказалась расположенная с восточной стороны острова длинная гряда крупных скальных выходов протяженностью около 300 м, ориентированная по линии восток — запад. С обеих сторон вдоль нее хаотично располагаются многочисленные небольшие скальные выходы и скопления (гряды) валунов, формирующие систему подводных каньонов. Глубины колеблются от 3–4 м на вершинах выходов вблизи острова до 25–27 м у подножия. Фрагменты разрушенного корпуса оказались расположены по склонам и подножиям скальных выходов, а скопления мелких обломков — либо в каньонах, либо в пологой равнине на расстоянии от 100 до 300 м к северу и югу от скальной гряды.

¹ Олеарий А. Описание путешествия в Московию и через Московию в Персию и обратно. СПб.: А. С. Суворин, 1906. 528 с.

² Хоккель Р. Постройка моделей судов XVI–XVII вв. Ленинград: Судостроение, 1972. 112 с.; Hoeckel R., Jorberg F., Loef R., Schimanski H., Winter H. Risse von Schiffen des 16. und 17. Jahrhunderts. Rostock, Hinstorff Verlag, 1976, 89 p.; Gronhagen J., Konttinen H. Tietoa syvyyksista. Hylkytutkimusken opas. Helsinki, Toredonavalis, 1988, 153 p.



Рис. 1. Гравюра из книги Адама Олеария, изображающая гибель гамбургского галеона под северным берегом бухты Сууркюля(-н) острова Гогланд

Фрагменты корпуса лежат по обе стороны гряды, но наибольшее количество скопленных обломков зафиксировано к северу от нее. Наиболее вероятно, что судно наскочило на гряды, застряло на ней и впоследствии под воздействием штормов разломилось на две части, затонувшие с севера и юга от точки крушения. При этом обломки носа и кормы, вероятно, могли перемешаться. Но находка на северном склоне гряды пера руля и старницы позволяет считать, что к северу от гряды лежат преимущественно останки кормовой части судна, а обломки носовой части расположены к югу от нее, где в одном из скопленных обломков был обнаружен мощный крамбол.

В целом обстоятельства гибели судна могли быть схожи с описанием крушения галеона голштинского посольства. Вполне вероятно, что оно также попало в шторм и пыталось укрыться под восточным берегом острова от западного или юго-западного ветра, но наскочило на неизвестную скальную

гряды. Однако в отличие от разбившегося на мелководье галеона, останки найденного судна были унесены волнами и разбросаны по склонам скальных выходов и у их подножия на глубинах от 17 до 27 м. При этом обломки на склонах не были заматы в грунт, тогда как скопления и фрагменты корпуса, лежащие на равнине, погружены в осадки, судя по гидроакустическим изображениям.

Водолазное обследование района крушения проводилось с борта водолазного судна в течение 5 дней в условиях заметного волнения и поэтому коснулось лишь фрагментов, лежавших на небольших глубинах ближе к острову. Работы были начаты с осмотра наиболее крупного развала обломков, найденного на южном склоне гряды на глубине 15–17 м. В центре скопления обломков находился большой фрагмент борта судна, вокруг которого по грунту было разбросано большое количество отвалившихся от него отдельных элементов конструкции.



Рис. 2. Фотоплан крупного фрагмента борта



Рис. 3. Бимсовая кница

Максимальная длина фрагмента борта достигала 25–26 м, а максимальная ширина (то есть высота) борта — 5,6–5,8 м (см. рис. 2). Борт лежит на наружной стороне, что привело к хорошей сохранности наружной обшивки и частичной утрате досок обшивки внутренней. Это позволило осмотреть шпангоуты. Они парные сечением 25 × 25 см каждый при шапации (расстояние между парами) равной 15–18 см. Шпангоуты вырублены из цельных стволов. По западной стороне борта концы шпангоутов выровнены в одну линию, что возможно указывает на уровень палубы. Косвенно этот вывод подтверждает находка пяти бимсовых книц. Они тоже рублены и изготовлены из цельных стволов деревьев с мощными ветками. Длина (высота) вертикальных плеч — около 1,8–1,9 м, горизонтальных — примерно 0,7–0,8 м. При этом вертикальные плечи имеют слегка выгнутую форму, что указывает на наклон верхней

части борта внутрь корпуса. Также у фрагмента была обнаружена и одна небольшая равноплечная горизонтальная кница. Еще несколько бимсовых книц были найдены лежащими отдельно на грунте ниже по склону (см. рис. 3).

Обе обшивки корпуса выполнены вгладь. Доступные для осмотра доски внутренней обшивки пиленные, с максимальной длиной 8–9 м, шириной около 40 см и толщиной 10 см. Торцевые соединения досок в поясе выполнены через длинный (более 0,7 м) косой срез (см. рис. 4 а, б). Все соединения досок и шпангоутов выполнены исключительно с помощью деревянных нагелей диаметром около 4 см. При этом интересным и редким элементом конструкции стали набитые на внутреннюю обшивку металлические скобы длиной около 2 м. Они установлены как минимум в два ряда под углом примерно 45 градусов



Рис. 4 а, б. Соединение торцов досок внутренней обшивки



Рис. 5. Выпавшая из своих гнезд металлическая скоба на грунте



Рис. 6. Обмеры малого фрагмента борта

к доскам обшивки в крест друг другу и соединяют третьи пары шпангоутов. Вероятно, это был способ усиления длинного корпуса, когда скобы препятствовали продольным и поперечным изгибам корпуса, то есть выполняли ту же функцию, что и появившиеся в XIX веке ридерсы. Следует отметить, что скобы сильно проржавели и часть из них (особенно выпавшие из своих гнезд и лежащие на грунте отдельно) уже практически утратили свою целостность (см. рис. 5).

При осмотре грунта рядом с бортом водолазами были обнаружены три вырубленные из стволов изогнутые балки длиной от 4 до 6 м. Они имеют прямые плечи, которые расходятся под углом 155 градусов у двух длинных балок и 150 градусов у короткой. Их назначение пока не установлено. Возможно, это могут быть части поворотных шпангоутов либо части фашенписа и/

или контр-фашенписа. Кроме того, примерно в 30 м от борта выше по склону, где, вероятно, и разбилось судно, водолазы обнаружили частично замытую в грунт секцию кильсона длиной 18 м и сечением 28 × 34 см. С обеих концов секции на узких гранях есть наклонные вырубленные длиной по одному метру, образующие «замки» для соединения с другими деталями килевого набора. По всей длине секции сохранились вертикальные штыри из цветного металла, забитые через 1,4 м. А примерно в 160 м к югу от первого фрагмента борта гидроакустическая съемка выявила еще один его фрагмент. Он имеет изломанные очертания и меньшие размеры, примерно 4 × 3 м, и включает набор досок обшивки, соединенных между собой несколькими шпангоутами сечением 25 × 20 см. Остальные шпангоуты отсутствуют, но их положение легко определяется по рядам торчащих из досок деревянных нагелей (см. рис. 6).



Рис. 7. Крамбол



Рис. 8. Деревянное корытце (лохань)



Рис. 9. Фотоплан фрагмента борта. Стенка кормовой надстройки

Также водолазы осмотрели лежащее у южного подножия гряды крупное скопление корабельных деталей, где был обнаружен массивный крамбол с тремя шкивгатами и отверстиями от толстых нагелей, крепивших его к опорной книце — сапортусу (см. рис. 7). К сожалению, на крамболе отсутствовали штатные резные украшения. Здесь же среди досок были найдены и «дельные вещи»: небольшое деревянное корытце (лохань), выдолбленное из половинки ствола, и уже частично развалившийся тонкостенный медный баллон длиной около полуметра и диаметром 30 см, назначение которого не было идентифицировано (см. рис. 8).

На северном склоне гряды водолазы смогли осмотреть и отснять два лежавших рядом фрагмента. Первый представляет собой часть борта высотой 3 м и максимальной длиной примерно 7,5 м (см. рис. 9). У него полностью сохранилась наружная обшивка, 11 полных и неполных пар двойных рубленых шпангоутов и лишь одна доска внутренней обшивки. Все пары шпангоутов выполнены по одной схеме: один из шпангоутов представляет собой цельную балку сечением 25 × 20 см, а второй того же сечения состоит из двух состыкованных торцами коротких балок длиной 1,4 и 1,6 м. По одной из версий этот фрагмент мог быть боковой стенкой кормовой надстройки судна.

В пользу такой версии говорит и характерный полукруглый вырез наружных досок.

Соседний фрагмент предположительно представляет часть кормовой оконечности корпуса с косым срезом досок наружной обшивки, заходивших в пазы ахтерштевня или «аркассе»-бимсов (см. рис. 10). Доски соединяются короткими выгнутыми кормовыми поворотными шпангоутами. Интересно, что у двух лежащих здесь же длинных досок торцевое соединение выполнено в виде прямоугольного г-образного замка.

Рядом с этим фрагментом на грунте лежит мощная старн-кница, единым массивом вы-

рубленная из комля дерева и корня (см. рис. 11). Ее мощная нижняя ветвь, примыкавшая к кильсону, имеет длину 2 м, а высота примыкавшей к ахтерштевню вертикальной ветви составляет 2,3 м. Угол между ветвями, который соответствует углу между кильсоном и ахтерштевнем, равняется 110 градусам. У изогнутой внутренней поверхности старн-кницы лежит соответствующая ей по форме деталь — вероятно, дополнительная кильсон-кница (?), входившая в комплект кормового набора судов XVII в.

В непосредственной близости от этого фрагмента водолазами на грунте была обнаружена нижняя часть обломанного корабельного руля классического наваррского типа.

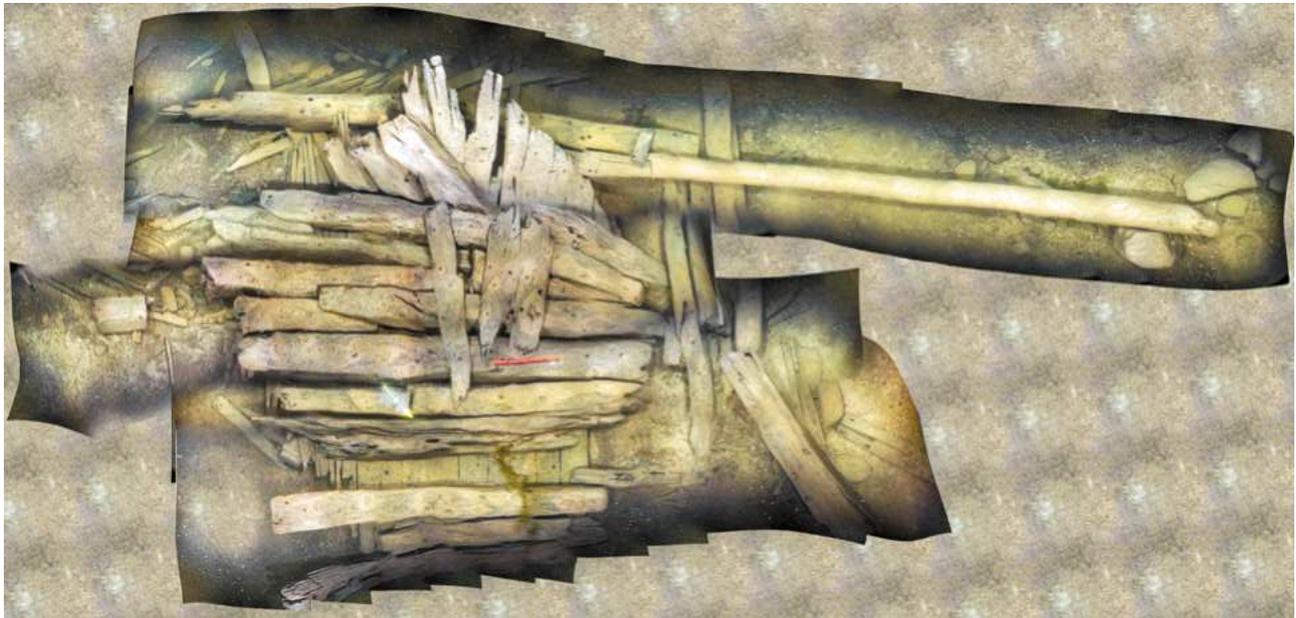


Рис. 10. Фотоплан фрагмента кормы



Рис. 11. Старн-кница

Конструктивно он выполнен из нескольких вертикальных плах, соединенных металлическими накладками и обшитых набитыми впритык к друг другу узкими горизонтальными досками. Общая толщина пера руля — 30 см. Его кромка, направленная к ахтерштевню, заострена и обшита свинцовыми пластинами. Высота уцелевшей части составила 3,9 м, ширина по нижней кромке — 0,95 м, а по месту разлома — 0,6 м. Исходя из этих размеров, высота его рудерписа могла достигать 6,5–7,0 м.

Следует отметить, что все детали корпуса выполнены из дуба, что однозначно указывает на его европейское происхождение. Отсутствие в бортах орудийных портов свидетельствует, что это был не военный корабль, а торговое судно. Впрочем, таковое все равно могло иметь для защиты от пиратов установленные на верхней палубе легкие пушки.

Таким образом, полученные результаты позволили сделать предварительный вывод, что обломки корпуса могут принадлежать довольно крупному, вероятно, трехмачтовому торговому судну, длина которого между штевнями могла составлять от 33 до 35 м. Это несколько меньше длины погибшей в 1628 году знаменитой шведской каракки *Vasa*, у которой расстояние между штевнями достигало 47,5 м, но близко к размерениям линейного корабля 5-го ранга «Полтава», у которого длина по килю равнялась 39 м.

Поскольку среди обломков судна не было найдено предметов, указывающих на время гибели судна, был поднят образец дерева, переданный для проведения радиоуглеродного анализа в профильную лабораторию Института истории материальной культуры (ИИМК) РАН. Согласно полученному результату возраст образца составил 410 лет ± 30 лет (см. рис. 12). С учетом времени проведения анализа получается, что дерево могло быть срублено в период между 1570 и 1630 гг. или по среднему значению где-то около 1600 года. Учитывая необходимое время выдержки дерева до начала строительства судна, оно могло быть спущено на воду в первой четверти XVII века, а предположив вероятное время его эксплуатации перед крушением, гибель парусника можно ориентировочно отнести ко второй четверти XVII века. Это соответствует историческим реалиям. Действительно, в период с начала столетия и вплоть до заключения в 1617 году Столбовского мира между Московским

царством и Шведским королевством шли военные действия и оптовой торговли и связанных с ней массовых перевозок российских товаров в Финском заливе не осуществлялось. По имеющимся материалам, в период шведской оккупации Новгорода для перевозок в основном использовались небольшие суда, такие как известный «муланский корабль», разбившийся у о. Мулан близ Ханко с грузом российских колоколов, строительных материалов и оружия, вывозившегося шведами из Новгорода³. Но после 1617 года торговые связи возобновились, причем экспорт и перепродажа российских товаров играли важнейшую роль в формировании бюджета Шведского королевства как в период Тридцатилетней войны, так и после ее завершения⁴. Временем окончания данного периода активного торгового мореплавания в Финском заливе следует считать 1657 год, поскольку весной 1658 года началась новая русско-шведская война, завершившаяся в 1661 году подписанием Кардисского мира, по которому Москва получила свободу торговли в Стокгольме, Риге, Выборге, Ревеле, Нарве и Ниене.

Никаких сведений относительно точного времени и обстоятельств крушения судна пока найти не удалось. Более того, найденные обломки не дали материалов для определения национальной принадлежности судна. Однако местоположение обломков, большие размеры судна и ориентировочное время (период) его гибели позволяют высказать предположения о возможном маршруте его плавания. Отсутствие следов груза может означать, что судно следовало для приема российских экспортных товаров в один из трех главных экспортно-импортных терминалов в восточной части Финского залива. После подписания в 1617 году Столбовского мирного договора, зафиксировавшего аннексию шведским королевством российского побережья Финского залива, в восточной части залива действовали три порта: Выборг на северо-востоке, Ниен на востоке и Нарва на юге. Хотя именно последняя традиционно была важнейшим центром транзитной торговли русскими товарами, маловероятно, что судно, разбившееся в центре восточной части залива, могло направляться в Нарву.

³ Sammallahti L. Hangan Mulanin hylky: uppoamispaikka ja eräitä esinelöytöjä. The Maritime Museum of Finland Annual Report. Helsinki, Finnish Heritage Agency, 1991, pp. 62–77.

⁴ Поршнева Б. Ф. Тридцатилетняя война и вступление в нее Швеции и Московского государства. М.: Наука, 1976. 433 с.

Ле-7639

обр.1, дерево.

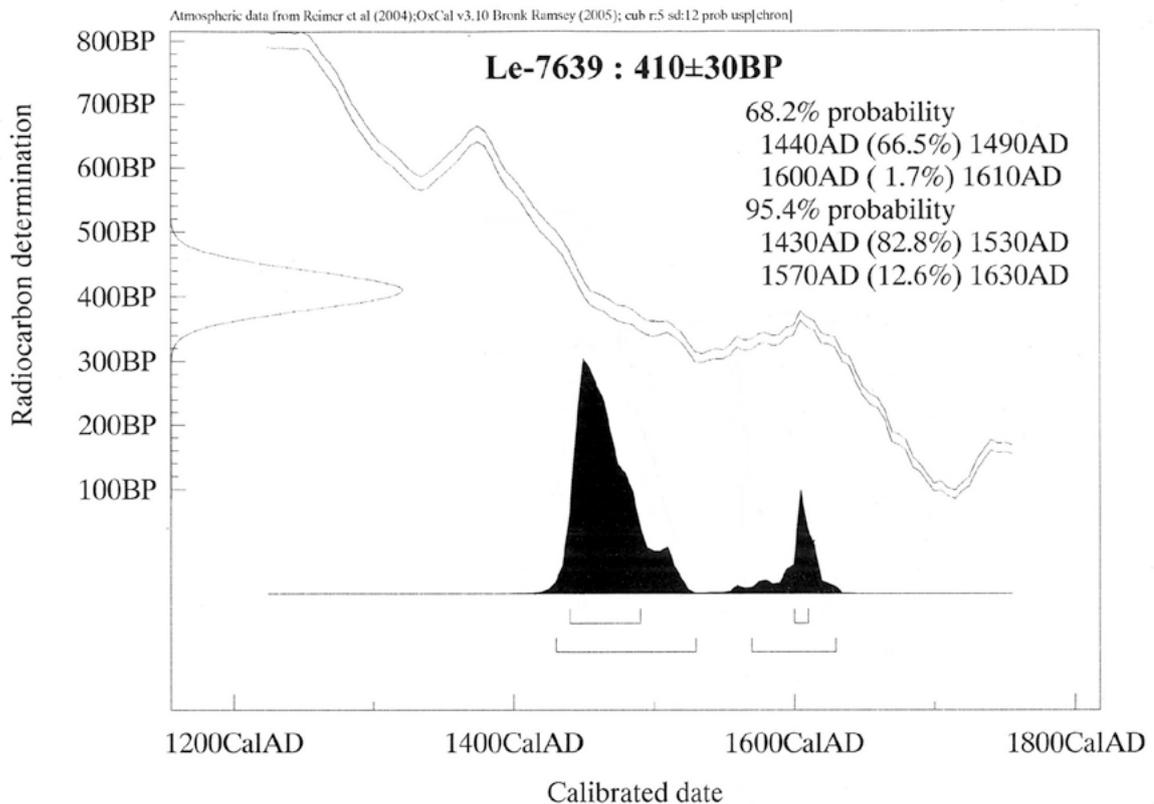


Рис. 12. График калибровки радиоуглеродной даты образца дерева (Лаборатория радиоуглеродного анализа ИИМК РАН)

Тем более что, судя по таможенным книгам нарвского порта, в него заходили преимущественно небольшие суда⁵. Вариант Выборга также представляется сомнительным, поскольку через него также на небольших судах экспортировались в основном произведенные в Карелии и в России смола и деготь в бочках и российский поташ. Наиболее вероятный вариант — новый шведский город Ниен (Nyen) в устье реки Невы. Именно через него велась торговля традиционными русскими товарами: льном, пенькой, паклей, салом, мехами, юфтью, рукавицами, а также товарами из Персии. Но такая версия конечного пункта плавания судна позволяет значительно сузить возможные варианты портов его приписки. Ведь шведские власти в Стокгольме дважды, в ноябре 1622 года и затем в мае 1638 года, специальными указами под угрозой

конфискации судов запрещали иностранным купцам выгружать и/или грузить товары в Ниене⁶. То есть шедшее в Ниен судно могло быть либо шведским, либо принадлежало к немецким землям и городам, захваченным Швецией в ходе Тридцатилетней войны: в первую очередь Передней (Западной) Померании, острову Рюген с портом Штральзунд, а также бывшим ганзейским городам Штеттину, Висмару, Вердену (Фердену) или к прибалтийским провинциям. Отметим, что, по данным нарвских таможенных книг, в 1661–1700 гг. грузы из Нарвы в основном вывозили шведские, германские и прибалтийские суда. Правда редкие крупные суда приходили в Нарву преимущественно из Нидерландов⁷.

⁶ Шарымов А. М. Предыстория Санкт-Петербурга. 1703 год: книга исследований. СПб.: Журнал «Нева», 2004. 784 с. ISBN: 5-87516-044-6

⁷ Пийримяэ Х. А. Торговые отношения России со Швецией и другими странами Европы по материалам нарвского ввоза в 1661–1700 гг. // Скандинавский сборник. Вып. 7. Таллинн: Эстонское государственное издательство, 1963. С. 44–80.

⁵ Пийримяэ Х. А. Состав, объем и распределение русского вывоза в 1661–1700 гг. через шведские владения в Прибалтике на примере г. Нарвы. // Скандинавский сборник. Вып. 5. Таллинн: Эстонское государственное издательство, 1962. С. 34–94.

Останки судна, без сомнения, представляют интерес, и их изучение должно быть продолжено. Полученные результаты пока рассматриваются как предварительные. Для окончательного заключения по правилам требуется провести еще несколько анализов возраста дерева, что позволит исключить возможную ошибку измерений. Желательно было провести и дендрохронологический анализ дерева при условии получения представительного образца. Необходимо обследовать скопления обломков у подножия скальной гряды и на подводном склоне, включив в состав работ съемку дна с помощью профилографа и магнитометра с целью выявления останков, замытых в грунт. Эти работы могут дать образцы судового имущества и вещей членов экипажа.

В случае подтверждения возраста и происхождения судна его останки могут рассматриваться в качестве объектов для подъема и последующей музеефикации. Успешный опыт создания в Музее истории Кронштадта экспозиции на основе нескольких поднятых со дна фрагментов днища и бортов погибшего в 1719 году российского линейного корабля «Лондон» позволяет рассматривать найденные фрагменты корпуса и отдельные элементы конструкции судна в качестве перспективных музейных экспонатов, которые могут составить довольно представительную экспозицию. При этом такой проект не потребует больших затрат, поскольку подъем отдельных фрагментов и элементов конструкции намного проще подъема сохранившегося или частично разрушенного корпуса, а главное, намного упростит консервацию и реставрацию будущих экспонатов.

Изображения: из открытых источников, архива ЦПИ РГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Олеарий А. Описание путешествия в Московию и через Московию в Персию и обратно. СПб.: А. С. Суворин, 1906. 528 с.
2. Пийримяэ Х. А. Состав, объем и распределение русского вывоза в 1661–1700 гг. через шведские владения в Прибалтике на примере г. Нарвы. // Скандинавский сборник. Вып. 5. Таллинн: Эстонское государственное издательство, 1962. С. 34–94.
3. Пийримяэ Х. А. Торговые отношения России со Швецией и другими странами Европы по материалам нарвского ввоза в 1661–1700 гг. // Скандинавский сборник. Вып. 7. Таллинн: Эстонское государственное издательство, 1963. С. 44–80.
4. Поршнев Б. Ф. Тридцатилетняя война и вступление в нее Швеции и Московского государства. М.: Наука, 1976. 433 с.
5. Хоккель Р. Постройка моделей судов XVI–XVII вв. Ленинград: Судостроение, 1972. 112 с.
6. Шарымов А. М. Предыстория Санкт-Петербурга. 1703 год : книга исследований. СПб.: Журнал «Нева», 2004. 784 с. ISBN: 5-87516-044-6
7. Gronhagen J., Konttinen H. Tietoa syvyyksista. Hylkytutkimusken opas. Helsinki, Toredonavalis, 1988, 153 p.
8. Hoesckel R., Jorberg F., Loef R., Schimanski H., Winter H. Risse von Schiffen des 16. und 17. Jahrhunderts. Rostock, Hinstorff Verlag, 1976, 89 p.
9. Sammallahti L. Hangan Mulanin hylky: uppoamispaikka ja eräitä esinelöytöjä. The Maritime Museum of Finland Annual Report. Helsinki, Finnish Heritage Agency, 1991, pp. 62–77.

REFERENCES

1. Olearij A. *Opisanie puteshestviya v Moskoviyu i cherez Moskoviyu v Persiyu i obratno* [Description of the trip to Muscovy and through Muscovy to Persia and vice versa]. St. Petersburg, A. S. Suworin, 1906, 528 p. (In Russ.)
2. Pijirimyae H. A. *Sostav, ob'em i raspredelenie russkogo vyvoza v 1661–1700 gg. cherez shvedskie vladeniya v Pribaltike na primere g. Narvy* [Composition, volume and distribution of Russian export in 1661–1700. Through Swedish possessions in the Baltic states on the example of G. Narva]. Skandinavskij sbornik [Scandinavian collection], issue 5. Tallinn, Estonian State Publishing House, 1962, pp. 34–94. (In Russ.)
3. Pijirimyae H. A. *Torgovye otnosheniya Rossii so SHveciej i drugimi stranami Evropy po materialam narvskogo vvoza v 1661–1700 gg.* [The trade relations of Russia with Sweden and other European countries based on the materials of the Narvsky import in 1661–1700]. Skandinavskij sbornik [Scandinavian collection], issue 7. Tallinn, Estonian State Publishing House, 1963, pp. 44–80. (In Russ.)

4. Porshnev B. F. *Tridcatiletnyaya vojna i vstuplenie v nee SHvecii i Moskovskogo gosudarstva* [Thirty-year war and the entry into it of Sweden and the Moscow state]. Moscow, Science Publ., 1976, 433 p. (In Russ.)
5. Hokkel' R. *Postrojka modelej sudov XVI–XVII vv.* [Building of ships of the vessels of the 16th – 17th centuries]. Leningrad, Shipbuilding, 1972, 112 p. (In Russ.)
6. SHarymov A. M. *Predystoriya Sankt-Peterburga. 1703 god : kniga issledovanij* [The background of St. Petersburg. 1703. A book of research]. St. Petersburg, Neva magazine, 2004, 784 p. (In Russ.) ISBN: 5-87516-044-6
7. Gronhagen J., Konttinen H. Tietoa syvyyksista. Hylkytutkimusken opas. Helsinki, Toredonavalis, 1988, 153 p. (In Finnish)
8. Hoeckel R., Jorberg F., Loef R., Schimanski H., Winter H. *Risse von Schiffen des 16. und 17. Jahrhunderts.* Rostock, Hinstorff Verlag, 1976, 89 p. (In Germ.)
9. Sammallahti L. Hangan Mulanin hylky: upoamispaikka ja eräitä esinelöytöjä. The Maritime Museum of Finland Annual Report. Helsinki, Finnish Heritage Agency, 1991, pp. 62–77. (In Finnish)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лукошков Андрей Васильевич, кандидат технических наук, директор по научной работе АНО «НЦПИ» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, Захарьевская ул., д. 3, лит. А).

e-mail: Lukoshkov2004@mail.ru

Проخورов Роман Юрьевич, археолог, реставратор 1-й категории, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, Захарьевская ул., д. 3, лит. А).

e-mail: romaprodive@rambler.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lukoshkov Andrej Vasil'evich, Candidate of Technical Sciences, Director of Scientific Research, National underwater research center (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

e-mail: Lukoshkov2004@mail.ru

Prokhorov Roman Yur'evich, Archaeologist, Restorer of the First Category, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

e-mail: romaprodive@rambler.ru

Поступила в редакцию 16.02.2024
Поступила после рецензирования 20.04.2024
Принята к публикации 30.04.2024

Received 16.02.2024
Revised 20.04.2024
Accepted 30.04.2024

АРХЕОЛОГИЯ | ARCHAEOLOGY

Оригинальная статья | Original paper

DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-42-51

УДК 902.34

КИНОПЛЕНКА С МОРСКОГО ДНА.
ВОЗВРАЩЕНИЕ ИСТОРИИВ. В. Логвиненко¹, Р. Ю. Прохоров² ✉

¹Федеральное казенное учреждение «Российский государственный архив кинофотодокументов»
Московская область, г. Красногорск, Российская Федерация

²АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ office@urc-rgs.ru

Аннотация	В 2018 году при проведении археологических разведок в акватории Нарвского залива Центром подводных исследований Русского географического общества был выявлен разрушенный корпус металлического судна. Объект получил наименование «Нарвский 1» и был идентифицирован как немецкий минный заградитель ROLAND, погибший в 1944 году. Среди металлических обломков на объекте были обнаружены коробки с киноплёнкой. В статье приведено краткое описание найденного объекта, а также проведенные Российским государственным архивом кинофотодокументов работы по сохранению и идентификации киноматериала с поднятых киноплёнок.
Ключевые слова	Нарвский залив, «Роланд», археологические разведки, ЦПИ РГО, РГАКФД, Вторая мировая война, киноплёнка
Для цитирования	Логвиненко В. В., Прохоров Р. Ю. Киноплёнка с морского дна. Возвращение истории // Гидрокосмос. 2024. Т. 2, 1. № 5-6. С. 42-51. DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-42-51

FILM REEL FROM THE SEABED: A RETURN TO HISTORY

V. V. Logvinenko¹, R. YU. Prokhorov² ✉

¹Federal government institution "Russian State Archives of Film and Photo Documents,"
Krasnogorsk, Moscow Region, Russian Federation

²ANO "Underwater Research Center of the Russian Geographical Society,"
St. Petersburg, Russian Federation

✉ office@urc-rgs.ru

Abstract	In 2018, during archaeological surveys in the waters of Narva Bay, the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society identified the wreck of a metal vessel. The object was designated Narvsky 1 and identified as the German minelayer Roland, which sank in 1944. Film reels were discovered among the metal debris. The article provides a brief description of the recovered object, along with an account of the preservation and identification efforts concerning the film material retrieved from the recovered film reels, undertaken by the Russian State Film and Photo Archive.
-----------------	--

Keywords	Narva Bay, Roland, archaeological surveys, Underwater Research Center of the Russian Geographical Society, Russian State Film and Photo Archive, World War II, film reel
For citation	Logvinenko V. V., Proxorov R. YU. Film reel from the seabed: a return to history. <i>Hydrocosmos</i> . 2024. Vol. 2, 1, no. 5–6, pp. 42–51. DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-42-51 (In Russ.)

Введение

Весной 2018 года ЦПИ РГО проводил дистанционное обследование морского дна в акватории Нарвского залива¹. Обследование велось при помощи многолучевого эхолота высокого разрешения Sea Bat T20-R (Дания).

В результате поисковых работ был выявлен объект, получивший наименование «Нарвский 1». На гидроакустическом изображении отчетливо прорисовался лежащий на глубине 45 метров корпус (см. рис. 1).

Водолазное обследование позволило сделать вывод, что объект является корпусом большого металлического судна. Корпус разорван на две части. Останки корпуса имеют очень значительные разрушения.

¹ Прохоров Р. Ю. Отчет о археологических разведках в акватории Финского залива в 2018 году. М.: 2019 г.; Лукошков А. В. Реестр кораблей и других объектов подводного историко-культурного наследия Российской Федерации. Т. 1. Финский залив. Кн. 4. Корабли и суда 1941–1945 гг. СПб.: БЛИЦ, 2021 г. 280 с.

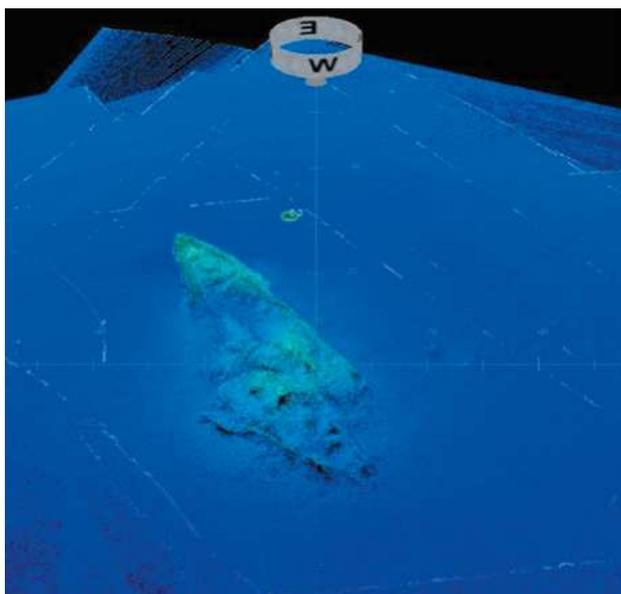


Рис. 1. Изображение корпуса объекта «Нарвский 1», полученное с помощью многолучевого эхолота

Надстройки и внутренние помещения практически не сохранились. Достаточно хорошо сохранилась лишь носовая часть корпуса. Большая часть корпуса, детали машин и вспомогательного оборудования искорежены, дефрагментированы и разбросаны на значительной площади. Подобное состояние объекта позволило сделать однозначный вывод, что корабль погиб в результате мощного взрыва, разорвавшего корпус пополам.

Согласно имеющимся данным в ночь с 21 на 22 апреля 1944 года в этом районе погиб немецкий минный заградитель «Роланд».

Эта версия была однозначно подтверждена после находки судового колокола с гравировкой Roland Bremen.

История корабля. Полевые работы

Корабль водоизмещением 2346 тонн был построен немецким концерном DeSchiMAG в Геестемюнде на верфи Joh. C. Tecklenborg в 1927 году по заказу компании Norddeutscher Lloyd как пассажирский лайнер (см. рис. 2). Корабль был рассчитан на размещение 2400 пассажиров и 60 человек команды. Длина корпуса по палубе составляла 90,8 метра, ширина — 13 метров, осадка — 3,12 метра. Имел топливные танки на 360 тонн нефти. После ввода в строй корабль курсировал на линии между Бремерхафеном и о. Гельголанд как круизный лайнер (см. рис. 3).

В 1939 году «Роланд» был мобилизован, переоборудован в минный заградитель и 23 августа 1939 года введен в строй Кригсмарине как Minenschiff Roland. В качестве такового участвовал во Второй мировой войне, в частности в минных постановках в Северном море с баз на побережье Норвегии. В конце апреля 1942 года «Роланд» был переведен на Балтику, где в течение двух лет занимался постановкой противолодочных минных заграждений в Финском заливе. В феврале 1944 года на минном заградителе сменился командир — из-за нехватки офицеров из резерва был вызван капитан торгового флота К. Вехр (K. Wehr).

Рис. 2. Спуск «Роланда» на воду

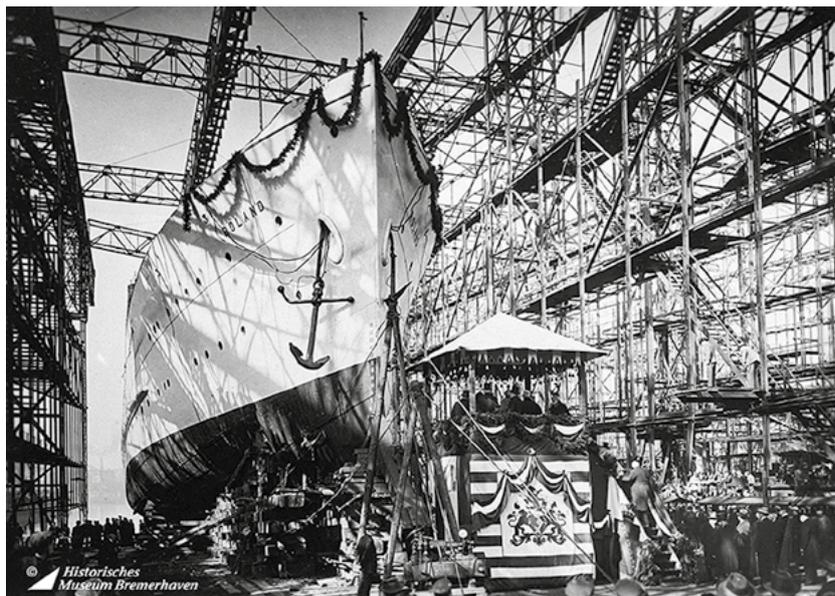


Рис. 3. Roland у пассажирского причала



В марте 1944 года в ожидании советского наступления Кригсмарине приступило к новому усилению минных заграждений в южной части Финского залива. «Роланд» участвовал в двух минных постановках, проведенных в ночи с 13 на 14 и с 16 на 17 апреля в Нарвском заливе.

Корабль погиб в результате взрыва в ночь с 21 на 22 апреля 1944 года в ходе очередной операции по постановке дополнительного минного заграждения в Нарвском заливе. В немецких источниках приводятся координаты места гибели корабля².

² Kutzleben K., Schroeder W., Brennecke J. *Minenschiffe 1939–1945*. Herford, Koehlers 1974, 278 p.; Õun M., Ojalo H. *Võitlused Läänemerele 1943–1945*. Tallinn, Grenader, 2010, 294 p.

Однако указанные в немецких источниках координаты места гибели минного заградителя оказались неверными. Это было объяснимо, поскольку корабль погиб ночью и точно определить место его потопления корабли сопровождения попросту не могли. Немцы приписали гибель корабля подрыву на советских авиационных минах, но, как свидетельствуют документы, самолеты ВВС КБФ никогда не ставили мин в Нарвском заливе.

Для организации полномасштабных поисков заранее был подготовлен план работ. Предполагалось, что корабль погиб, подорвавшись на минах немецких заграждений SEEIGEL 76 или SEEIGEL 76/2 (Seeigel — морской еж) (см. рис. 4), которые он должен был усилить, выставив дополнительные мины вдоль

их западной кромки. Поэтому его поиски проводились на основе предварительно полученных из немецких архивов карт и схем немецких минных постановок в Нарвском заливе.

В результате трехдневных работ поискового отряда разрушенный корпус был обнаружен лежащим на глубине 45 метров в точке, находящейся северо-западнее верхнего (северного) края минных заграждений. Это позволило исключить версию случайного подрыва на mine уже установленного минного заграждения. Вероятно, корабль ночью мог наткнуться на дрейфующую плавучую мину или же произошел случайный подрыв мины на борту самого корабля. При подрыве произошла детонация приготовленных к сбросу мин, и корабль мгновенно затонул со всем экипажем из 235 моряков.

Объект был детально заснят с помощью многолучевого эхолота. На полученных трехмерных гидроакустических изображениях хорошо видно, что стоящий на ровном киле

корпус разломился на две части, причем кормовой фрагмент смещен вперед и влево от основной части. В результате развал обломков на дне имеет общую длину более 110 метров и ширину до 20 метров. При этом контуры бортов сохранились, что позволяет определить общую ориентацию останков корабля, лежащего носом по курсу примерно 70 градусов.

Водолазное обследование показало, что носовая часть корабля с полубаком сохранилась очень хорошо (см. рис. 5, 6), включая якоря в клюзах и помещения ахтерпика.

Основные проблемы были связаны с обследованием центральной и кормовой частей корпуса, которые были полностью разрушены взрывом, палубные надстройки отсутствуют, и их обломки представляют собой хаотичное скопление бесформенных обломков, лежащих как внутри, так и снаружи корпуса. При этом высота нагромождений из исковерканных взрывом металлических конструкций составляет от 3 до 5 метров.

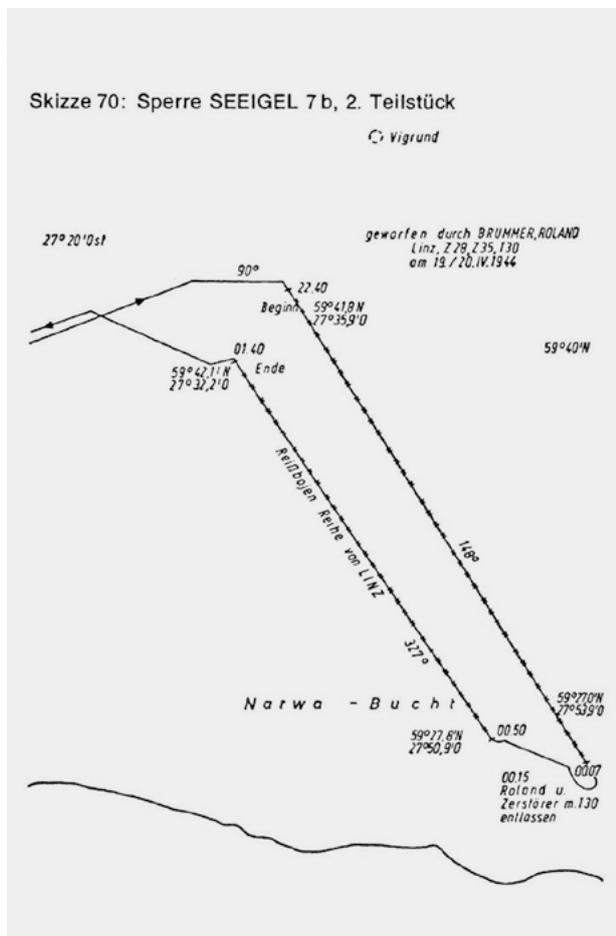


Рис. 4. Карта немецких морских минных заграждений SEEIGEL



Рис. 5. Носовая часть объекта



Рис. 6. Якорная лебедка в носовой части судна

В носовой части был найден судовой колокол с надписью *Roland Bremen*, что сняло все сомнения в идентификации найденного объекта (см. рис. 7, 8).

Среди нагромождения обломков корпуса была сделана неожиданная находка — несколько рулонов киноплёнки (см. рис. 9). Изначально плёнка находилась в круглых жестяных коробках, но они не сохранились. Очевидно, после переделки корабля из пассажирского в военное судно судовой кинотеатр, изначально предназначавшийся для развлечения пассажиров, был сохранен и продолжал работать. Внутри коробок оказалась смотанная кинолента.

Чтобы узнать, что за киноматериал был запечатлен на плёнке, мы обратились в Российский государственный архив кинофотодокументов (РГАКФД) в городе Красногорске (Московская обл.). Руководство архива с большим интересом отнеслось к нашей находке и согласилось помочь в решении нашего вопроса.

Плёнка была передана в руки специалистов отдела реставрации кинофотодокументов, где с ней была начата длительная и кропотливая работа по сохранению и покадровой разборке сохранившегося киноматериала.

По словам специалистов отдела, им уже приходилось иметь дело со старым киноматериалом, обнаруженным в земле, а работа с киноплёнкой, пролежавшей в морской воде более 70 лет, стала для них первым подобным опытом и в определенной степени вызовом.

Хочется выразить особою благодарность Моисеевой Римме Максимовне, заместителю директора по организационным вопросам и связям с общественностью, которая оказала всестороннюю помощь в организации этой работы. По результатам проведенных исследований был подготовлен доклад, представленный на Архивных чтениях, посвященных 95-летию Российского государственного архива кинофотодокументов (автор доклада — руководитель отдела реставрации кинофотодокументов Логвиненко В. В.) Материалы доклада использованы в данной статье³.

³ Логвиненко В. В. Неожиданная находка на дне Балтийского моря: докл. на XXX Архивных чтениях, посвященных 95-летию Российского государственного архива кинофотодокументов 12 октября 2021 г.



Рис. 7. Судовой колокол в носовой части объекта



Рис. 8. Судовой колокол после реставрации

Работа с киноплёнкой

После подъема коробки с киноплёнкой хранились в емкости с периодически сменяемой морской водой. Это было сделано с целью предотвращения высыхания и возможной порчи эмульсионного слоя. В контейнере она сохранялась непосредственно до момента ее передачи в отдел реставрации кинофотодокументов РГАКФД. Сотрудники отдела провели длительную и кропотливую работу по сохранению, покадровой разборке и идентификации сохранившегося киноматериала.



Рис. 9. Рулоны смотанной киноплёнки, поднятые с «Роланда»

Киноплёнка является полимерным плёночным материалом. Черно-белая позитивная плёнка представляет собой набор слоев (см. рис. 10).

Слой № 1 — это основа, на которую наносится подслой № 2, эмульсия — слой № 4. Кроме этого, на плёнке присутствуют и другие слои: противоореольный слой № 3 и контрольный слой № 5 в нижней части плёнки (предотвращающий скручивание основы).

Со временем при совершенствовании киноматериалов в профессиональной кинематографии в качестве основы обычно стал использоваться только один класс полимерных соединений — это эфиры целлюлозы. Вместе с крахмалом и натуральным каучуком целлюлоза является одним из важнейших полимерных соединений в растительном мире.

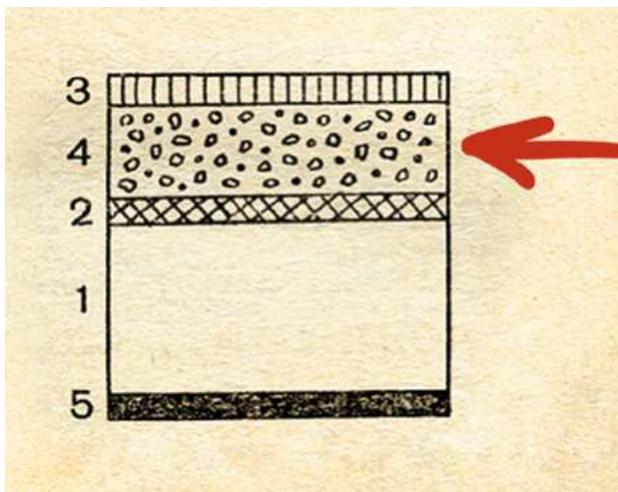


Рис. 10. Структура киноплёнки

До 50-х годов XX века в качестве гибкой основы киноплёнки широко применялся нитрат целлюлозы. Один из его основных недостатков заключается том, что он является химически нестойким продуктом, который постепенно разлагается с выделением окислов азота. Кроме того, нитрат целлюлозы легко воспламеняется и горит с высокой скоростью даже в отсутствие кислорода. Потушить горящую киноплёнку водой невозможно. Если зажженный рулон бросить в бак с водой, он будет плавать на поверхности, но горение не прекратится. Если погрузить его в воду, то горение открытым пламенем прекратится, однако бурное разложение плёнки будет продолжаться до полного разложения всего рулона.

При простом опыте (поджигании небольшого фрагмента плёнки) подтвердилось, что найденная на глубине киноплёнка изготовлена на нитрооснове.

Эмульсия (слой № 4) изготавливается из желатина. Потребовалось около 30 лет интенсивных поисков и исследований в XIX веке, чтобы найти это связующее звено для размещения на основе фиксирующего изображение светочувствительных галогенидов серебра (на рисунке 10 они изображены зёрнами).

По своему происхождению, желатин является продуктом, получаемым из животного белка — коллагена. Коллаген — это основное вещество соединительных тканей организмов животных, имеет для них то же значение, что целлюлоза для растений. Кроме фотографического желатина, изготавливают также желатин пищевой и клей.

Сырьем для производства фотографического желатина является кость крупного рогатого скота, которую сначала обезжиривают, затем освобождают от сопутствующих неорганических веществ и, наконец, варят. В процессе варки в определенных условиях сложная макромолекула коллагена распадается на более простые макромолекулы желатина.

С химической и полимерной точек зрения, желатин — это биополимер, состоящий из 18 разнообразных аминокислот. Молекулы аминокислот вступают между собой в реакцию, связываются и образуют полипептидные цепочки. Наличие разнообразных групп аминокислот определяет способность растворов желатина набухать в воде при понижении температуры раствора ниже 30 градусов Цельсия и образовывать студни. При температуре воды ниже 30 градусов Цельсия желатин теряет текучесть, полипептидные цепочки формируют межмолекулярные узлы и между макромолекулами желатина образуется пространственная сетка, охватывающая весь объем раствора.

При комнатной температуре застывшая пленка желатина находится в высокоэластичном состоянии, проявляя способность к высоким обратимым деформациям.

Согласно правилам организации хранения, комплектования, учета и использования документов Архивного фонда Российской Федерации температура хранения черно-белых киноплёнок на нитрооснове не должна превышать +10 градусов Цельсия. Температура воды на дне Балтийского моря составляет 2–5 градусов Цельсия. Таким образом, киноплёнка на затонувшем «Роланде» оказалась в благоприятных для ее сохранности температурных условиях окружающей среды.

Коллаген не растворяется в воде, а желатин, имеющий тот же аминокислотный состав, может растворяться в воде при температуре выше 30 градусов Цельсия. Однако, не растворяясь в холодной воде, желатин в ней хорошо набухает. Величина максимального набухания зависит от многих условий: температуры воды, pH воды и других факторов. Чем выше температура воды, тем больше в ней набухание. Величина набухания желатина может составлять до 1000 % (10-кратный рост объема вещества).

Зависимость набухания желатина от pH показана на рисунке 11 (pH – это показатель, определяющий концентрацию ионов водорода

в растворе, или мера кислотности водных растворов).

Как видно из рисунка, минимальная набухаемость желатина наблюдается при pH воды, равному 4,5. Максимальная набухаемость соответствует сильноокислой (pH 3,5) и сильнощелочной (pH 10) средам.

pH дистиллированной воды равен 7,0, pH океанской воды не отклоняется далеко от значения 8,1. Если в море вливается река, pH воды может быть ниже. «Роланд» затонул в Нарвском заливе, в который впадает пресная вода реки Нарва, и pH воды в районе имеет значения 7,2–7,8.

Чем выше степень набухания желатинового слоя, тем меньше его прочность. При избыточном набухании единая масса студня желатина начинает постепенно разлагаться на отдельные частицы дисперсной массы и, в конце концов, переходит в золь. Золь можно сравнить с туманом, где отдельные мелкие частицы воды присутствуют в подвешенном состоянии в воздухе.

Таким образом, низкая температура дна Балтийского моря и относительно невысокий pH препятствовали саморазложению нитроосновы найденной киноплёнки, а также не позволяли желатину избыточно набухнуть, вплоть до разрыва межмолекулярных связей аминокислот желатина. Очевидно, что положительную роль в сохранении желатинового слоя также сыграла плотная намотка одного из рулонов.

Первый этап работы с пленкой заключался в ее просушке. Рулоны были влажными, с явными следами гари и пепла, а также ржавчины.

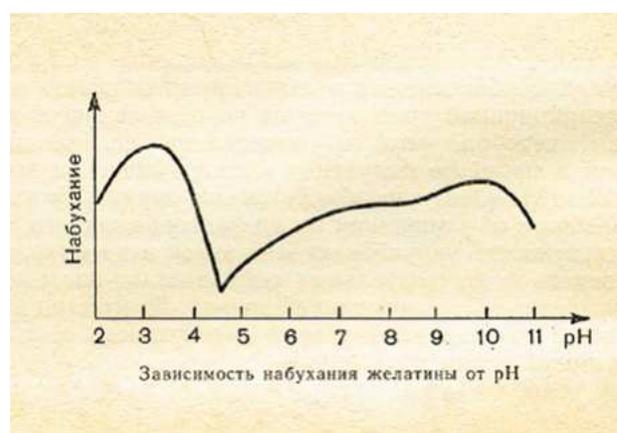


Рис. 11. Зависимость набухания желатина от pH

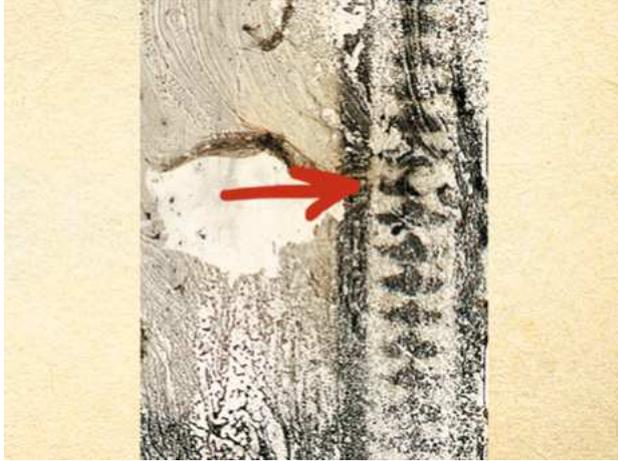


Рис. 12. Оптическая звуковая дорожка на киноплёнке

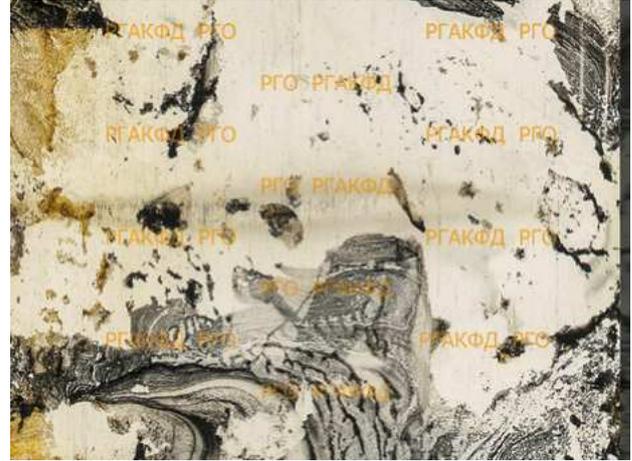


Рис. 13. Кадры киноплёнки с практически разрушенным слоем эмульсии



Рис. 14. Кадр с сохранившимся изображением



Рис. 15. Кадры киноплёнки с «Роланда»

Один из рулонов был плотно смотан. Для просушки киноплёнка была размотана. Сушка проводилась при температуре 20–22 °С и влажности около 30 %.

После просушки, киноплёнка была снова смотана и просмотрена на фильмомонтажном столе. Это была позитивная звуковая (с оптической звуковой дорожкой) копия с глубокими царапинами на основе (см. рис. 12).

Высохшая эмульсия в основной массе не осыпалась, и фрагменты отдельных изображений сохранились.

Подавляющее большинство кадров невозможно разобрать (см. рис. 13).

Однако среди сотен кадров, не несущих информации, были найдены отдельные кадры с частично размытым, но достаточно четко

сохранившимся изображением, позволяющим строить догадки.

На сохранивших изображение кадрах можно увидеть двух стоящих мужчин (см. рис. 14) — плотного и стройного. На стройном мужчине светлая шляпа с темным широким бантом (см. рис. 15). На другом кадре мужчины пытаются достать что-то предметом, похожим на длинную палку (см. рис. 16).

Это немногие частично сохранившиеся кадры, которые могли стать ключевыми для распознавания фильма. С этой целью РГАКФД сделал запрос специалистам Музея кино. Им были переданы наиболее разборчивые лица мужчин и кадры с предполагаемой палкой. Специалисты музея предположили, что в кадре, возможно, сняты американские актеры Хью Херберт и Дональд Вудс. В общедоступных к просмотру в интернете игровых фильмах с участием этих актеров похожих кадров ими найдено не было.



Рис. 16. Кадр из фильма со сценой, идентичной сцене на кадре с рисунка 15

Также ими было выражено сомнение в том, что это немецкие актеры. Но определить, что это за фильм, увы, не удалось.

Однако история с идентификацией фильма получила неожиданное продолжение. 2 декабря 2021 года РГАКФД опубликовал на «Пикабу» пост с просьбой помочь в поисках кинохроники по кадрам. И уже 6 декабря 2021 года фильм удалось опознать. По кадрам удалось определить, что на киноплёнке был записан фильм 7 Jahre Glück («Семь лет удачи»). Это немецкий комедийный фильм 1942 года, снятый Эрнстом Маришкой (Ernst Marischka) с Вольфом Альбах-Ретти, Тео Лингеном и Хансом Мозером в главных ролях. Это продолжение фильма 1940 года «Семь лет невезения». Он был снят на студии Cinecittà Studios в Риме.

На рисунке 16 показан кадр из этого фильма. Он почти идентичен кадру с киноплёнки на рисунке 15 (только кадр здесь зеркально перевернут).

В кадре два персонажа: в шляпе слуга Пол Гриблинг (актер Тео Линген, англ. Theo Linggen),

Изображения: из открытых источников, архива ЦПИ РГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Логвиненко В. В. Неожиданная находка на дне Балтийского моря : докл. на XXX Архивных чтениях, посвященных 95-летию Российского государственного архива кинофотодокументов 12 октября 2021 г.
2. Лукошков А. В. Реестр кораблей и других объектов подводного историко-культурного наследия Российской Федерации. Т. 1. Финский залив. Кн. 4. Корабли и суда 1941–1945 гг. СПб.: БЛИЦ, 2021. 280 с. ISBN: 978-5-86789-499-3

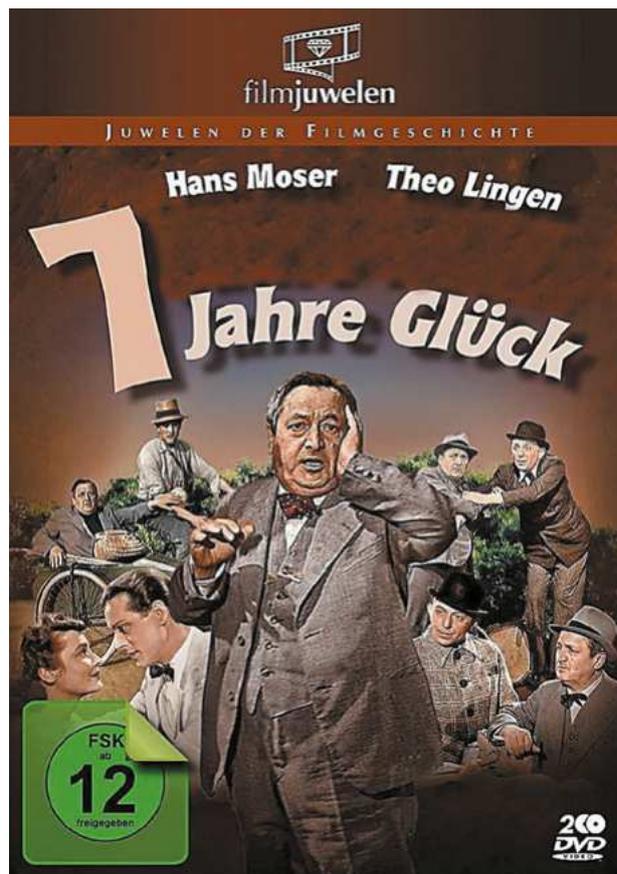


Рис. 17. Кинофильм «Семь лет удачи», выпущенный в серии «Сокровища истории кино»

который случайно встречает своего старого друга доктора Тейзингера (Ханс Мозер, англ. Hans Moser), сцена происходит во время спасения другого героя, упавшего в воду во время рыбалки.

Фильм попал в серию «Сокровища истории кино» (см. рис. 17), и его можно посмотреть и сейчас.

Таким образом, в истории с киноплёнкой, пролежавшей 74 года в холодных водах Финского залива, была поставлена заключительная точка.

3. Прохоров Р. Ю. Отчет о археологических разведках в акватории Финского залива в 2018 году. М.: 2019.
4. Kutzleben K., Schroeder W., Brennecke J. Minenschiffe 1939–1945. Herford, Koehlers, 1974, 278 p. ISBN 9783782200981
5. Õun M., Ojalo H. Võitlused Läänemerel 1943–1945. Tallinn, Grenader, 2010, 294 p. ISBN 9789949448425

REFERENCES

1. Logvinenko V. V. *Neozhidannaya nahodka na dne Baltijskogo morya* [An unexpected find at the bottom of the Baltic Sea]. *Dokl. na XXX Arhivnyh chteniyah, posvyashchennyh 95-letiyu Rossijskogo gosudarstvennogo arhiva kinofotodokumentov 12 oktyabrya 2021* [A report on the XXX archival readings dedicated to the 95th anniversary of the Russian State Archive of Film Photo-Documents October 12, 2021]. (In Russ.)
2. Lukoshkov, A. V. *Reestr korablej i drugix ob'ektov podvodnogo istoriko-kul'turnogo naslediya Rossijskoj Federacii* [Register of Ships and Other Objects of the Underwater Historical and Cultural Heritage of the Russian Federation]. Vol. 1: *Finskij zaliv* [Gulf of Finland], book 4: *Korabli i suda 1941–1945* [Ships and Vesselsof 1941–1945]. St. Petersburg, BLIC Publ., 2021, 280 p. (In Russ.)
3. Prohorov R. YU. *Otchet o arheologicheskikh razvedkah v akvatorii Finskogo zaliva v 2018 godu* [Report on archaeological intelligence in the water area of the Gulf of Finland in 2018]. Moscow, 2019. (In Russ.)
4. Kutzleben K., Schroeder W., Brennecke J. Minenschiffe 1939–1945. Herford, Koehlers, 1974, 278 p. (In Germ.) ISBN 9783782200981
5. Õun M., Ojalo H. *Võitlused Läänemerel 1943–1945*. Tallinn, Grenader, 2010, 294 p. (In Est.) ISBN 9789949448425

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Логвиненко Виталий Владимирович, руководитель отдела реставрации кинофотодокументов Российского государственного архива кинофотодокументов (Россия, 143402, Московская область, г. Красногорск, Речная ул., д. 1).

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Logvinenko Vitaliy Vladimirovich, Head of the Film and Photo Restoration Department, Federal government institution "Russian State Archives of Film and Photo Documents" (River St., d. 1, Krasnogorsk, Moscow Region, 143402, Russia).

Prokhorov Roman Yur'evich, Archaeologist, Restorer of the First Category, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar `evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).
e-mail: romaprodive@rambler.ru

Поступила в редакцию 29.02.2024
Поступила после рецензирования 18.03.2024
Принята к публикации 30.04.2024

Received 29.02.2024
Revised 18.03.2024
Accepted 30.04.2024

ТЕХНИКА / ТЕХНОЛОГИИ | TECHNOLOGY / TECHNOLOGIES

Оригинальная статья | Original paper

DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-52-63

УДК 681.883.45



ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДЛИННОБАЗИСНАЯ ТРЕКИНГОВАЯ СИСТЕМА WAYU: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА В ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОЕМАХ

А. В. Дикарев¹ ✉, А. В. Василенко¹ ✉, С. М. Дмитриев¹ ✉, В. А. Кубкин¹ ✉,
И. А. Путинцев² ✉, А. К. Машков² ✉, Н. Е. Капустин² ✉, М. С. Маршалов² ✉

¹ООО «Лаборатория подводной связи и навигации», г. Москва, Российская Федерация

²ООО «Подводные дроны», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ a.dikarev@unavlab.com

Аннотация

В статье рассматриваются результаты испытаний в условиях естественных водоемов гидроакустической длиннобазисной трекинговой системы на микроТНПА (телеуправляемый необитаемый подводный аппарат) «Трионикс-4М». Приводится краткая история развития гидроакустических навигационных систем для подводных аппаратов, дается обобщенная классификация гидроакустических навигационных систем. Кратко изложен принцип работы обсуждаемой системы, показаны треки движения ТНПА, получаемые в реальном времени при работе ТНПА в водоеме, приведены результаты статического эксперимента, в результате которого было получено среднеквадратичное отклонение местоположения неподвижного позиционируемого объекта 0,75 м. Среднее время обновления местоположения во всех проведенных экспериментах лежит в диапазоне 2–3 секунды.

Ключевые слова

гидроакустическая навигация, ГАНС ДБ, длиннобазисная навигационная система, навигация ТНПА

Для цитирования

Дикарев А. В., Василенко А. В., Дмитриев С. М., Кубкин В. А., Путинцев И. А., Машков А. К., Капустин Н. Е., Маршалов М. С. Гидро-акустическая длиннобазисная трекинговая система WAYU: экспериментальная проверка в естественных водоемах // Гидрокосмос. 2024. Т. 2, 1. № 5–6. С. 52–63. DOI: [10.24412/2949-3838-2024-56-52-63](https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-52-63)

WAYU LONG BASELINE HYDROACOUSTIC TRACKING SYSTEM: EXPERIMENTAL TESTING IN NATURAL WATER RESERVOIRS

A. V. Dikarev¹ ✉, A. V. Vasilenko¹ ✉, S. M. Dmitriev¹ ✉, V. A. Kubkin¹ ✉,
I. A. Putincev² ✉, A. K. Mashkov² ✉, N. E. Kapustin² ✉, M. S. Marshalov² ✉

¹Underwater communication & navigation laboratory, LLC, Moscow, Russian Federation

²Podvodnye drony, LLC, St. Petersburg, Russian Federation

✉ a.dikarev@unavlab.com

Abstract

The article discusses the results of testing the long baseline hydroacoustic tracking system in natural water reservoirs using the Trionix-4M microROV.

A brief history of the development of hydroacoustic navigation systems for underwater vehicles is provided, as well as a generalized classification of hydroacoustic navigation systems. The operating principle of the discussed system is briefly described, and real-time tracking of the ROV's movement in the water body is demonstrated. The results of a static experiment are presented, in which the root mean square deviation of the position of a stationary object was determined to be 0.75 m. The average position update time in every experiment ranged between 2 and 3 seconds.

Keywords underwater acoustic navigation, LBL, ROV navigation, ROV tracking

For citation Dikarev A. V., Vasilenko A. V., Dmitriev S. M., Kubkin V. A., Putincev I. A., Mashkov A. K., Kapustin N. E., Marshalov M. S. WAYU Long Baseline Hydroacoustic Tracking System: Experimental Testing in Natural Water Reservoirs. *Hydrocosmos*. 2024. Vol. 2, 1, no. 5–6, pp. 52–63. DOI: [10.24412/2949-3838-2024-56-52-63](https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-52-63) (In Russ.)

Введение

Первые гидроакустические навигационные системы можно отнести к началу 60-х годов 20-го века и периоду батискафа «Триест»¹. Использование первых необитаемых телеуправляемых аппаратов рабочего класса берет свое начало в конце 80-х годов 20-го века². Внедрение телеуправляемых аппаратов осмотрового класса вместе с первыми малыми гидроакустическими навигационными системами можно отнести лишь к началу 2000-х годов³. Во многом это произошло естественным путем, когда технология необитаемых подводных аппаратов перешла из стадии производства единичных экземпляров к серийному производству с повышением

доступности, увеличением номенклатуры образцов и стандартизации⁴.

Лишь в последние несколько лет можно говорить о начале проникновения различных образцов малой гидроакустики на потребительский рынок.

Традиционно сложилась упрощенная классификация навигационных систем по размеру навигационной измерительной базы относительно характерного размера траектории позиционируемого объекта. Согласно этой классификации⁵ системы разделяются на:

— ультракороткобазисные (УКБ), к которым относятся дальномерно-угломерные системы с фазированной антенной решеткой, где под размером измерительной базы понимается габарит фазированной антенной решетки, который в большинстве коммерческих систем находится в диапазоне от нескольких сантиметров до нескольких десятков сантиметров. В этих системах положение маяка-ответчика или пингера, связанного с позиционируемым объектом, определяется в локальной полярной системе координат

¹ Piccard J. Profondeur 11000 mètres, Paris, Arthaud, 1961, 273 p.

² Greene H. G., Stakes D. S., Orange D. L., Barry J. P. and Robison B. H. Application of a remotely operated vehicle in geologic mapping of Monterey Bay, California, USA In: Heine and Crane (Eds). *Diving for Science...1993. Proceedings of the 13th Annual Scientific Diving Symposium, American Academy of Underwater Sciences*. Pacific Grove, California, 1993. Archived from the original on March 13, 2009. Retrieved 2008–07–11; Harrold C., Light K., Lisin S. Distribution, Abundance, and Utilization of Drift Macrophytes in a Nearshore Submarine Canyon System. In: Heine and Crane (Eds). *Diving for Science...1993. Proceedings of the 13th Annual Scientific Diving Symposium, American Academy of Underwater Sciences*. Pacific Grove, California, 1993. Archived from the original on March 13, 2009. Retrieved 2008–07–11

³ 16,000 hours beneath the sea (and counting). MBARI, 10 March 2017 [Эл. ресурс]. URL: <https://www.mbari.org/news/16000-hours-beneath-the-sea-and-counting/> (полн. посещение: 06.04.2024).

⁴ CSSF-ROPOS, About Us [Эл. ресурс]. URL: <https://www.ropos.com/index.php/about-us> (полн. Посещение: 06.04.2024); ISO 13628–8:2002: Petroleum and natural gas industries. Design and operation of subsea production systems. Part 8: Remotely Operated Vehicle (ROV) interfaces on subsea production systems. Geneva, Switzerland, 2002. URL: <https://www.iso.org/standard/37291.html> Retrieved 2023–02–19.

⁵ Lee G. C., Ko Y. T., Chan Min Yoo, Chi Sang-Bum, Kim Jonguk, Ham D. J. Review on Underwater Positioning for Deep Towing Vehicles. *Ocean and Polar Research*. Korea Institute of Ocean Science & Technology, 2005, vol. 27, is. 3, pp. 335–339.

(по наклонной дальности, одному или двум углам прихода сигнала или разности глубин пеленгационной антенны и позиционируемого объекта). Привязка к географической системе координат может выполняться при помощи компаса и GNSS-приемника;

— короткобазисные (КБ). К таким системам могут относиться как дальномерноугломерные, так и дальномерные и разностно-дальномерные системы. Элементы измерительной базы в таких системах располагаются на общем основании (например, на корпусе судна) и являются кинематически связанными. Если КБ система работает как дальномерная или разностно-дальномерная, то положение позиционируемого объекта определяется в декартовой системе координат;

— длиннобазисные (ДБ) системы представлены дальномерными или разностнодальномерными системами. Элементы измерительной базы в таких системах кинематически не связаны друг с другом: находятся на дне (донная база) или на поверхности (плавучая база). В ДБ системах, как правило, положение позиционируемого объекта определяется в декартовой системе координат.

При решении разных задач возможен синтез разных систем.

Системам всех типов присущи свои достоинства и недостатки, как и наиболее предпочтительные диапазоны условий и сценарии применения⁶.

В данной работе мы рассматриваем длиннобазисную систему с плавучими опорными точками. Такая компоновка позволяет применять систему, обладая минимальным набором навыков и оборудования: расстановка и сбор буев могут быть выполнены практически с любого плавсредства, а пункт контроля может быть расположен на суше.

Описание системы

Система WAYU имеет в составе четыре буя, размещающихся на поверхности водоема на якорях, пингер, размещающийся

⁶ Severino U., Cario G, Casavola A., Lupia M., Gagliardi G. Bruno F. Analysis of Error Sources in Underwater Localization Systems. France, Marseille, OCEANSE, 2019, pp. 1–6. DOI: [10.1109/OCEANSE.2019.8867536](https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2019.8867536)



Рис. 1. Комплект оборудования WAYU перед установкой на водоеме (показаны три буй с якорями и якорными веревками) и микроТНПА «Трионикс-4М»



Рис. 2. МикроТНПА «Трионикс-4М» с пингером WAYU, установленным в верхней части ТНПА на специализированном кронштейне

на позиционируемом объекте, и оснащенный специализированным программным обеспечением ПК, к которому по USB подключается приемный радиомодем⁷.

Буи выполняют роль опорных точек. Каждый буй оснащен гидроакустическим приемным трактом с гидроакустической антенной, радиомодемом 433 МГц с мощностью передатчика 100 мВт, приемником GNSS и автономным аккумуляторным источником питания. На рисунке 1 показан набор оборудования перед установкой на водоеме.

Пингер, в зависимости от исполнения, может быть как с автономным источником питания, так и без такового, в случае если питание осуществляется от носителя.

⁷ WAYU — Гидроакустическая трекинговая система. Краткое описание. Лаборатория подводной связи и навигации [Эл. ресурс]. URL: https://docs.unavlab.com/documentation/RU/WAYU/WAYU_DataBrief_ru.html (посл. посещение: 16.10.2023).

Малый размер и вес пингера (41 × 45 мм, 150 граммов) позволяет применять его, например, на самых миниатюрных ТНПА. На рисунке 2 показан пингер, смонтированный на микроТНПА Trionix⁸.

Пингер с частотой 25–28 кГц и периодом 2 секунды излучает навигационный сигнал, который принимается буями. Буи определяют собственное географическое положение и текущее время при помощи GNSS-приемника. При приеме сигнала от пингера буи определяют момент его прихода в общей шкале времени и передают при помощи радиомодема сообщение, содержащее идентификатор буя, его географические координаты и момент прихода сигнала пингера. Такие сообщения от всех четырех буев принимаются радиомодемом, подключенным к ПК оператора, где при помощи специализированного ПО вычисляется географическое положение пингера (а следовательно, и носителя). По нескольким последовательным измерениям местоположения аппроксимируется курс движения.

Максимальная дальность, на которой возможен прием сигнала пингера буями, составляет 300 метров.

Гидроакустическая антенна буев имеет фиксированную осадку 1,5 м и свободно висит на кабеле. На рисунке 3 показано изображение подводной части одного из буев, полученное при помощи микроТНПА «Трионикс-4М». Видно положение гидроакустической приемной антенны.

⁸ Подводные аппараты серии «Трионикс». Trionix LAB [Эл. ресурс]. URL: https://trionix-lab.ru/media/projects/docs/pres_drone.pdf (посл. посещение: 16.10.2023).

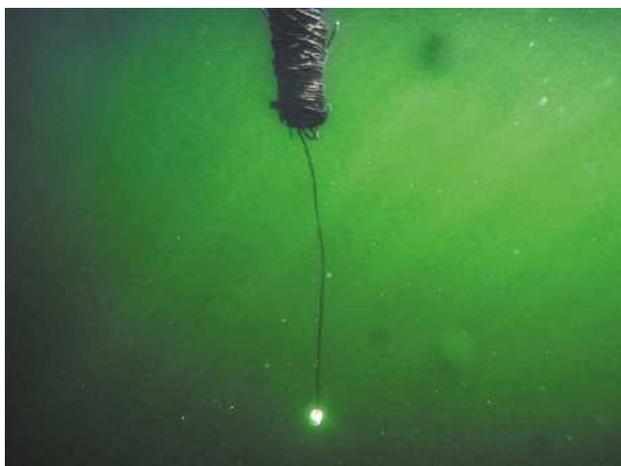


Рис. 3. Вид из воды на установленный буй

Так как фактически при работе навигационной системы WAYU измеряется разность показателей времени прихода сигнала от пингера на каждый из приемников (буев), то для решения навигационной задачи необходимо определять скорость распространения сигнала в воде с достаточной точностью. Для этих целей в каждом эксперименте измеряется температура воды в водоеме и из открытых источников определяется соленость водоема. Система автоматически определяет значение скорости звука согласно методике⁹.

Описание экспериментов

Эксперименты были разделены на два этапа:

— на первом этапе в ходе нескольких погружений в различных естественных водоемах оценивалась работа системы для помощи в пилотировании микроТНПА. В качестве результатов эксперимента были получены треки движения ТНПА, субъективная оценка оператора, управляющего ТНПА, а так же оценено среднее время обновления координат;

— на втором этапе оценивался разброс показаний системы при неподвижном пингере. Для этого пингер располагался на специальной платформе, установленной на дне водоема. В результате экспериментов были вычислены статистические параметры облака точек (вычисленных местоположений пингера) и среднее время обновления координат.

Во всех экспериментах использовался ТНПА «Трионикс-4М» с кабелем длиной 100 м.

Этап I

В ходе данного этапа выполнялись три погружения. Два из них были произведены 10 и 11 августа 2023 г. на Ладожском озере в районе Валаамского архипелага. Глубины места в районе проведения эксперимента — до 30 м, дно каменистое, переходящее в песчаное на удалении от берега. Температура воды у поверхности — 18 °С.

На рисунке 4 показан общий вид треков, полученных в ходе этих погружений.

⁹ Chen C-T., Millero F. J. Speed of sound in seawater at high pressures. The Journal of the Acoustical Society of America, 1977, vol. 62, is. 5, pp. 1129–1135.

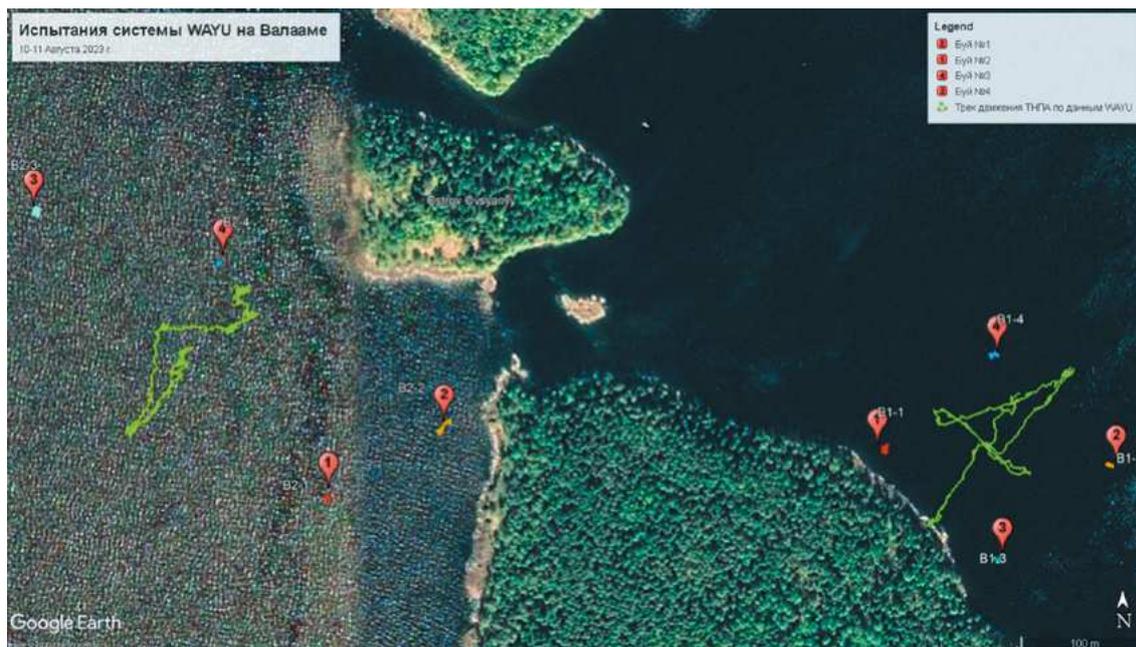


Рис. 4. Треки движения микроТНПА «Трионикс-4М», полученные при помощи трекинговой системы WAYU. К востоку от острова Овсяный (10 августа) и к западу от острова (11 августа)



Рис. 5. Фрагмент трека. Большая Никоновская бухта, 10 августа 2023 г. Шкала масштаба 40 м. Показаны отдельные измерения местоположения и линия, соединяющая средние положения буев № 1 и № 3

При погружении внутри бухты (восточная часть на рис. 4) ТНПА работал как с берега, так и с лодки. Размер навигационной базы (размер четырехугольника, образованного буями) составил 120 × 120 м.

На рисунке 6 показан фрагмент трека, на котором можно видеть отдельные измерения и расстояния между ними (шкала масштаба 5 м).

Пингер излучает навигационный сигнал каждые 2 секунды, однако, в силу разных факторов, период обновления местоположения может меняться. Например, если сигнал не был принят на двух и более буях, то местоположение не может быть вычислено. В то же время из-за того, что буи используют общий канал связи, каждый из буев может передавать только в свое временное окно,

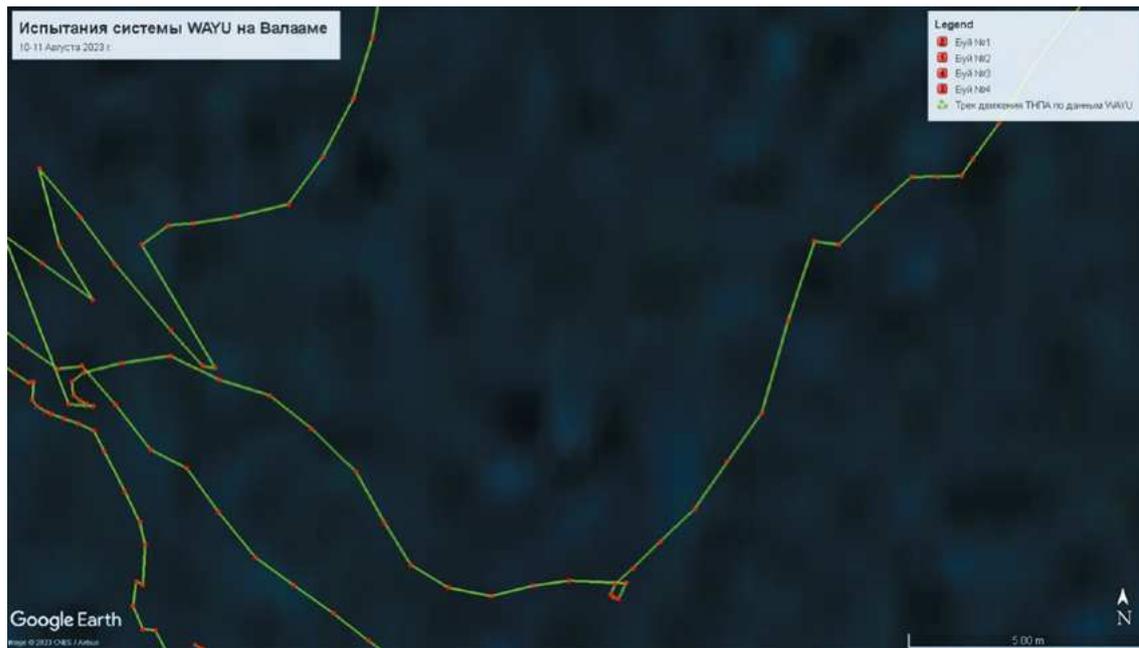


Рис. 6. Увеличенный фрагмент трека. Большая Никоновская бухта, 10 августа 2023 г.
Шкала масштаба 5 м



Рис. 7. Увеличенный фрагмент трека буя № 4. Большая Никоновская бухта, 10 августа 2023 г.
Шкала масштаба 3 м

поэтому могут возникать случаи, когда время между соседними измерениями местоположения будет менее 2 сек. Так, например, в ходе погружения, трек которого показан на рисунке 5 и 6, а также на рисунке 4 (восточная часть), минимальное время между обновлениями местоположения микроТНПА составило 0,6 сек.

На рисунке 7 показан трек одного из буев по данным бортового GNSS-приемника. Такой вид трека является типичным для всех обсуждаемых в данной работе экспериментов. Во всех экспериментах буи ставились на якорь и имели возможность некоторого дрейфа под влиянием погодных факторов. На треке видна дискретность, составляющая величину порядка 0,11 м по долготе и порядка 0,45 м

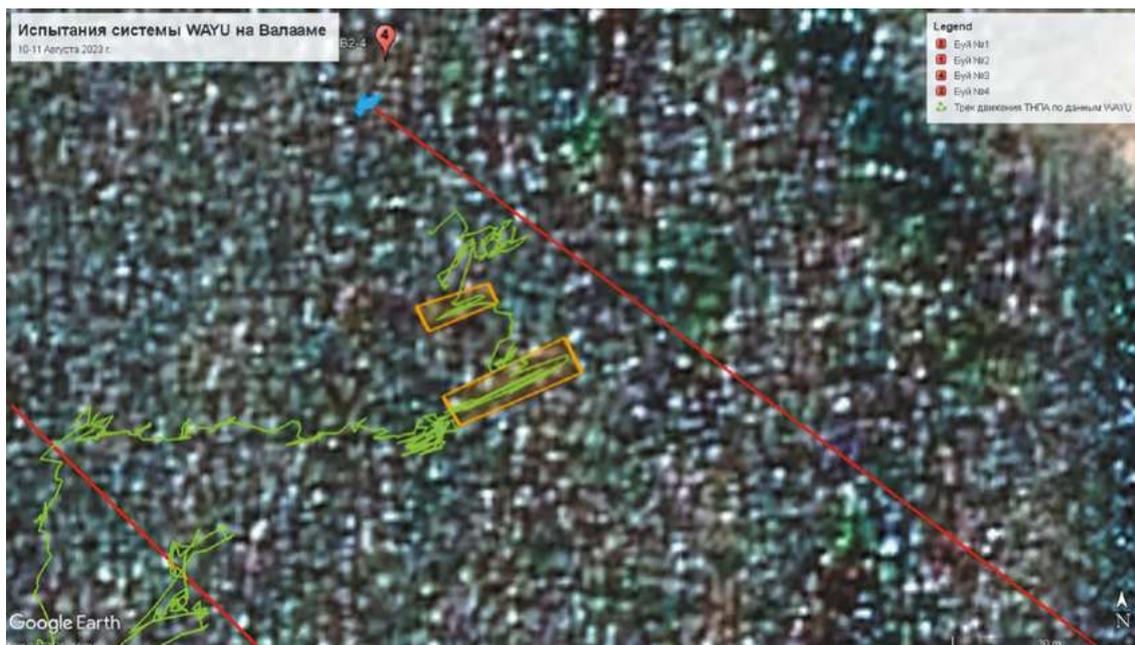


Рис. 8. Фрагмент трека. Погружение у западного берега о. Овсяный. Показаны базовые линии и группы выбросов (выделены полигонами), ориентированы под тупым углом к базовым линиям. Шкала масштаба 50 м

Рис. 9. Вид дна, полученный бортовой камерой микотНПА «Трионикс-4М» у западного берега о. Овсяный



по широте, что соответствует шестому знаку после запятой в значениях долготы и широты, выраженных в градусах. Именно с такой точностью передаются координаты буев.

Второе погружение проходило вне бухты, работа велась с лодки, а буи были расставлены в виде трапеции с основаниями 320 и 220 метров и высотой порядка 110 м. Соотношение сторон более чем в 2 раза

приводит к снижению точности в направлении под тупыми углами к большей базовой линии, что характеризуется несколькими выбросами в этом направлении (см. рис. 8). Также в ходе данного погружения в течение примерно половины всего времени позиционируемый объект находился вне навигационной базы, то есть все буи оказывались по одну сторону от него, однако в данном случае это практически не повлияло на работу системы.

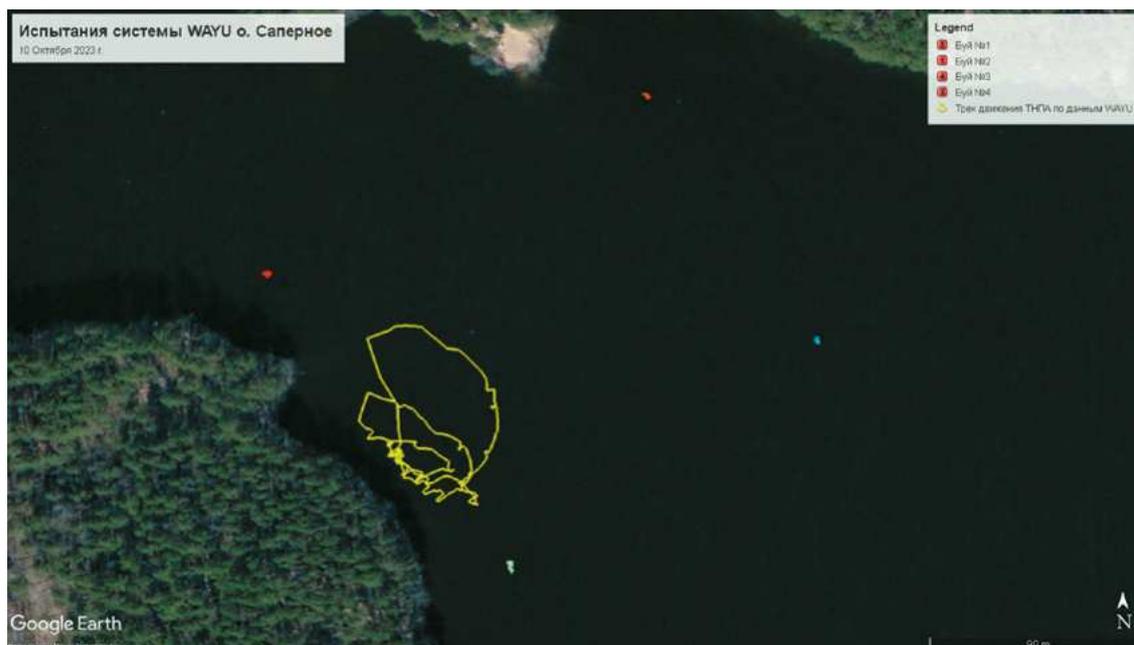


Рис. 10. Погружение на озере Саперное. 10 октября 2023 г.

По результатам обоих погружений операторы, принимавшие участие в эксперименте, сообщают, что навигационная система значительно облегчает пилотирование микроТНПА, давая понимание о том, где в данный момент находится аппарат. В пользу этого говорит и тот факт, что в ходе первого погружения операторы обеспечивали движение аппарата параллельно базовым линиям (см. рис. 5), что достаточно сложно сделать без применения навигационной системы.

На рисунке 9 показан скриншот специализированного ПО микроТНПА «Трионикс-4М», на котором виден характерный подводный ландшафт в месте проведения экспериментов.

Третье погружение выполнялось 10 октября 2023 г. на озере Саперное (Ленинградская область, 60.722233 °СШ, 29.952850° ВД), которое, в отличие от Ладожского озера, является малым водоемом. Дно илистое, температура воды у поверхности — 12 °С. Трек погружения

представлен на рисунке 10. Размер навигационной базы составил примерно 160 × 160 м, работы проводились с берега, глубина в месте движения ТНПА — до 10 м.

Операторы не отмечают существенных отличий в работе системы по сравнению с погружениями, описанными выше.

В ходе экспериментов определялось время между соседними измерениями местоположения позиционируемого объекта. Среднее, минимальное и максимальное значения времени обновления местоположения сведены в таблицу.

В таблице в скобках указаны фактические максимальные значения времени между последовательными уточнениями положения, связанные со всплытием микроТНПА, когда пингер оказывался на воздухе. Среднее значение рассчитывалось без учета этих данных. Размер выборки во всех случаях составил порядка 1000.

Табл. Время между двумя последовательными определениями местоположения пингера

№ Погружения	Tmin, сек	Tmax, сек	Tmean, сек
1. Ладога (бухта)	0,6	9,5	2,3
2. Ладога	0,6	20,0 (84,0)	3,4
3. оз. Саперное	0,6	18,5 (363,6)	2,5



Рис. 11. Результаты определения местоположения неподвижного объекта (пингера) в течение 40 минут. Озеро Саперное, 10 октября 2023 г. Размер шкалы 1,8 м

Этап II

Сразу после третьего погружения первого этапа было выполнено одно погружение в озеро Саперное с сохранением первоначального расположения буев в рамках второго этапа.

Пингер при этом неподвижно фиксировался на специальной платформе на расстоянии порядка 40 см ото дна. Данный эксперимент проводился для статистической оценки разброса вычисленного местоположения, для чего в течение 40 минут выполнялись измерения местоположения пингера. При этом полностью исключалось возможное негативное влияние движения и шумов от двигателей микроТНПА.

На рисунке 11 показано облако точек, полученных в результате данного эксперимента.

Для оценки разброса можно использовать стандартные параметры CEP¹⁰ (Circular Error Probable) и DRMS (Distance Root Mean Square), которые определяют радиусы кругов, в которые попадает 50 % и 63 % всех измерений соответственно. Параметр 2DRMS определяет радиус круга, в который попадает 98 % всех измерений.

¹⁰ Van Diggelen F. GPS Accuracy: Lies, damn lies and statistics. GPS World. January 1, 1998. [Эл. ресурс]. URL: <https://www.gpsworld.com/gps-accuracy-lies-damn-lies-and-statistics/> (посл. посещение: 16.10.2023).

В ходе эксперимента было получено 867 измерений местоположения пингера, по которым были получены значения 0,6 м для CEP, 0,74 м для DRMS и 1,48 для 2DRMS.

Следует отметить, что в данном эксперименте не рассматривается влияние точности применяемых GNSS-приемников и делается допущение о том, что ее влияние складывается заведомо в сторону ухудшения параметров всей системы в целом. Данный эксперимент призван проиллюстрировать разбор вычисленных положений неподвижного объекта в реальных условиях.

Минимальное, максимальное и среднее время между двумя последовательными измерениями положения составило 0,6, 18,0 и 2,9 секунды соответственно.

Выводы

Операторы ТНПА, участвовавшие в экспериментах, отмечают удобство использования системы, возможность обеспечить значительно большую эффективность и скорость работы, особенно с учетом возможности сохранить местоположение какого-либо интересующего подводного объекта, чтобы впоследствии вернуться к нему повторно.

Согласно полученным результатам средний период обновления местоположения

позиционируемого объекта находится в пределах от 2 до 3,1 секунды, что близко к номинальному периоду в 2 секунды, обусловленному периодом излучения пингером навигационного сигнала. Максимальное время обновления местоположения составляет 10–20 секунд, что не является критическим при пилотировании ТНПА и обеспечивает комфортное пилотирование даже в условиях плохой видимости и/или отсутствия каких-либо видимых ориентиров на дне.

Проведенный статический эксперимент показал хорошую повторяемость (кучность),

обеспечиваемую системой, которая напрямую влияет на гладкость определяемой траектории движения. В данном эксперименте нельзя определить смещение центра облака полученных точек относительно истинного положения в виду сложности определения такового. Можно предположить, что поскольку система для привязки к абсолютным координатам использует GNSS-приемники, то возможное смещение центра облака точек, получаемых по данным GNSS, перенесется на конечный результат. Однако это утверждение требует проверки.

Изображения предоставлены авторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chen C-T., Millero F. J. Speed of sound in seawater at high pressures. The Journal of the Acoustical Society of America, 1977, vol. 62, is. 5, pp. 1129–1135. DOI: [10.1121/1.381646](https://doi.org/10.1121/1.381646)
2. ISO 13628-8:2002: Petroleum and natural gas industries. Design and operation of subsea production systems. Part 8: Remotely Operated Vehicle (ROV) interfaces on subsea production systems. Geneva, Switzerland, 2002. URL: <https://www.iso.org/standard/37291.html> Retrieved 2023-02-19.
3. Greene H. G., Stakes D. S., Orange D. L., Barry J. P. and Robison B. H. Application of a remotely operated vehicle in geologic mapping of Monterey Bay, California, USA In: Heine and Crane (Eds). Diving for Science...1993. Proceedings of the 13th Annual Scientific Diving Symposium, American Academy of Underwater Sciences. Pacific Grove, California, 1993. Archived from the original on March 13, 2009. Retrieved 2008-07-11.
4. Harrold C., Light K., Lisin S. Distribution, Abundance, and Utilization of Drift Macrophytes in a Nearshore Submarine Canyon System. In: Heine and Crane (Eds). Diving for Science...1993. Proceedings of the 13th Annual Scientific Diving Symposium, American Academy of Underwater Sciences. Pacific Grove, California, 1993. Archived from the original on March 13, 2009. Retrieved 2008-07-11
5. Lee G. C., Ko Y. T., Chan Min Yoo, Chi Sang-Bum, Kim Jonguk, Ham D. J. Review on Underwater Positioning for Deep Towing Vehicles. Ocean and Polar Research. Korea Institute of Ocean Science & Technology, 2005, vol. 27, is. 3, pp. 335–339. DOI: [10.4217/OPR.2005.27.3.335](https://doi.org/10.4217/OPR.2005.27.3.335)
6. Piccard J. Profondeur 11000 mètres, Paris, Arthaud, 1961, 273 p.
7. Severino U., Cario G., Casavola A., Lupia M., Gagliardi G. Bruno F. Analysis of Error Sources in Underwater Localization Systems. France, Marseille, OCEANSE, 2019, pp. 1–6. DOI: [10.1109/OCEANSE.2019.8867536](https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2019.8867536)
8. Подводные аппараты серии «Трионикс». Trionix LAB [Эл. ресурс]. URL: https://trionix-lab.ru/media/projects/docs/pres_drone.pdf (полс. посещение: 16.10.2023).
9. WAYU – Гидроакустическая трекинговая система. Краткое описание. Лаборатория подводной связи и навигации [Эл. ресурс]. URL: https://docs.unaviab.com/documentation/RU/WAYU/WAYU_DataBrief_ru.html (полс. посещение: 16.10.2023).
10. CSSF-ROPOS, About Us [Эл. ресурс]. URL: <https://www.ropos.com/index.php/about-us> (полс. посещение: 06.04.2024).
11. Van Diggelen F. GPS Accuracy: Lies, damn lies and statistics. GPS World. January 1, 1998. [Эл. ресурс]. URL: <https://www.gpsworld.com/gps-accuracy-lies-damn-lies-and-statistics/> (полс. посещение: 16.10.2023).
12. 16,000 hours beneath the sea (and counting). MBARI, 10 March 2017 [Эл. ресурс]. URL: <https://www.mbari.org/news/16000-hours-beneath-the-sea-and-counting/> (полс. посещение: 06.04.2024).

REFERENCES

1. Chen C-T., Millero F. J. Speed of sound in seawater at high pressures. The Journal of the Acoustical Society of America, 1977, vol. 62, is. 5, pp. 1129–1135. DOI: [10.1121/1.381646](https://doi.org/10.1121/1.381646)
2. ISO 13628-8:2002: Petroleum and natural gas industries. Design and operation of subsea production systems. Part 8: Remotely Operated Vehicle (ROV) interfaces on subsea production systems. Geneva, Switzerland, 2002. URL: <https://www.iso.org/standard/37291.html> Retrieved 2023-02-19.

3. Greene H. G., Stakes D. S., Orange D. L., Barry J. P. and Robison B. H. Application of a remotely operated vehicle in geologic mapping of Monterey Bay, California, USA In: Heine and Crane (Eds). Diving for Science...1993. Proceedings of the 13th Annual Scientific Diving Symposium, American Academy of Underwater Sciences. Pacific Grove, California, 1993. Archived from the original on March 13, 2009. Retrieved 2008-07-11.
4. Harrold C., Light K., Lysin S. Distribution, Abundance, and Utilization of Drift Macrophytes in a Nearshore Submarine Canyon System. In: Heine and Crane (Eds). Diving for Science...1993. Proceedings of the 13th Annual Scientific Diving Symposium, American Academy of Underwater Sciences. Pacific Grove, California, 1993. Archived from the original on March 13, 2009. Retrieved 2008-07-11
5. Lee G. C., Ko Y. T., Chan Min Yoo, Chi Sang-Bum, Kim Jonguk, Ham D. J. Review on Underwater Positioning for Deep Towing Vehicles. Ocean and Polar Research. Korea Institute of Ocean Science & Technology, 2005, vol. 27, is. 3, pp. 335–339. (In Korean) DOI: [10.4217/OPR.2005.27.3.335](https://doi.org/10.4217/OPR.2005.27.3.335)
6. Piccard J. Profondeur 11000 mètres, Paris, Arthaud, 1961, 273 p. (In French)
7. Severino U., Cario G, Casavola A., Lupia M., Gagliardi G. Bruno F. Analysis of Error Sources in Underwater Localization Systems. France, Marseille, OCEANSE, 2019, pp. 1–6. DOI: [10.1109/OCEANSE.2019.8867536](https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2019.8867536)
8. Podvodnye apparaty serii Trioniks [Underwater devices of the Trionics series]. Trionix LAB [Digital resource]. URL: https://trionix-lab.ru/media/projects/docs/pres_drone.pdf (last visit: 16.10.2023: 16.10.2023).
9. WAYU – Gidroakusticheskaya trekningovaya sistema. Kratkoe opisaniye [Underwater tracking system. Data brief]. Laboratoriya podvodnoy svyazi i navigacii [Underwater communication & navigation laboratory]. [Digital resource]. URL: https://docs.unavlab.com/documentation/RU/WAYU/WAYU_DataBrief_ru.html (last visit: 16.10.2023).
10. CSSF-ROPOS, About Us [Digital resource]. URL: <https://www.ropos.com/index.php/about-us> (last visit: 06.04.2024).
11. Van Diggelen F. GPS Accuracy: Lies, damn lies and statistics. GPS World. January 1, 1998. [Digital resource]. URL: <https://www.gpsworld.com/gps-accuracy-lies-damn-lies-and-statistics/> (last visit: 16.10.2023).
12. 16,000 hours beneath the sea (and counting). MBARI, 10 March 2017. URL: <https://www.mbari.org/news/16000-hours-beneath-the-sea-and-counting/> (last visit: 06.04.2024).

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, дом 42, строение 1, ЭТ 3 ПОМ 1098 РАБ 10).

e-mail: a.dikarev@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, дом 42, строение 1, ЭТ 3 ПОМ 1098 РАБ 10).

e-mail: a.vasilenko@unavlab.com

Дмитриев Станислав Михайлович, главный инженер ООО «Лаборатория подводной связи и навигации» (Россия, 121205, г. Москва, Сколково инновационного центра тер, Большой б-р, дом 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, дом 42, строение 1, ЭТ 3 ПОМ 1098 РАБ 10).

e-mail: v.kubkin@unavlab.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dikarev Aleksandr Vasil'evich, R&D Director Underwater communication & navigation laboratory, LLC (Skolkovo innovation center, Bolshoy bld, 42, building 1, office 1098/10, Moscow, 121205, Russia).

e-mail: a.dikarev@unavlab.com

Vasilenko Andrej Vladimirovich, Senior PCB engineer Underwater communication & navigation laboratory, LLC (Skolkovo innovation center, Bolshoy bld, 42, building 1, office 1098/10, Moscow, 121205, Russia).

e-mail: a.vasilenko@unavlab.com

Dmitriev Stanislav Mihajlovich, CTO Underwater communication & navigation laboratory, LLC (Skolkovo innovation center, Bolshoy bld, 42, building 1, office 1098/10, Moscow, 121205, Russia).

e-mail: s.dmitriev@unavlab.com

Kubkin Vitalij Anatol'evich, Senior engineer Underwater communication & navigation laboratory, LLC (Skolkovo innovation center, Bolshoy bld, 42, building 1, office 1098/10, Moscow, 121205, Russia).

e-mail: v.kubkin@unavlab.com

Путинцев Иван Андреевич, генеральный директор ООО «Подводные дроны» (Россия, 198095, г. Санкт-Петербург, Швецова ул., д. 23, лит. Б, помещ. 6-Н, № 174).

e-mail: info@trionix-lab.ru

Машков Антон Константинович, главный программист ООО «Подводные дроны» (Россия, 198095, г. Санкт-Петербург, Швецова ул., д. 23, лит. Б, помещ. 6-Н, № 174).

e-mail: slonikmak@gmail.com

Капустин Николай Евгеньевич, ведущий разработчик ООО «Подводные дроны» (Россия, 198095, г. Санкт-Петербург, Швецова ул., д. 23, лит. Б, помещ. 6-Н, № 174).

e-mail: kapustin@niprog.ru

Маршалов Максим Сергеевич, инженер-программист ООО «Подводные дроны» (Россия, 198095, г. Санкт-Петербург, Швецова ул., д. 23, лит. Б, помещ. 6-Н, № 174).

e-mail: marshalmaxim@gmail.com

Putincev Ivan Andreevich, CEO Podvodnye drony, LLC (ul. Shvetsova, d. 23, lit. B, office 6-N, № 174, St. Petersburg, 198095, Russia).

e-mail: info@trionix-lab.ru

Mashkov Anton Konstantinovich, chief programmer Podvodnye drony, LLC (ul. Shvetsova, d. 23, lit. B, office 6-N, № 174, St. Petersburg, 198095, Russia).

e-mail: slonikmak@gmail.com

Kapustin Nikolaj Evgen'evich, senior developer Podvodnye drony, LLC (ul. Shvetsova, d. 23, lit. B, office 6-N, № 174, St. Petersburg, 198095, Russia).

e-mail: kapustin@niprog.ru

Marshalov Maxim Sergeevich, programmer Podvodnye drony, LLC (ul. Shvetsova, d. 23, lit. B, office 6-N, № 174, St. Petersburg, 198095, Russia).

e-mail: marshalmaxim@gmail.com

Поступила в редакцию 16.10.2023
Поступила после рецензирования 28.03.2024
Принята к публикации 30.04.2024

Received 16.10.2023
Revised 28.03.2024
Accepted 30.04.2024

ТЕХНИКА / ТЕХНОЛОГИИ | TECHNOLOGY / TECHNOLOGIES

Оригинальная статья | Original paper

DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-64-84

УДК 004.942:004.031.043



СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ГИБРИДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В НЕСТАЦИОНАРНОЙ СРЕДЕ

Ю. И. Нечаев, Д. В. Никущенко ✉

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ Nikushchenko@smtu.ru

Аннотация

Рассмотрены принципы организации стратегической платформы моделирования и динамической визуализации в системе гибридного моделирования (Hybrid Simulation — HS) нестационарной динамики подводных объектов (ПО) на основе мультипроцессорного программного комплекса (МПК). Процедуры построения стратегической платформы выполнены в функциональных пространствах современной теории катастроф (СТК). Интеллектуальная поддержка (ИП) операций в системе HS осуществляется на основе современной компьютерной математики (СКМ) и логических моделей нечеткой формальной системы (НФС). Геометрическая интерпретация результатов моделирования и динамической визуализации обеспечивается в режиме экстренных вычислений (Urgent Computing — UC).

Ключевые слова

стратегическая платформа, нестационарная среда, подводный объект, современная теория катастроф, экстренные вычисления

Для цитирования

Нечаев Ю. И., Никущенко Д. В. Стратегическая платформа гибридного моделирования подводных объектов в нестационарной среде // Гидрокосмос. 2024. Т. 2, 1. № 5–6. С. 64–84. DOI: [10.24412/2949-3838-2024-56-64-84](https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-64-84)

A STRATEGIC PLATFORM FOR HYBRID MODELING OF UNDERWATER OBJECTS IN A NONSTATIONARY ENVIRONMENT

YU. I. Nechaev, D. V. Nikuschenko ✉

Saint Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russian Federation

✉ Nikushchenko@smtu.ru

Abstract

This paper explores the principles of organizing a strategic platform for modeling and dynamic visualization within a hybrid simulation (HS) system of the nonstationary dynamics of underwater objects (UO) using a multiprocessor software complex (MSC). The procedures for constructing the strategic platform are carried out within the function spaces of contemporary catastrophe

Abstract	theory (CCT). Intelligent support (IS) of operations within the HS system is achieved using modern computer mathematics (MCM) and logical models of the fuzzy formal system (FFS). The geometric interpretation of modeling results and dynamic visualization is provided using urgent computing (UC).
Keywords	strategic platform, nonstationary environment, underwater object, contemporary catastrophe theory, urgent computing
For citation	Nechaev YU. I., Nikuschenko D. V. A Strategic Platform for Hybrid Modeling of Underwater Objects in a Nonstationary Environment. <i>Hydrocosmos</i> . 2024. Vol. 2, 1, no. 5–6, pp. 64–84. DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-64-84 (In Russ.)

Введение

Теоретический базис формирования платформы стратегического моделирования динамики ПО в нестационарной среде рассмотрен в функциональных пространствах СТК¹. Процедуры моделирования и динамической визуализации выполняются в МПК при ИП базы знаний НФС². Формальный аппарат стратегических решений реализован на основе концептуального базиса А. Н. Колмогорова³, Н. Н. Моисеева⁴ и А. Н. Тихонова⁵ в рамках принципа конкуренции⁶. Математическое описание эволюционной динамики морского объекта (МО) основано на использовании уравнения Фоккера — Планка⁷, методов Монте-Карло и функционала действия⁸,

модифицированных моделей Дуффинга и Матье⁹ в режиме UC¹⁰.

Моделирование и визуализация динамики ПО реализуются в интегрированной среде стратегической платформы МПК как системы распределенного интеллекта (см. рис. 1).

1. Концептуальный базис стратегической платформы HS

Как следует из приведенной структуры, вычислительная наука (Computational Science) обеспечивает реализацию нестационарной динамики ПО на основе следующих процедур алгоритмического синтеза:

— выделение физических эффектов и закономерностей с использованием аксиоматики А. Н. Колмогорова¹¹ и теории сложности¹²;

— формирование модели взаимодействия в нестационарной среде на основе онтологического синтеза и аксиоматического базиса эволюции системы;

— построение абстрактного геометрического образа исследуемой ситуации на основе динамической визуализации нестационарной среды взаимодействия.

¹ Нецаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.

² Там же; Он же. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.; Он же. Компьютерная математика: прикладные аспекты. СПб.: Арт-Экспресс, 2019. 368 с.

³ Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987. 304 с.

⁴ Моисеев Н. Н. Избранные труды. Т. 1. Гидродинамика и механика. Оптимизация, исследование операций и теория управления. Т. 2. Междисциплинарные исследования глобальных проблем. Публицистика и общественные проблемы. М.: Тайдекс Ко, 2003. Т. 1–376 с., Т. 2–264 с.

⁵ Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 287 с.

⁶ Бортовые интеллектуальные системы. Ч. 2. Корабельные системы. М.: Радиотехника, 2006. 80 с.; Нейрокомпьютеры в интеллектуальных технологиях XXI века. М.: Радиотехника, 2011. 352 с.; Системы искусственного интеллекта в интеллектуальных технологиях XXI века. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 376 с.

⁷ Нецаев Ю. И. Компьютерная математика: прикладные аспекты. СПб.: Арт-Экспресс, 2019. 368 с.

⁸ Он же. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.

⁹ Он же. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.

¹⁰ Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab., University of Chicago, April 25–26, 2007. [Электронный ресурс]. URL: <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php> (посл. посещение 02.06.2024)

¹¹ Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987. 304 с.

¹² Солодовников В. В., Тумаркин В. И. Теория сложности и проектирование систем управления. М.: Наука, 1990. 168 с.

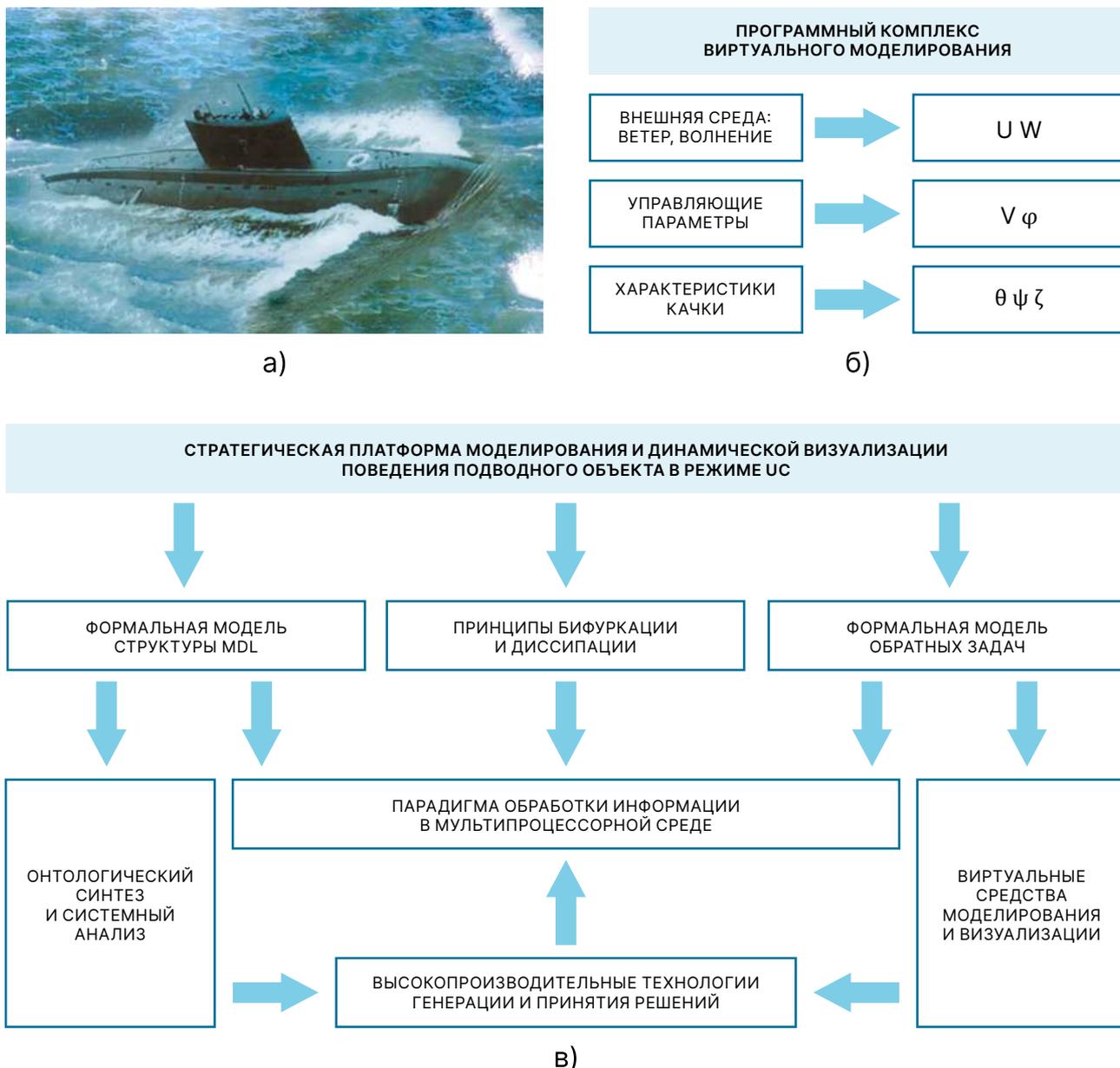


Рис. 1. Нестационарная среда динамики ПО: физическая модель (а), экран оператора (б), МПК моделирования и визуализации (в)

Интеграция указанных компонент реализована на основе СТК¹³ и позволяет формализовать процессы обработки данных динамических измерений, интеллектуальных

технологий и высокопроизводительных вычислений¹⁴.

Концептуальная модель обработки информации при интерпретации динамики ПО в нестационарной среде в функциональном пространстве СТК имеет вид

¹³ Нечаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.

¹⁴ Анализ и моделирование темпоральных комплексных сетей: коллективная монография. СПб.: Университет ИТМО, 2017. 149 с.; Нечаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.; Он же. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.; Он же. Компьютерная математика: прикладные аспекты. СПб.: Арт-Экспресс, 2019. 368 с.

$$S(U) = \langle F(\text{Com}) : \{T(t, \tau) \cdot X(KB) \cdot Q(W)\} \rightarrow Y(R) \rangle, \quad (1)$$

где $S(U)$ определяет стратегии управления взаимодействием ПО с внешней средой на основе следующих структур;

$F(\text{Com})$ — элементы, реализующие принципы моделирования и визуализации;

$T(t, \tau)$ — моменты времени, определяющие стадии развития моделируемой ситуации;

$X(KB)$ — элементы оперативной базы данных и результатов измерений;

$Q(W)$ — вектор состояния среды взаимодействия;

$\{T(t, \tau) \cdot X(KB) \cdot Q(W)\}$ — закономерности в данных;

$Y(R)$ — правила обобщения информации;

t — интервал времени реализации.

Общая задача моделирования динамики ПО на основе МПК реализует парадигму обработки информации с использованием достижений

интеллектуальных технологий как развивающейся¹⁵ активной динамической системы (АДС)¹⁶ в виде цепочки преобразований:

$$X_1(T, S) \Rightarrow Y_1(\text{Out}), \dots, X_n(T, S) \Rightarrow Y_n(\text{Out}), \quad (2)$$

где компоненты $X_1(T, S), \dots, X_n(T, S)$ определяют функции интерпретации динамики ПО в функциональных пространствах СТК;

$Y_1(\text{Out}), \dots, Y_n(\text{Out})$ — результаты интерпретации на основе ИП процесса моделирования и визуализации.

Модель (2) определяет задачу динамики ПО в виде непрерывной зависимости с заданными свойствами по дискретному

набору данных измерений, которая формально сводится к поиску отображения в системе ИП:

$$F: X^n \rightarrow Y^m, x \in X^n \subset R^n, y \in Y^m \subset R^m \quad (3)$$

как вектора в координатном пространстве размерностью n в m -мерном пространстве параметров модели взаимодействия в нестационарной среде.

Организация вычислительных технологий стратегической платформы моделирования и динамической визуализации ПО в режиме УС

осуществляется на основе отображения в виде конфигурации эволюционирующей системы, представленной кортежем¹⁷:

$$\langle V(E), U(E), A(E, C), L(D, C) \rangle, \quad (4)$$

формализующим события $V(E), U(E)$, описывающие действия в интерпретирующей системе, и условия $A(E, C)$ в виде логического описания $L(D, C)$ ее состояния.

¹⁵ Геппенер В. В. Деревья решений в задачах распознавания образов // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-99): сборник докладов. СПб.: ЛЭТИ, 1999. Т. 2, С. 130–133.

¹⁶ Новиков Д. А., Петраков С. Н. Курс теории активных систем. М.: СИНТЕГ, 1999. 104 с.

¹⁷ Нецаев Ю. И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.

2. Стратегическая платформа HS

Традиционные подходы к интерпретации динамики ПО приобретают новое содержание, определяемое концепцией HS в системе Computational Science (см. рис. 2)¹⁸.

Гибридная модель состоит из следующих математических объектов¹⁹:

— *A-модели, обеспечивающей прогнозирование поведения ПО и описывающей изменчивость макропараметров системы (средних характеристик по ансамблю);*

— *B-модели, описывающей эволюцию ансамбля состояний ПО на микроуровне под воздействием внешних факторов и самоорганизации. Принципы изменчивости ансамбля могут быть неизвестны и выявляются на основе машинного обучения;*

— *C-модели, характеризующей закономерности изменчивости данных с помощью различных аппроксиматоров.*

Проблема усвоения данных в HS рассматривается в форме задачи многокритериальной оптимизации показателей качества прогноза макрохарактеристик по A-модели в условиях эволюции ансамбля на основе B-модели. C-модель используется для определения меры сходства-различия между наблюдаемыми данными и прогнозом по A-модели. Оптимизация достигается за счет управления структурой и параметрами B- и C-модели.

Для решения задачи оптимизации используется ансамбль состояний как основа для построения эволюционного процесса, который выполняется в виде следующих процедур.

Процедура 1. Формируется ансамбль случайных состояний, которые эволюционируют во времени по мере накопления данных наблюдений таким образом, чтобы обеспечить подстройку структуры A- и B-модели под текущие наблюдения, описываемые C-моделью.

¹⁸ Figueira G., Almada-Lobo B. Hybrid simulation-optimization methods: A taxonomy and discussion. Simulation Modelling Practice and Theory. 2014, Vol. 46, pp. 118–134.

¹⁹ Анализ и моделирование темпоральных комплексных сетей: коллективная монография. СПб.: Университет ИТМО, 2017. 149 с.; Нечаев Ю. И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.

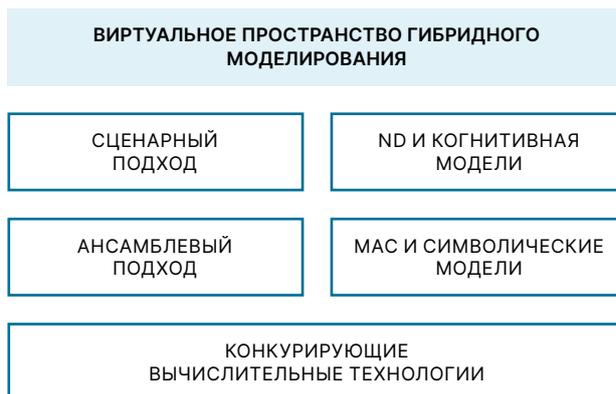


Рис. 2. Концепция гибридного моделирования

Процедура 2. Производится анализ ансамбля, в результате которого выявляются элементы, которые не покрываются A-моделями, а также учет влияния внешних факторов на структуру ансамбля при сохранении структуры моделей. Это свойство позволяет использовать ансамблевый метод для прогнозирования экстремального поведения МО, поскольку такие состояния зависят от редкого сочетания факторов, в общем случае не имеющих адекватной модельной интерпретации.

Процедура 3. Осуществляется построение эволюционного процесса, для реализации которого используются различные эвристические алгоритмы.

Поскольку A- и B-модель взаимосвязаны на микро- и макроуровне, наличие эволюционирующего ансамбля дает возможность перейти к ансамблю прогнозов по F-модели с различной структурой. Для работы в условиях неопределенности и неполноты поступающих данных реализуется принцип конкуренции²⁰ на основе многомерного статистического анализа²¹ и в рамках концепции нейродинамических систем.

Совокупность объектов HS определяет **поле интерпретации** среды взаимодействия:

²⁰ Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 336 с.; Нейрокомпьютеры в интеллектуальных технологиях XXI века. М.: Радиотехника, 2011. 352 с.; Системы искусственного интеллекта в интеллектуальных технологиях XXI века. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 376 с.

²¹ Нечаев Ю. И. Компьютерная математика: прикладные аспекты. СПб.: Арт-Экспресс, 2019. 368 с.

$$P(\text{Int}) = \langle Q_1(R(B)), \dots, Q_m(R(B)); Q(R(U)), \dots, Q_n(R(U)) \rangle, \quad (5)$$

где кортеж $\langle Q_1(R(B)), \dots, Q_m(R(B)), Q_1(R(U)), \dots, Q_n(R(U)) \rangle$ представляет собой совокупность математического описания моделей пространств поведения и управления в общей структуре функциональных модулей МПК на основе СТК.

Каждая из этих структур определяет свои **ограничения и требования** к компонентам МПК. Развитие вычислительной технологии HS²²

позволяет выделить ключевые критерии, обеспечивающие контроль динамической среды взаимодействия:

$$\text{Ant}(S) = \langle G(M), S(I, O), M(D, C) \rangle, \quad (6)$$

где $G(M)$ — цели применения системы HS при интерпретации МПК;
 $S(I, O)$ — сценарии взаимодействия и оптимизации ситуаций;
 $M(D, C)$ — методы поиска стратегических решений по стабилизации ситуации (соотношение реализаций и решений).

Отдельной задачей при построении моделей МПК является **агрегация разнородных источников данных** с использованием корректных алгоритмов²³, предоставляющих данные измерений, моделирования, экспертные оценки и пр.

При этом компоненты HS могут выступать в качестве источников данных. Анализ исследований²⁴ позволяет сформулировать общий методологический подход использования принципов HS при интерпретации динамики ПО:

$$\text{Inf}(\text{CAM}) = \langle D(O), S(A), T(C_R, O) \rangle, \quad (7)$$

где структура $\text{Inf}(\text{CAM})$ определяет информационную интеграцию данных прикладного моделирования в рамках широкого круга задач ИП в динамических ситуациях: **оценка качества моделей** $D(Q)$, их **структурной адекватности** $S(A)$ и множества **альтернативных задач многокритериальной оптимизации** $T(C_R, O)$ при оценке функциональности моделей.

Таким образом, рассмотренный общий подход позволяет осуществлять настройку HS для выполнения прогнозов и решения задачи идентификации (в ретроспективном режиме) и ассимиляции данных (в оперативном режиме).

3. Вычислительная среда стратегической платформы HS

Исходная математическая модель пространственного движения ПО представлена с помощью нелинейного матричного уравнения в форме Коши²⁵:

²² Figueira G., Almada-Lobo B. Hybrid simulation-optimization methods: A taxonomy and discussion. Simulation Modelling Practice and Theory. 2014, Vol. 46, pp. 118–134.

²³ Нецаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.; Он же. Компьютерная математика: прикладные аспекты. СПб.: Арт-Экспресс, 2019. 368 с.

²⁴ Нецаев Ю. И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.; Figueira G., Almada-Lobo B. Hybrid simulation-optimization methods: A taxonomy and discussion. Simulation Modelling Practice and Theory. 2014, Vol. 46, pp. 118–134.

²⁵ Нецаев Ю. И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.; Он же. Компьютерная математика: прикладные аспекты. СПб.: Арт-Экспресс, 2019. 368 с.

$$X' = \Phi(X, U, W, t), \quad (8)$$

где X, U, W — матрицы-столбцы переменных состояния, управляющих и возмущающих воздействий;

Φ — нелинейная векторная функция, матрица-столбец скалярных нелинейных функций, число которых совпадает с числом переменных состояния:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, U = \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_r \end{bmatrix}, W = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix}, \Phi = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \vdots \\ \phi_n \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Переход от матричного уравнения (4) к общей модели взаимодействия имеет вид

$$F_i[\ddot{x}_i, \dot{x}_i, x_i, t, X_{i1}, \dots, X_{im}, Y_{i1}, \dots, Y_{in}] = 0, \quad (10)$$

где $F_i(\cdot)$ — нелинейные функции;

x_i — линейные и угловые перемещения;

X_{i1}, \dots, X_{im} — инерционные, демпфирующие и восстанавливающие компоненты;

Y_{i1}, \dots, Y_{in} — возмущающие силы и моменты;

$i = 1, 2, \dots, 6$.

Реализация моделей (8) — (10) осуществляется в зависимости от уровня неопределенности на основе интерпретации поведения ПО в нестационарной среде: уравнение Фоккера — Планка²⁶, методы Монте-Карло и функционала действия²⁷, модифицированные модели Дуффинга и Матъе²⁸, а также дифференциальных уравнений бортовой, вертикальной и килевой качки²⁹.

Исследование общего поведения ПО при восприятии динамических нагрузок ведется комплексно при использовании различных видов моделирования в среде HS. В процессе экспериментов, проводимых в различных гидродинамических лабораториях с применением самоходных и несамоходных моделей ПО, подробно изучается характер колебательного движения и физические картины опрокидывания под воздействием заданных внешних возмущений (см. рис. 3).

Интересные выводы о физических картинах опрокидывания сделаны в работах³⁰. Наблюдая поведение радиоуправляемых моделей в бухте Сан-Франциско и в Севастопольской бухте, авторы пришли к выводу, что в условиях естественного волнения наиболее опасные в отношении остойчивости ситуации возникают при попутных курсовых углах.

4. Механизм абстракции при интерпретации стратегической платформы HS

Функциональные блоки стратегической платформы МПК реализуют сложное преобразование информации на основе концепций Data Mining³¹ и Soft Computing³². Теоретический базис этих операций реализован в рамках фундаментальной теоремы СТК³³,

²⁶ Нецаев Ю. И. Компьютерная математика: прикладные аспекты. СПб.: Арт-Экспресс, 2019. 368 с.

²⁷ Он же. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.

²⁸ Он же. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.

²⁹ Он же. Компьютерная математика: прикладные аспекты. СПб.: Арт-Экспресс, 2019. 368 с.

³⁰ Нецаев Ю. И. Моделирование остойчивости на волнении. Современные тенденции. Л.: Судостроение, 1989. 236 с.; Pauling J. R., Kastner S., Schafran S. Experimental studies of capsizing of intact ships in heavy seas. IMCO. STAB/7. 1973, pp. 1–54.

³¹ Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 336 с.

³² Zadeh L. A. Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. Commutation on the ASM. 1994, Vol. 37, issue 3, pp. 77–84.

³³ Нецаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.



а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Нестационарная динамика ПО при ударе разрушающейся (а) и экстремальной (б) волны и при обходе айсберга (в), (г)

сформулированной на основе парадигмы формирования абстрактной динамической системы В. И. Арнольда³⁴ и принципа бифуркационного управления Н. Н. Моисеева³⁵ применительно к абстрактному образу (АО)

нестационарной системы на основе исследований³⁶.

Аксиома 1. Абстрактная динамическая система представляет собой набор³⁷

$$ADS = (m, \mu, \varphi_t), \quad (11)$$

состоящий из измеримого пространства M с мерой μ и группы φ_t автоморфизмов $\text{mod } 0$, сохраняющих меру $\mu(\varphi_t A) = \mu(A)$ при всех t , и всех изоморфизмов $A: \varphi_t$ измерима на $M \times \mathcal{R}$. Автоморфизм — сдвиг: если $m = (...a_r...)$, то $\varphi(m) = (...a'_r...)$.

³⁴ Арнольд В. И., Авец А. Эргодические проблемы классической механики. // Регулярная и хаотическая динамика. Т. 11. Ижевск: Республиканская типография, 1999. 284 с.

³⁵ Моисеев Н. Н. Избранные труды. Т. 1. Гидродинамика и механика. Оптимизация, исследование операций и теория управления. Т. 2. Междисциплинарные исследования глобальных проблем. Публицистика и общественные проблемы. М.: Тайдекс Ко, 2003. Т. 1–376 с., Т. 2–264 с.

³⁶ Нецаев Ю. И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.; Он же. Компьютерная математика: прикладные аспекты. СПб.: Арт-Экспресс, 2019. 368 с.

³⁷ Арнольд В. И., Авец А. Эргодические проблемы классической механики. // Регулярная и хаотическая динамика. Т. 11. Ижевск: Республиканская типография, 1999. 284 с.

Теорема 1. АО нестационарной системы реализуется с помощью целевого функционала, определяющего интерпретацию пространственно-временного взаимодействия в множествах динамической модели СТК.

Реализация этой теоремы при исследовании АО нестационарной системы связана с использованием важных следствий.

Следствие 1. Динамическая модель СТК определяет функцию интерпретации в пространствах поведения и управления в виде множества, характеризующего динамическую среду, интегрирующую взаимодействие объектов эволюционной динамики, внешнюю среду и структурные изменения в поведении интерпретируемой системы. При реализации управляющих воздействий АО может эволюционировать к различным состояниям нестационарной системы в зависимости от особенностей среды взаимодействия.

Следствие 2. В процессе развития эволюции АО определяется состояниями устойчивого и неустойчивого равновесия в функциональных пространствах динамической модели СТК, исследование которых ведется в условиях неопределенности и неполноты исходной информации.

Следствие 3. При недостаточной эффективности управляющих воздействий

происходят резкие изменения пространственно-временного континуума, характеризующего эволюцию АО нестационарной системы при потере устойчивости и возникновении катастрофы.

Интерпретация АО нестационарной системы потребовала перестройки разработанных методов анализа динамики взаимодействия в условиях ограниченности временных интервалов и исходной информации. Алгоритмы решения задач построения и интерпретации АО реализуются на основе концепции минимальной длины описания (Minimal Description Length — MDL) А. Н. Колмогорова³⁸, методов решения обратных задач А. Н. Тихонова³⁹ и теории сложности⁴⁰. Выбор «регуляризатора», основанного на концепции MDL, формализует принцип бритвы Оккама⁴¹. Для набора исходных данных и множества моделей интерпретации АО принцип MDL предпочитает модель с кратчайшим эффективным описанием.

5. Функциональные модули стратегической платформы HS

Структура АО⁴² как интегральной характеристики нестационарной среды взаимодействия ПО в функциональных пространствах динамической модели СТК⁴³ представляются в виде отображений:

$$\langle S(N), M(F, C), S(N), F(S) \rangle, \quad (12)$$

где $S(N)$ — стандартный образ MO;

$M(F, C)$ — модифицированный образ на основе фрактальной и когнитивной структуры;

$S(N)$ — символический образ;

$F(S)$ — формальные структуры функционального анализа (аттракторы, предельные циклы, бифуркационные диаграммы).

С позиций абстрактной математики исследуемую систему взаимодействия в пространствах поведения $R_j^n(t)$ и управления $R_j^r(t)$

динамической модели СТК⁴⁴ можно характеризовать абстрактной структурой $S(N)$ в виде АО. Этот образ задается с помощью

³⁸ Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987. 304 с.

³⁹ Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 287 с.

⁴⁰ Judd K., Mees A. I. On Selecting Models for Nonlinear Time Series. Physica D. 1995, Vol. 82, no. 4, pp. 426–444.

⁴¹ Солодовников В. В., Тумаркин В. И. Теория сложности и проектирование систем управления. М.: Наука, 1990. 168 с.

⁴² Арнольд В. И., Авец А. Эргодические проблемы классической механики. // Регулярная и хаотическая динамика. Т. 11. Ижевск: Республиканская типография, 1999. 284 с.

⁴³ Нечаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.

⁴⁴ Он же. Моделирование устойчивости на волнении. Современные тенденции. Л.: Судостроение, 1989. 236 с.

графа G (см. рис. 4) и рассматривается как многозначное соответствие $G: Ver \rightarrow Ver$ между вершинами. Граф G определяется матрицей переходов $\Pi = \{\pi_{ij}\}$ размерностью $n \times n$. Элемент матрицы $\pi_{ij} = 1$ указывает на существование ориентируемого ребра $i \rightarrow j$ и $\pi_{ij} = 0$ в противном случае.

Между исходной динамической системой и ее АО существуют следующие соотношения⁴⁵:

- траекториям динамической системы соответствуют допустимые пути на графе;
- абстрактный образ отражает глобальную структуру динамической системы;
- абстрактный образ является конечным приближением системы.

Определение 1. Матрица переходов при отображении АО нестационарной системы

$$\pi_{ij} = 1, \text{ если } (M(i)) \cap f(M(j)) \neq \emptyset; \quad (13)$$

$$\pi_{ij} = 0, \text{ если } (M(i)) \cap f(M(j)) = \emptyset. \quad (14)$$

Определение 2. Вершина АО называется возвратной, если через нее проходит периодический путь. Для множество возвратных вершин RV две вершины называются эквивалентными, если существует периодический путь, содержащий обе эти вершины.

Определение 3. Возвратные вершины $\{i\}$ определяются ненулевыми диагональными элементами $\pi_{ij}^m \neq 0$ матрицы переходов Π^m , $m < n$, где n — число ячеек покрытия. Множество

$$S = R \cap R^{-1} \quad (15)$$

— компоненты сильной связности графа G .

На начальном этапе функционирования МПК решается задача идентификации — построение АО.

$$DI(S) \in \{P(DM), M(S), CR(I), A(I)\}. \quad (16)$$

⁴⁵ Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 336 с.

АБСТРАКТНЫЙ ОБРАЗ В ПРОСТРАНСТВАХ ЭВОЛЮЦИИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ СИСТЕМЫ

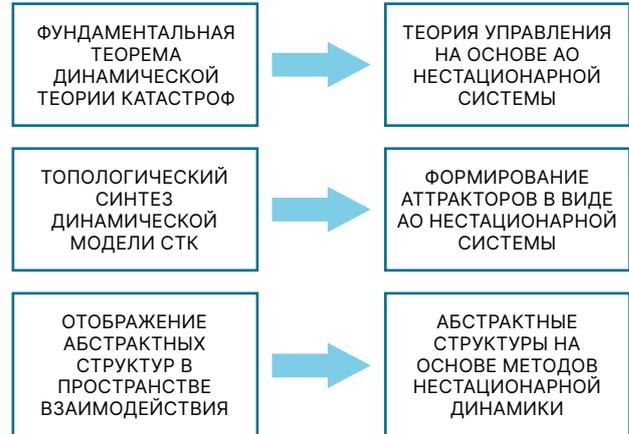


Рис. 4. АО и его модификации в функциональных пространствах СТК

строится на основе выполнения следующих условий:

возвратных вершин RV содержит непересекающиеся классы (H_k) эквивалентных вершин.

Каждый непериодический путь ξ определяет единственный класс $H_k = H(\xi)$. Для сильно связанного графа любые две различные вершины i_1, i_2 могут быть соединены путем с началом в i_1 и концом в i_2 . Отношением эквивалентности $R(i_1, i_2)$ называют транзитивные и симметричные условия, а классом эквивалентности в отношении

Процедуры построения АО нестационарной системы на основе операций (16) реализуются в виде:

- выделения класса объекта $P(DM)$ и формирования настраиваемой модели $M(S)$;
- выбора критерия качества идентификации $CR(I)$ — средние потери, характеризующие различие между входами и выходами объекта и настраиваемой модели;
- построения алгоритма идентификации $A(I)$, обеспечивающего минимум потерь с ростом

времени t на основании данных измерений и параметров модели.

Формирование структуры данных при моделировании динамических ситуаций на основе АО реализуется в направлении перестройки организации информации в мультипроцессорной вычислительной среде⁴⁶. Процесс перестройки сопровождается фазовым переходом, в результате которого отмечается качественный скачок в изменении элементов нестационарной системы, причем последовательность перестройки осуществляется в виде следующей цепочки преобразования информации⁴⁷:

$$F(SA) \rightarrow \text{Fluct} \rightarrow \text{Bifurc} \rightarrow \text{Reorg} \rightarrow F(NSA), \quad (17)$$

где $F(SA)$ — функционирование системы в области притяжения исходной структуры-аттрактора;
 Fluct — отклонения (флуктуации);
 Bifurc — бифуркация;
 Reorg — реорганизация (фазовый переход);
 $F(NSA)$ — функционирование в области новой структуры-аттрактора.

Разработанная на основе приведенного алгоритма модель АО нестационарной системы формализует информационные

процессы, направленные на достижение цели интерпретации — построение АО в виде цепочки

$$DI(S) \rightarrow P(W, V) \rightarrow S(\text{Int}), M(S), \quad (18)$$

содержащей оценку параметров внешней среды $P(W, V)$ и ситуации взаимодействия $S(\text{Int})$ на основе данных динамических измерений $M(S)$.

6. Стратегия управления и реализация интерфейса стратегической платформы HS

Структура системы ИП, реализующая стратегическую платформу Computational

Science, включает наиболее важные приложения АО динамики ПО в среде HS⁴⁸, обеспечивающие цепочку преобразования информации в соответствии с представлением

$$R^n \cdot R^r: \langle \text{AF} \rightarrow \text{SU} \rightarrow \text{DS} \rangle, \quad (19)$$

где R^n и R^r — пространства поведения и управления СТК;
 AF — анализ и прогноз ситуации;
 SU — выработка стратегий управления;
 DS — принятие решений и оперативное управление.

⁴⁶ Нейрокомпьютеры в интеллектуальных технологиях XXI века. М.: Радиотехника, 2011. 352 с.

⁴⁷ Нечаев Ю. И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.

⁴⁸ Figueira G., Almada-Lobo B. Hybrid simulation-optimization methods: A taxonomy and discussion. Simulation Modelling Practice and Theory. 2014, Vol. 46, pp. 118–134.

Модель функционирования интегрированного комплекса ИП на основе СТК⁴⁹ содержит множе-

ство элементов, на основе которых отображается поведение ПО на интервале реализации

$$S(E)t = \langle S(Appr)t \cup S(Ident)t \cup S(For)t \rangle, t \in [t_0, t_k], \quad (20)$$

где кортеж $\langle \bullet \rangle$ определяет пространства R^n и R^r , интегрирующие множества задач идентификации $S(Ident)$, аппроксимации $S(Appr)$ и прогноза $S(For)$ на интервале реализации $[t_0, t_k]$.

Работа оператора, реализующего стратегии управления при интерпретации текущей

ситуации, ведется в режиме структурированного диалога (см. рис. 5 а, б).

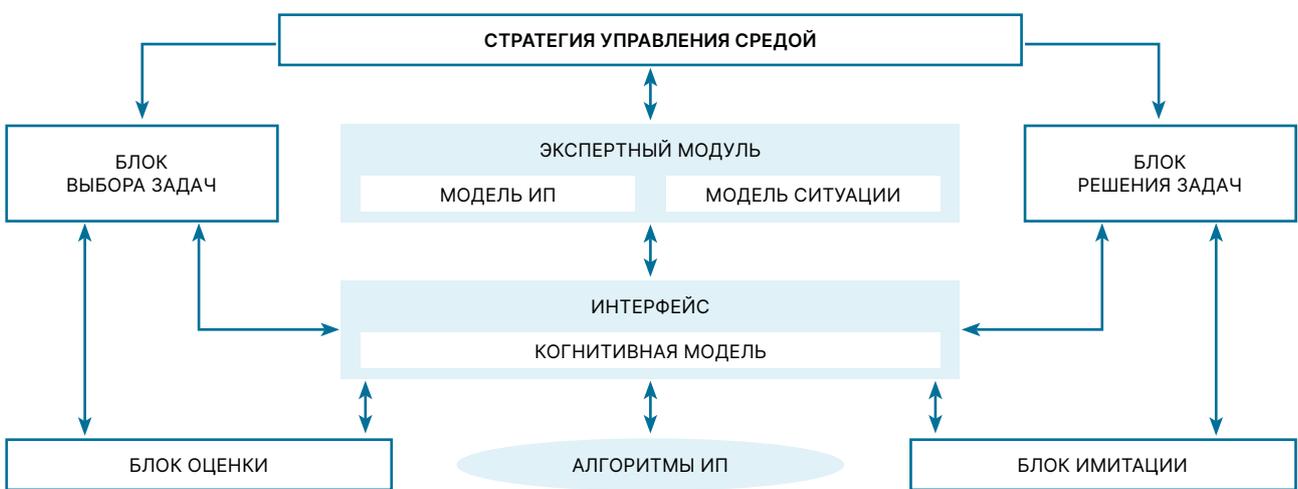


Рис. 5а. Интеллектуальный интерфейс при интерпретации ситуации: модель поведения

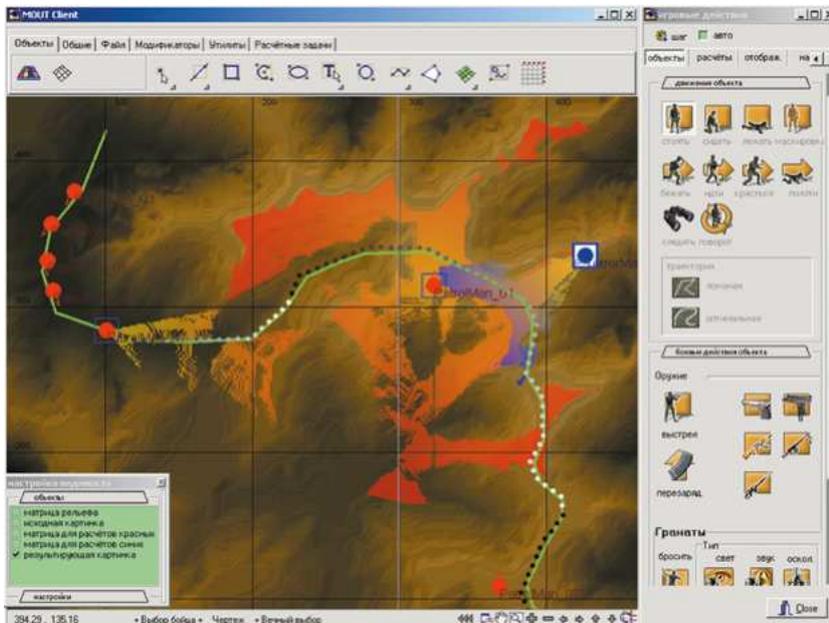


Рис. 5б. Интеллектуальный интерфейс при интерпретации ситуации: реализация стратегии управления

⁴⁹ Нецаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.

Многоуровневая декомпозиция (20) позволяет представить функции интерпретации в виде иерархии вложенных элементов, задающих стратегию управления. Теоретические принципы организации программного комплекса контроля динамики ПО как активной динамической системы (АДС)⁵⁰

объединяет общесистемные представления о методологии исследования поведения ПО. Управляющий модуль АДС координирует взаимодействие элементов иерархической структуры с помощью ориентированного ациклического графа G со множеством вершин V и множеством дуг E ⁵¹:

$$G = \langle V, E \rangle, V = N \cup M, E \subseteq V \cdot M, \quad (21)$$

где N — конечное множество программной реализации;
 M — множество управляющих структур.

Оценка поведения ПО реализуется на основе стратегической платформы Computational Science. Идея содержательного диалога при контроле поведения ПО реализована в виде интеллектуального адаптивного интерфейса. С помощью программных реализаций в системе оперативной обработки и динамической визуализации данных HS осуществляется диалог с оператором в рамках модели пользователя (User model)⁵². Такая модель обеспечивает рациональное и адекватное использование имеющихся средств ИП и данных моделирования. Модель оператора, определяющая качество работы человеко-машинного интерфейса, поддерживается на основе концепции оптимального инструктора. Совершенствование моделей контроля поведения нестационарных критических ситуаций (НКС) связано с использованием следующих подходов.

Первый подход состоит в том, что оператор формирует задачу обработки данных с учетом теоретических моделей ПО и языка теории категорий, позволяющего объединить множество моделей и альтернативные способы обработки данных (анализ и выбор альтернатив).

Второй подход позволяет создать средства интеллектуального интерфейса, обеспечивающие в рамках диалога ИП оператора выбор генерируемых решений, в том числе

и средств когнитивной компьютерной графики, основанных на познавательном (когнитивном) способе взаимодействия.

Третий подход расширяет возможности наглядно-образного мышления оператора за счет средств визуализации при графической интерпретации ситуаций, позволяющих выявить особенности ситуации и обработки данных, наглядно представить динамику взаимодействия ПО.

В нестандартных ситуациях возможны случаи, когда оператор не совсем понял результаты ИП и вынужден принимать решение на основе собственного опыта. При этом принципиально возможны логически противоречивые выводы. Такие парадоксы могут иметь место при интерпретации нештатных ситуаций. В этом случае система ИП использует дополнительные возможности анализа, реализуя различные подходы, разработанные в теории принятия решений. Одним из них является Байесовский подход, позволяющий четко фиксировать различные мнения, принятые теоретические модели и средства обработки данных наблюдений.

Обобщенную модель интерфейса можно реализовать с помощью интерпретации, позволяющей создавать универсальные диалоговые среды для различных сценариев человеко-компьютерного взаимодействия⁵³:

⁵⁰ Новиков Д. А., Петраков С. Н. Курс теории активных систем. М.: СИНТЕГ, 1999. 104 с.

⁵¹ Нечаев Ю. И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.

⁵² Нечаев Ю. И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.

⁵³ Араксян В. В. и др. Аппаратная интерпретация гибкого интерфейса «человек — компьютер» // Известия Академии Наук СССР. Техническая Кибернетика. М.: Наука, 1989. № 5. С. 129–139.

$$A: S \cdot M \rightarrow F \cdot M, \quad (22)$$

где S — множество входных сигналов с учетом сообщений, вводимых оператором;
 M — множество состояний интерактивного процесса;
 F — множество выходных сигналов (действий).

В текущем состоянии X множества M выделяется структура, не зависящая от контекстной интерпретации. При этом предполагается наличие двух типов компонент: X' (фрейм-кадр) и переменной X'' (слот-кадр). Такое представление позволяет интерпретировать множество

F как процесс заполнения компоненты X'' кадра X по текущему состоянию информационно-вычислительного логического процесса π_α . Для множества N внутренних состояний интерфейса выходной сигнал $f \in F$ рассматривается как набор однозначных отображений (функций)

$$f: N \rightarrow \pi_\alpha \subset X. \quad (23)$$

Входные сигналы оператора представляются в виде управляющих сигналов S_j^i , инициирующих переход от кадра x_i к кадру $x_i(j)$, и функциональных сигналов f_c , инициирующих вызов функциональной директивы (возможно, с собственной структурой кадра X). Таким образом, по управляющему сигналу S_j^i

осуществляется переход от кадра x_i к кадру $x_i(j)$, а выходной сигнал такого перехода определяется выходным кадром $x_i(j)$.

Результат функционирования интерфейса под воздействием управляющих сигналов характеризуется преобразованием

$$x_i \rightarrow S_j^i x_i(j) \otimes f(x_i(j)); \quad (24)$$

$$(S_j^i x_i \rightarrow f(x_i(j))). \quad (25)$$

Рассматриваемый подход позволяет создать средство для анализа ситуаций при реализации диалогового взаимодействия и формального процесса вычислительно-энергетической среды «человек — компьютер» в рамках зрительного восприятия, анализа и описания среды взаимодействия (процесс распознавания) и образного отображения состояния ПО (процесс взаимодействия). В результате формируется информация, направленная на организацию процесса образного отображения данных о состоянии МО в текущий момент времени.

устройств к контроллеру и обмена между собой, причем эффективность обмена данными зависит от информационной организации и протокола обмена.

Канальный уровень определяет логику организации протоколов обмена данными: передача управляющей информации, данных о состоянии ПО, результатов наблюдений. Организация протокола обмена характеризует эффективность взаимодействия устройств, необходимую для получения результатов контрольных наблюдений.

В соответствии с международным стандартом OSI/ISO приборный интерфейс имеет три уровня организации: физический, канальный и прикладной⁵⁴.

Прикладной уровень определяет возможности аппаратно-программных средств интерфейса, связанных с представлением результатов контроля, их анализом, предварительной обработкой (уменьшение случайной составляющей погрешности, удаление промахов, аппроксимация и др.). Указанные возможности характеризуются быстродействием интерфейсного контроллера, его разрядной сеткой, памятью. Рассмотренные особенности интерфейса стратегической платформы HS позволяют оценить

Физический уровень определяет архитектуру системы ИП: способы подключения

⁵⁴ Нецаев Ю. И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.

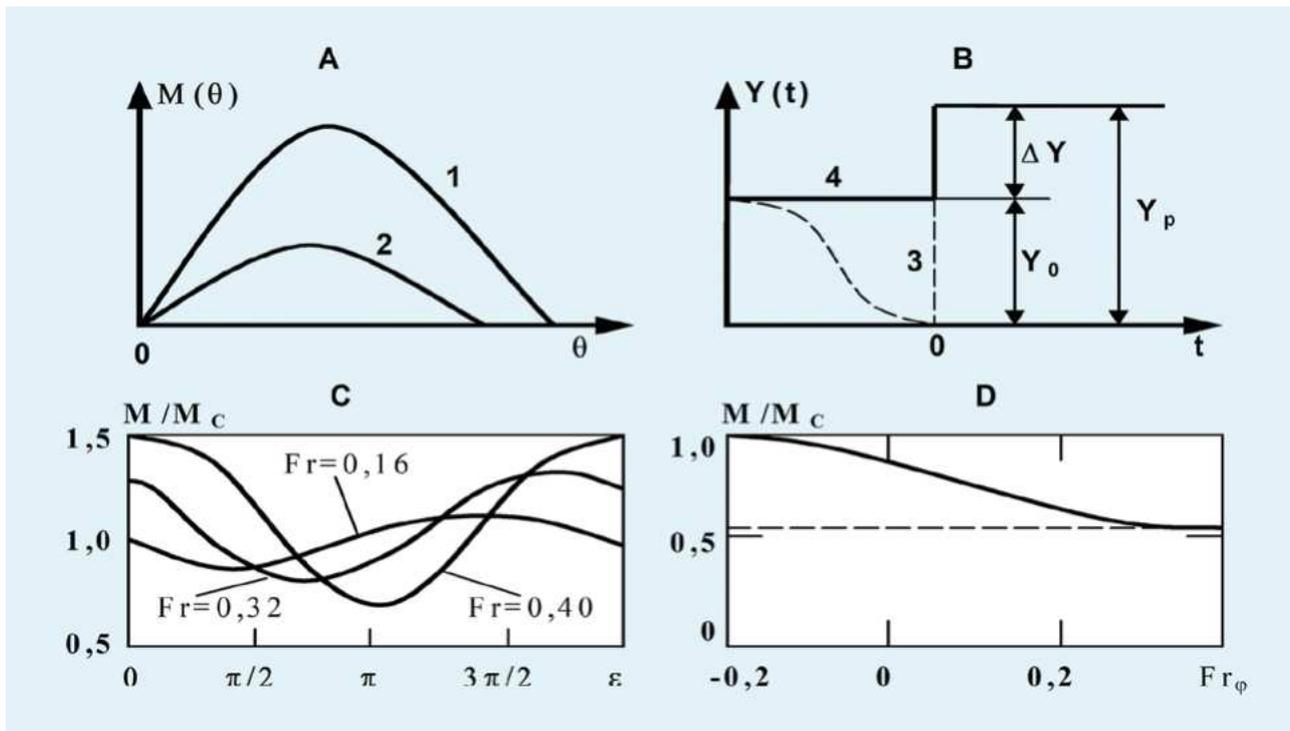


Рис. 6. Диаграммы остойчивости (А), варианты приложения динамической кренящей нагрузки (В), изменение опрокидывающего момента в зависимости от фазы (С) и числа Фруда (D): 1 – на подошве волны, 2 – на вершине волны, 3 – внезапное и 4 – ступенчатое возрастание шквала

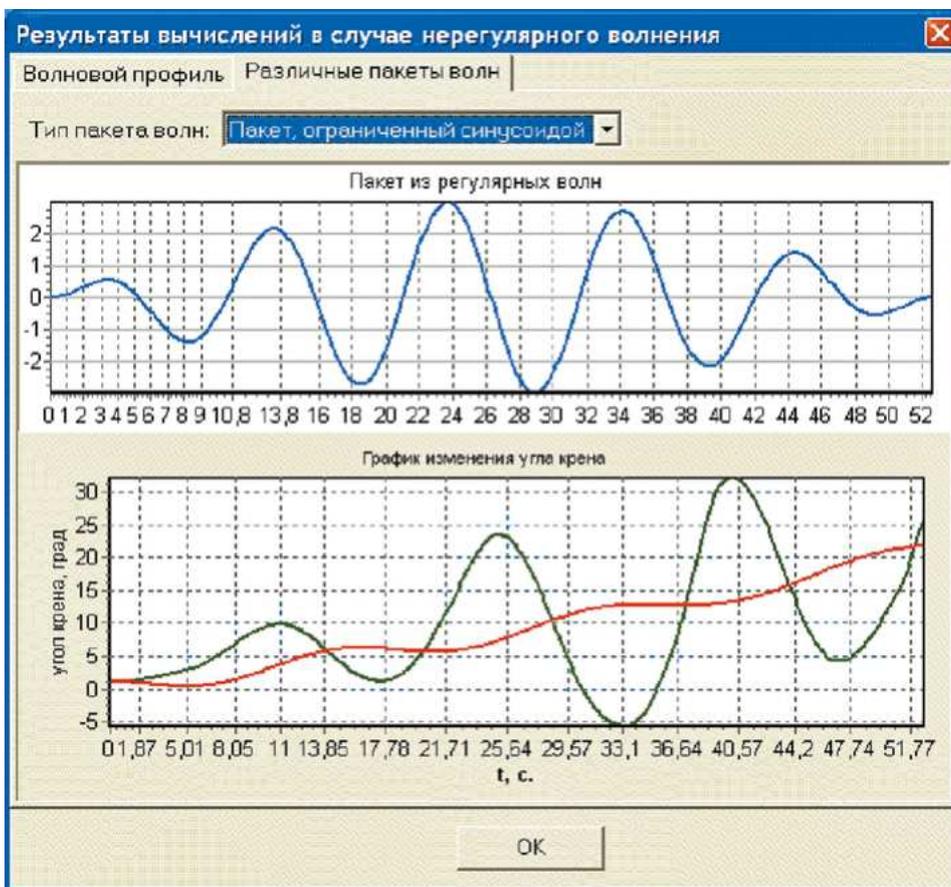


Рис. 7. Результаты моделирования динамики бортовых наклонений ПО во время прохождения пакета волн, близких к регулярным

эффективность аппаратно-программной структуры системы ИП с учетом стоимости, производительности и надежности и реализовать синтез информационной структуры, обеспечивающей требования по сбору и передаче потоков данных и результатов их обработки.

Практическая реализация операций стратегической платформы NS

Пример 1. Модель интерпретации характеристик ПО. На рисунке 6 представлены результаты геометрической интерпретации характеристик ПО на волнении, которые определяют условия полной потери остойчивости в соответствии с материалами физического моделирования⁵⁵.

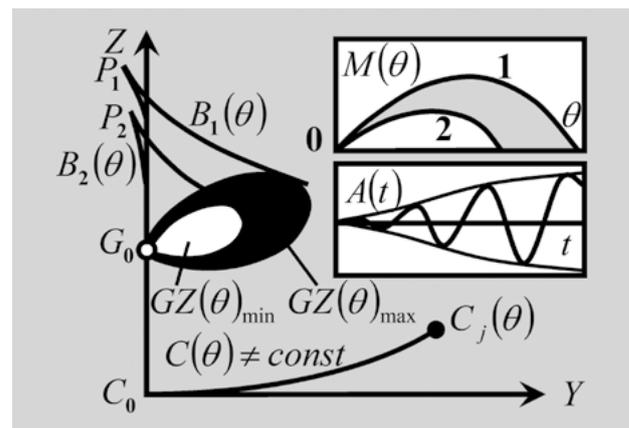
Как видно из рисунка, влияние числа Фруда носит сложный характер. С ростом числа Фруда до $Fr = 0,28-0,30$ на вершине волны происходит сглаживание кривых, и абсолютные значения M/M_c уменьшаются. При больших числах Фруда величина M/M_c снова начинает постепенно возрастать. При положении ПО на подошве волны роль числа Фруда снижается.

Для иллюстрации на рисунке 7 приведены результаты моделирования при воздействии пакетов волн при исследовании ситуации полной потери остойчивости⁵⁶.

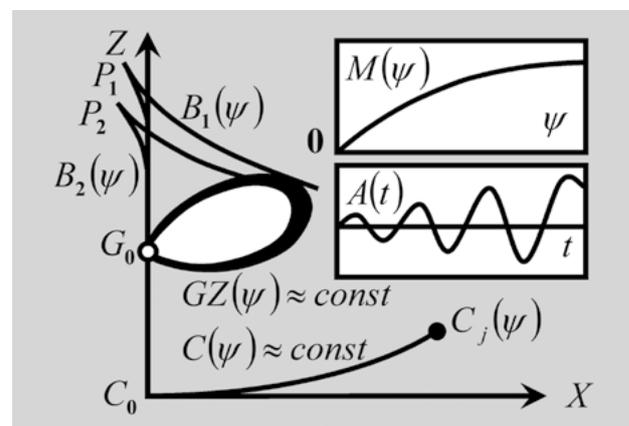
Пример 2. Геометрическая интерпретация резонансных режимов каски ПО. В процессе вычислительного эксперимента проводилась имитация динамических картин колебательного движения ПО для исследуемых ситуаций физического моделирования⁵⁷. Результаты моделирования представлены на рисунке 8 в виде геометрической и аналитической интерпретации с помощью модели модифицированной катастрофы сборки СТК⁵⁸. Элементами, определяющими эту катастрофу, являются $B(\theta)$, $B(\psi)$ (бифуркационные множества) и P (точка

сборки пространства катастроф $R^2 \supseteq R^1 \supseteq R^0$), а бифуркационное множество B отображает эту структуру в соответствии с универсальностью катастрофы сборки.

Как следует из рассмотренных на этих рисунках резонансных режимов бортовой (см. рис. 8а) и килевой (см. рис. 8б) качки, интерпретация динамических ситуаций в этих случаях существенно различна. Если в случае бортовой качки колебательный режим в значительной степени определяется пульсацией кривых, отображающих множество $GZ(\theta)$ как динамическую среду между двумя экстремальными значениями $GZ(\theta)_{\max}$ и $GZ(\theta)_{\min}$ с переменным по времени средним значением случайного процесса, то для килевой качки область $GZ(\theta)$ в продольной плоскости меняется незначительно, и можно принять, что $GZ(\theta) = \text{const}$, использовать диаграмму продольной остойчивости $M(\psi)$ при описании и интерпретации динамики МО при килевой качке.



а)



б)

Рис. 8. Геометрическая интерпретация режимов бортовой (а) и килевой (б) качки при основном резонансе

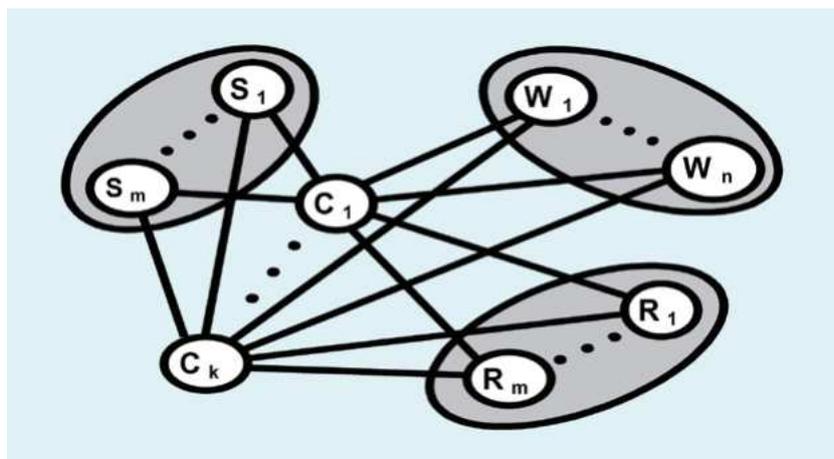
⁵⁵ Нецаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.; Pauling J. R., Kastner S., Schafran S. Experimental studies of capsizing of intact ships in heavy seas. IMCO. STAB/7. 1973, pp. 1–54.

⁵⁶ Он же. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.

⁵⁷ Он же. Моделирование остойчивости на волнении. Современные тенденции. Л.: Судостроение, 1989. 236 с.; Pauling J. R., Kastner S., Schafran S. Experimental studies of capsizing of intact ships in heavy seas.

⁵⁸ Он же. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.

Рис. 9. Дерево решений, представленное в виде фрагмента семантической сети



Бифуркационное множество $V(\theta, t)$ при бортовой качке отражает процесс деформации множества $C(\theta)$, отображающего структурные изменения в форме подводной части корпуса вследствие непрерывного изменения профиля действующей ватерлинии. На рисунке 8а показаны граничные кривые для $V(\theta, t)$ — $V_1(\theta)$, $V_2(\theta)$ и соответствующие точки складки $P_1(q)$ и $P_2(q)$.

Графическая интерпретация катастроф сборки на рисунке 8а для аналитической интерпретации ситуации дополняется кривыми $M(\theta)$ и $A(\theta)$, первая из которых характеризует области изменения восстанавливающего момента (показана темным цветом), а вторая — кривую развития колебательного движения в момент прохождения пакета резонансных волн с соотношением частот $\sigma_k = (0,8-1,2) \omega_\psi$, где $\sigma_k = 2\pi/\tau_k$ — «кажущаяся» частота; $\tau_k = \lambda/(C - V\cos\varphi)$ — «кажущийся» период, вычисленный при обработке измерительной информации; $C = 1,25(\lambda)^{1/2}$ — скорость бега волны; V — скорость МО. В случае возникновения параметрического резонанса (частотное соотношение $\sigma_k = (1,95-2,10) \omega_\psi$) геометрическая интерпретация ситуации сохраняется с той лишь разницей, что кривая $A(\theta)$ будет иметь вид, напоминающий кривую на рисунке 8а в зависимости от особенностей структуры воздействующего пакета волн.

Бифуркационное множество при килевой качке отражает процесс стабильного положения множества $C(\theta)$, характеризующегося достаточно слабыми структурными изменениями в форме подводной части корпуса (указаны заштрихованной областью), которые практически не повлияли на построение кривой продольного метacentра — бифуркационного множества $V(\psi)$ и положения точки $P(\psi)$.

Графическая интерпретация катастроф сборки на рисунке 8б дополняется кривыми $M(\psi)$ и $A(\psi)$, первая из которых характеризует изменения продольного восстанавливающего момента, а вторая — кривую развития колебательного движения при килевой качке в момент прохождения пакета резонансных волн с соотношением частот $\sigma_k = (0,8-1,2) \omega_\psi$, где ω_ψ — собственная частота килевой качки, определенная в процессе обработки данных динамических измерений.

Пример 3. Анализ динамики ПО на основе дерева решений. Адекватное отображение сложно структурированной, разнохарактерной количественной и качественной информации при разработке интерпретирующих систем связано с использованием интегрированных моделей представления знаний, соединяющих возможности схем представления на разных уровнях абстракции. Рассмотрим структурирование поведения ПО в виде дерева решений (см. рис. 9), позволяющего построить фрагменты семантических сетей и представить логические решающие функции распознавания, анализа и прогноза исследуемых ситуаций⁵⁹.

Здесь S_i ($i = 1, m$) — множество сценариев, содержащих описания ситуаций и параметры моделей; W_j ($j = 1, n$) — множество состояний ПО, описываемых информационной моделью; R_i ($i = 1, m$) — множество выводов, описывающих результаты моделирования конкретного сценария по заданному варианту; C_k ($k = 1, r$) — множество связей, объединяющих в семантическую сеть кортежи $\langle S, W, R \rangle$.

⁵⁹ Нецаев Ю. И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.

При построении дерева решений, разбивающего множество объектов A_N на множество образов M^{60} :

— набор переменных $X \in X_k$ ($k=1, \dots, N$) с областями значений

$$D_1, \dots, D_n, D_1 \cdot \dots \cdot D_n; \quad (26)$$

— набор значений переменной $x \in x_k(a)$ для объекта

$$a \in A_k (k = 1, \dots, N); \quad (27)$$

— разбиение множества D на попарно непересекающиеся подмножества

$$E^1, \dots, E^M, E^S = E_1^{S_1} \cdot \dots \cdot E_k^{S_k}, S_i \in \{1, \dots, l_i\}; \quad (28)$$

$$(S = 1, \dots, M, j = 1, \dots, k, k = 1, \dots, N).$$

Из определения дерева решений следует

$$\forall j = 1, \dots, k, D_j = E_j^i \cup \dots \cup E_j^{l_j}; \quad (29)$$

$$i, f = 1, \dots, l_j, E_j^i \neq \emptyset, E_j^i \cap E_j^f = \emptyset.$$

Каждому пути от корня дерева к его вершине соответствует формула

$$\phi^S(x_1, \dots, x_k) = P_1^{S_1}(x_1) \wedge \dots \wedge P_k^{S_k}(x_k), \quad (30)$$

где $P_j^{S_k}(x)$ определяется заданием множества $E_j^{S_j} \subseteq P_j$.

Деревья решений генерируют иерархии правил «if – then», позволяющих классифицировать данные в соответствии с их влиянием на целевой показатель. Для всего дерева в целом или для отдельного его сегмента можно выполнить нисходящий анализ, то есть анализ, обеспечивающий расширение регрессионного дерева из текущего состояния до максимального размера, при котором на каждом шаге раскрывается очередной уровень дерева, выбирается наиболее статистически значимый фактор и для этого фактора проводится разбиение сегмента. В зависимости от установленных параметров работы системы

интеллектуального анализа данных на экран выводятся различные статистики, вычисляемые в ходе построения дерева: вероятность гипотезы о значимости фактора или уровень значимости для сегментов данного фактора, значение t (статистика Стьюдента) и F (статистика Фишера) и соответствующие степени свободы, точность локальной регрессии на аналитических и тестовых данных. Для просмотра больших деревьев решений удобно использовать фильтры, позволяющие получать подробную информацию только по тем сегментам данных, которые необходимы для решения задачи интерпретации.

Заключение

Рассмотренная стратегическая платформа и Computational Science при анализе

⁶⁰ Геппенер В. В. Деревья решений в задачах распознавания образов // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-99): сборник докладов. СПб.: ЛЭТИ, 1999. Т. 2, С. 130–133.

динамики МО на основе HS⁶¹ определяется следующими условиями:

— формированием моделей эволюционной динамики ПО при интерпретации функциональных пространств СТК⁶²;

— функциями интерпретации операций HS в моделях ПО при различном уровне внешних возмущений в рамках исследований⁶³;

— формализацией операций HS⁶⁴ в прикладных задачах моделирования и интерпретации поведения ПО в эволюционирующей среде.

Сформулированные принципы и методы исследования приложений Computational Science в среде HS⁶⁵ обеспечиваются системой ИП на основе НФС⁶⁶.

⁶¹ Figueira G., Almada-Lobo B. Hybrid simulation-optimization methods: A taxonomy and discussion. Simulation Modelling Practice and Theory. 2014, Vol. 46, pp. 118–134.

⁶² Нечаев Ю. И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с.

⁶³ Там же; Он же. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с.; Он же. Компьютерная математика: прикладные аспекты. СПб.: Арт-Экспресс, 2019. 368 с.

⁶⁴ Figueira G., Almada-Lobo B. Hybrid simulation-optimization methods: A taxonomy and discussion. Simulation Modelling Practice and Theory. 2014, Vol. 46, pp. 118–134.

⁶⁵ Там же.

⁶⁶ Нейрокомпьютеры в интеллектуальных технологиях XXI века. М.: Радиотехника, 2011. 352 с.

Изображения предоставлены авторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ и моделирование темпоральных комплексных сетей : коллективная монография. СПб.: Университет ИТМО, 2017. 149 с. ISBN 978-5-7577-0551-4
2. Араксян В. В. и др. Аппаратная интерпретация гибкого интерфейса «человек – компьютер» // Известия Академии Наук СССР. Техническая Кибернетика. М.: Наука, 1989. № 5. С. 129–139.
3. Арнольд В. И., Авец А. Эргодические проблемы классической механики. // Регулярная и хаотическая динамика. Т. 11. Ижевск: Республиканская типография, 1999. 284 с.
4. Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 336 с. ISBN 5-94157-522-X
5. Бортовые интеллектуальные системы. Ч. 2. Корабельные системы. М.: Радиотехника, 2006. 80 с. ISBN 5-88070-111-5
6. Геппенер В. В. Деревья решений в задачах распознавания образов // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-99) : сборник докладов. СПб.: ЛЭТИ, 1999. Т. 2, С. 130–133.
7. Глушков В. М., Иванов В. В., Яненко В. М. Моделирование развивающихся систем. М.: Наука, 1983. 350 с.
8. Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987. 304 с.
9. Красовский А. А. Концепция оптимального инструктора и автоматизация обучения на тренажерах // Известия Академии Наук СССР. Техническая Кибернетика. М.: Наука, 1989. № 6. С. 139–144.
10. Моисеев Н. Н. Избранные труды. Т. 1. Гидродинамика и механика. Оптимизация, исследование операций и теория управления. Т. 2. Междисциплинарные исследования глобальных проблем. Публицистика и общественные проблемы. М.: Тайдекс Ко, 2003. Т. 1 – 376 с., Т. 2 – 264 с.
11. Нейрокомпьютеры в интеллектуальных технологиях XXI века. М.: Радиотехника, 2011. 352 с. ISBN 978-5-88070-310-4
12. Нечаев Ю. И. Моделирование остойчивости на волнении. Современные тенденции. Л.: Судостроение, 1989. 236 с. ISBN 5-7355-0136-4
13. Нечаев Ю. И. Теория катастроф : современный подход при принятии решений. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 392 с. ISBN 978-5-91542-115-7
14. Нечаев Ю. И. Современные проблемы информатики и вычислительной техники. СПб.: Арт-Экспресс, 2018. 384 с. ISBN 978-5-4391-0407-9
15. Нечаев Ю. И. Компьютерная математика: прикладные аспекты. СПб.: Арт-Экспресс, 2019. 368 с. ISBN 978-5-4391-0481-9
16. Новиков Д. А., Петраков С. Н. Курс теории активных систем. М.: СИНТЕГ, 1999. 104 с.

17. Системы искусственного интеллекта в интеллектуальных технологиях XXI века. СПб.: Арт-Экспресс, 2011. 376 с.
18. Солодовников В. В., Тумаркин В. И. Теория сложности и проектирование систем управления. М.: Наука, 1990. 168 с. ISBN 5-02-014390-1
19. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 287 с.
20. *Figueira G., Almada-Lobo B.* Hybrid simulation-optimization methods: A taxonomy and discussion. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2014, Vol. 46, pp. 118–134. DOI: 10.1016/j.simpat.2014.03.007
21. *Judd K., Mees A. I.* On Selecting Models for Nonlinear Time Series. *Physica D*. 1995, Vol. 82, no. 4, pp. 426–444. DOI: 10.1016/0167-2789(95)00050-E
22. *Pauling J. R., Kastner S., Schafran S.* Experimental studies of capsizing of intact ships in heavy seas. IMCO. STAB/7. 1973, pp. 1–54.
23. *Szalay A.* Extreme data-intensive scientific computing. *Computing in Science & Engineering*. 2011, Vol. 13, issue 6, pp. 34–41. DOI: 10.1109/MCSE.2011.74
24. *Zadeh L. A.* Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. *Commun. on the ASM*. 1994, Vol. 37, issue 3, pp. 77–84. DOI: 10.1145/175247.175255
25. Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab., University of Chicago, April 25–26, 2007. [Электронный ресурс]. URL: <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php> (посл. посещение 02.06.2024)

REFERENCES

1. *Analiz i modelirovanie temporal'nyh kompleksnyh setej* [Analysis and modeling of temporal complex net works]. *Kollektivnaya monografiya* [Collective monograph]. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2017, 149 p. (In Russ.)
2. *Araksyan V. V. i dr. Apparatnaya interpretaciya gibkogo interfejsa "chelovek – komp'yuter"* [Hardware interpretation of a flexible human-computer interface]. *News of the USSR Academy of Sciences. Technical Cybernetics*. Moscow, Nauka Publ., 1989, no. 5, pp. 129–139. (In Russ.)
3. *Arnol'd, V. I., Avez A. Ergodicheskie problemy klassicheskoy mekhaniki* [Ergodic problems of classical mechanics]. *Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika* [Regular and Chaotic Dynamics]. Vol. 11. Izhevsk, Republican Printing House, 1999, 284 p. (In Russ.)
4. *Barsegyan A. A., Kupriyanov M. S., Stepanenko V. V., Holod I. I. Metody i modeli analiza dannyh: OLAP i Data Mining* [Methods and models of data analysis: OLAP and Data Mining]. St. Petersburg, BHV` Petersburg Publ., 2004, 336 p. (In Russ.) ISBN 5-94157-522-X
5. *Bortovye intellektual'nye sistemy. CH. 2. Korabel'nye sistemy* [On-board intelligent systems. Part 2. Ship systems]. Moscow, Radiotekhnika, 2006, 80 p. (In Russ.) ISBN 5-88070-111-5
6. *Geppener V. V. Derev'ya reshenij v zadachah raspoznavaniya obrazov* [Decision trees in pattern recognition problems]. *Mezhdunarodnaya konferenciya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam (SCM`99). Sbornik dokladov* [International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM`99). Collection of reports]. St. Petersburg, LETI Publ., 1999, Vol. 2, pp. 130–133. (In Russ.)
7. *Glushkov V. M., Ivanov V. V., Yanenko V. M. Modelirovanie razvivayushchih sistem* [Modeling of Developing Systems]. Moscow, Nauka Publ., 1983, 350 p. (In Russ.)
8. *Kolmogorov A. N. Teoriya informacii i teoriya algoritmov* [Information theory and algorithm theory]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 304 p. (In Russ.)
9. *Krasovsky A. A. Konceptsiya optimal'nogo instruktora i avtomatizaciya obucheniya na trenazherah* [The concept of an optimal instructor and automation of training on simulators]. *News of the USSR Academy of Sciences. Technical Cybernetics*. Moscow, Nauka Publ., 1989, no. 6, pp. 139–144. (In Russ.)
10. *Moiseev N. N. Izbrannye trudy. T. 1. Gidrodinamika i mekhanika. Optimizaciya, issledovanie operacij i teoriya upravleniya. T. 2. Mezhdisciplinarnye issledovaniya global'nyh problem. Publicistika i obshchestvennyye problemy* [Selected works. Vol. 1. Hydrodynamics and mechanics. Optimization, operations research and control theory. Vol. 2. Interdisciplinary studies of global problems. Journalism and public issues]. Moscow, Tydex Co. Publ., 2003, Vol. 1, 376 p., Vol. 2, 264 p. (In Russ.)
11. *Nejrokom'yutery v intellektual'nyh tekhnologiyah 21 veka* [Neurocomputers in intellectual technologies of the 21st century]. Moscow, Radiotekhnika, 2011, 352 p. (In Russ.) ISBN 978-5-88070-310-4
12. *Nechaev YU. I. Modelirovanie ostoichivosti na volnenii. Sovremennyye tendencii* [Modeling of stability in waves. Modern tendencies]. Leningrad, Sudostroenie, 1989. 236 p. (In Russ.)
13. *Nechaev YU. I. Teoriya katastrof. Sovremennyy podhod pri prinyatii reshenij* [Catastrophe theory. A modern approach to decision making]. St. Peterburg, Art Ekspress Publ., 2011, 392 p. (In Russ.)
14. *Nechaev YU. I. Sovremennyye problemy informatiki i vychislitel'noj tekhniki* [Modern problems of informatics and computer technology]. St. Peterburg, Art Ekspress Publ., 2018, 384 p. (In Russ.)
15. *Nechaev YU. I. Komp'yuternaya matematika. Prikladnye aspekty* [Computer mathematics. Applied aspects]. St. Peterburg, Art Ekspress Publ., 2019, 368 p. (In Russ.)

16. Novikov D. A., Petrakov S. N. *Kurs teorii aktivnykh sistem* [Active system theory]. Moscow, SINTEG Publ., 1999, 104 p. (In Russ.)
17. *Sistemy iskusstvennogo intellekta v intellektual'nykh tekhnologiyah 21 veka* [Systems of artificial intelligence in intellectual technologies of the 21st century]. St. Petersburg, Art Ekspress Publ., 2011, 376 p. (In Russ.)
18. Solodovnikov V. V., Tumarkin V. I. *Teoriya slozhnosti i proektirovanie sistem upravleniya* [The theory of complexity and design of management systems]. Moscow, Nauka Publ., 1990, 168 p. (In Russ.)
19. Tihonov A. N., Arsenin V. YA. *Metody resheniya nekorrektnykh zadach* [Methods for solving incorrect problems]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 287 p. (In Russ.)
20. *Figueira G., Almada-Lobo B.* Hybrid simulation-optimization methods: A taxonomy and discussion. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2014, Vol. 46, pp. 118–134. DOI: 10.1016/j.simpat.2014.03.007
21. *Judd K., Mees A. I.* On Selecting Models for Nonlinear Time Series. *Physica D*. 1995, Vol. 82, no. 4, pp. 426–444. DOI: 10.1016/0167-2789(95)00050-E
22. *Pauling J. R., Kastner S., Schafran S.* Experimental studies of capsizing of intact ships in heavy seas. *IMCO. STAB/7*. 1973, pp. 1–54.
23. *Szalay A.* Extreme data-intensive scientific computing. *Computing in Science & Engineering*. 2011, Vol. 13, issue 6, pp. 34–41. DOI: 10.1109/MCSE.2011.74
24. *Zadeh L. A.* Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. *Commutation on the ASM*. 1994, Vol. 37, issue 3, pp. 77–84. DOI: 10.1145/175247.175255
25. Urgent Computing Workshop 2007. Argonne National Lab., University of Chicago, April 25–26, 2007. [Электронный ресурс]. URL: <http://spruce.teragrid.org/workshop/urgent07.php> (посл. посещение 02.06.2024)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Нечаев Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (Россия, 190121, г. Санкт-Петербург, Лоцманская, д. 3).

Никущенко Дмитрий Владимирович, доктор технических наук, профессор, член Национального комитета по теоретической и прикладной механике РАН, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (Россия, 190121, г. Санкт-Петербург, Лоцманская, д. 3).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nechaev Yuri Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University (ul. Lotsmanskaya, d. 3, St. Petersburg, 190121, Russia).

Nikuschenko Dmitrij Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Member of the National Committee on Theoretical and Applied Mechanics of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg State Marine Technical University (ul. Lotsmanskaya, d. 3, St. Petersburg, 190121, Russia).

Поступила в редакцию 23.04.2024
Поступила после рецензирования 12.05.2024
Принята к публикации 15.05.2024

Received 23.04.2024
Revised 12.05.2024
Accepted 15.05.2024

ТЕХНИКА / ТЕХНОЛОГИИ | TECHNOLOGY / TECHNOLOGIES

Оригинальная статья | Original paper

DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-85-96

УДК 629.5



ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗАТОНУВШИХ ОБЪЕКТОВ ПО МАТЕРИАЛАМ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ СЪЕМОК, СДЕЛАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ (ТНПА, ОПА)

В. А. Анищенко¹ ✉, **С. А. Кичко¹** ✉, **В. В. Лобынцев²** ✉, **С. Г. Фокин¹** ✉

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

²Институт транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта,
г. Москва, Российская Федерация

✉ office@urc-rgs.ru

Аннотация

В статье описан принцип построения объемных фотореалистичных моделей и ортофотопланов на основе фотографий (фотограмметрия) и применение данного принципа в подводной среде при помощи подводных аппаратов. Отражены основные этапы выполнения работ и особенности съемки под водой, методы постобработки с задействованием нейросетей. По результатам работы выявлены проблемные вопросы и предложены способы их решения, а также определен вектор дальнейшего совершенствования приборной и программной базы для ускорения постобработки изображений.

Ключевые слова

подводный поиск, подводная фотосъемка, фотограмметрия, ФГМ, ТНПА, ОПА, водолазная фотосъемка, глубоководные работы, нефтегазодобыча, подводные инфраструктурные объекты, ортофотоплан, объемная модель, 3D-модель

Для цитирования

Анищенко В. А., Кичко С. А., Лобынцев В. В., Фокин С. Г. Построение трехмерных моделей затонувших объектов по материалам фотограмметрических съемок, сделанных с помощью подводных аппаратов (ТНПА, ОПА) // Гидрокосмос. 2024. Т. 2, 1. № 5–6. С. 85–96. DOI: [10.24412/2949-3838-2024-56-85-96](https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-85-96)

BUILDING THREE-DIMENSIONAL MODELS OF SUBMERGED OBJECTS BASED ON PHOTOGRAMMETRIC SURVEYS USING UNDERWATER VEHICLES (ROV, AUV)

V. A. Anishhenko¹ ✉, **S. A. Kichko¹** ✉, **V. V. Loby'ncev²** ✉, **S. G. Fokin¹** ✉

¹ANO "Underwater Research Center of the Russian Geographical Society,"
St. Petersburg, Russian Federation

²Institute of Transport Technologies and Control Systems of the Russian University of Transport,
Moscow, Russian Federation

✉ office@urc-rgs.ru

Abstract	The article describes the principles of constructing volumetric photorealistic models and orthophoto plans based on photographs (photogrammetry) and the application of these principles in the underwater environment using underwater vehicles. The main stages of the process and the peculiarities of underwater photography, as well as post-processing methods involving neural networks, were outlined. The results identified problematic issues and methods for their resolution and determined the direction for further improvement of software and tools to accelerate image post-processing.
Keywords	underwater exploration, underwater photography, photogrammetry, ROV, AUV, deep-sea operations, oil and gas extraction, underwater infrastructure, orthophoto, volumetric model, 3D model
For citation	Anishhenko V. A., Kichko S. A., Loby'ncev V. V., Fokin S. G. Building three-dimensional models of sub-merged objects based on photogrammetric surveys using underwater vehicles (rov, auv). <i>Hydrocosmos</i> . 2024. Vol. 2, 1, no. 5–6, pp. 85–96. DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-85-96 (In Russ.)

Введение

Фотограмметрия (ФГМ) — это научно-техническая дисциплина, занимающаяся определением по фотографическим изображениям геометрических характеристик объектов, таких как форма, размеры, положение в пространстве и других.

Технология фотограмметрии подразумевает обработку крупного массива исходных данных в виде фотоснимков, сделанных в разных плоскостях с перекрытием от 40–50 % захватываемого изображения, далее собранных в отдельные группы моделей и обработанных с помощью специального программного обеспечения¹.

ФГМ широко используется для решения прикладных задач в различных областях науки и техники на земле и в воздухе. На сегодняшний день ФГМ-технология активно **внедряется в подводные исследования**. Это направление находится на стадии поиска практических возможностей осуществления съемок, а именно способов уменьшения влияния негативных факторов подводной среды².

К результатам фотограмметрии можно отнести:

— ортогональные проекции объекта (ортофотоплан);

— фотореалистичная объемная модель.

Ортофотоплан позволяет определить габаритные характеристики в ортогональной проекции, а получаемый масштаб изображения делает возможным представление большой площади подводного объекта без потери разрешающей способности. Последнее позволяет специалисту по внешним признакам подробно изучить состояние подводного объекта, степень коррозии элементов корпуса, обнаружить следы внешнего воздействия от якорей, рыболовецких снастей, посторонних предметов, а также спланировать потребный объем подводно-технических работ (ПТР). Изучая представляющие культурную ценность объекты, можно проанализировать содержимое палубы, оценить степень сохранности, конструктивные особенности найденного объекта и обстановку вокруг него. Это в значительной степени делает безопасным проведение ПТР водолазами или аппаратами, которые, погружаясь под воду, уже имеют информацию об объекте и реперных точках и легче ориентируются в зоне проведения работ, что особенно важно на больших глубинах и в условиях сниженной видимости.

Полноценная объемная модель подводного объекта позволяет получить необходимую информацию о его внешнем состоянии, изучить и оценить степень коррозионного износа корпусных элементов конструкции, обнаружить и исследовать имеющиеся повреждения для оптимального планирования ПТР. В сравнении с длительным просмотром

¹ Краснопевцев Б. В. Фотограмметрия: Учебное пособие по фотограмметрии для студентов 3 курса специальности «картография». М.: МИИГАиК, 2008. 161 с.

² Diving into underwater photogrammetry. Pix4D, April 20, 2017 [Эл. ресурс]. URL: <https://www.pix4d.com/blog/diving-into-underwater-photogrammetry/> (посл. посещение: 11.04.2024).

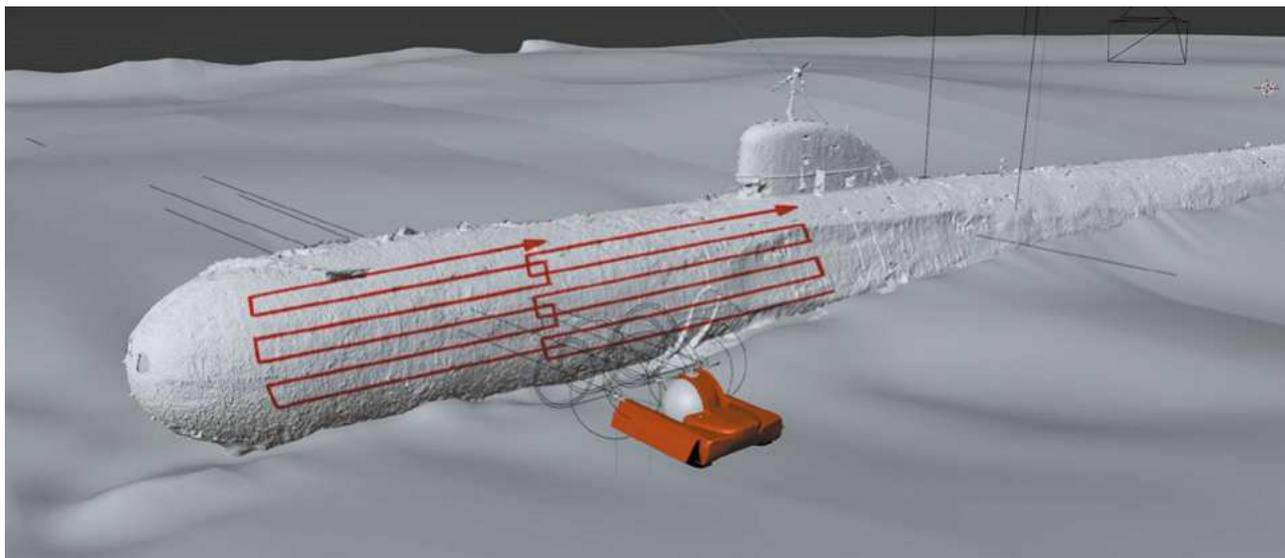


Рис. 1. Траектория съемки

видеоматериалов объемная модель позволяет осуществить оперативное и точное прогнозирование объема подводных работ. Например, при авариях на подводных инфраструктурных объектах детализированная модель в значительной степени упрощает и ускоряет процесс создания специального инструмента / ремонтного набора для срочного устранения повреждений и ликвидации последствий аварии. В случаях подводных работ, предусматривающих судоподъемные операции, объемная модель является основой для выбора методов осуществления подъема и проведения необходимых расчетов.

Технология трехмерного моделирования методом фотограмметрии при правильной съемке позволяет оценить истинные размеры и получить текстуру объекта с высокой степенью детализации, вместе с тем уступает лазерному 3D-сканированию по точности передачи формы и размерам объекта съемки. При этом обе технологии можно использовать совместно, тем самым упростив и ускорив процесс создания объемных и сложных моделей³.

Актуальность подводной фотограмметрии обусловлена требованиями постоянного контроля состояния, оценки повреждений, износа и дальнейшего обслуживания подводных объектов. В привязке к объектам культурного наследия позволяет вести учет

состояния и архивировать накопленные данные об объекте⁴.

Описание метода проведения ФГМ-съемки и обработки

Основным принципом проведения съемки водолазом или подводным аппаратом (ОПА, ТНПА, АНПА) является накопление большого массива получаемых фото- и видеоматериалов (исходных данных). Схема съемки представляет собой движение по заданной траектории, обычно галсами, со специальной системой светочувствительных камер и светильников (см. рис. 1). Оператору необходимо соблюдать траекторию и контролировать захватываемый кадр для обязательного условия по перекрытию соседних фотоснимков, при этом ориентироваться в условиях плохой видимости и делать это с соблюдением всех правил безопасности. Объем затраченного времени на проведение съемки оценивается в несколько дней, при этом существует множество факторов, которые нужно учитывать при расчете временных затрат: смена оттенка воды и ее прозрачности, наличие объектов флоры и фауны, попадающих на фотоснимок, и т. д.

В условиях отсутствия естественного освещения, наличия взвешенных частиц в толще воды, сезонного цветения и ограниченного времени, проводимого под водой, качество

³ LiDAR: what it is, and how it is useful for photogrammetry. Pix4D, January 6, 2021 [Эл. ресурс]. URL: <https://www.pix4d.com/blog/lidar-photogrammetry/> (посл. посещение: 11.04.2024).

⁴ 3D мемориалы. Виртуальный музей «Поклон кораблям великой победы» [Эл. ресурс]. URL: <https://poklonexpedition.com/3d/> (посл. посещение: 11.04.2024).

получаемых исходных фото- и видеоматериалов недостаточно для дальнейшей обработки единым массивом данных. Специалисты ЦПИ РГО совершенствуют методы и способы получения исходных данных:

1. Увеличение количества исходных данных: использование нескольких устанавливаемых на аппарат камер с общим перекрытием захватываемого изображения в кадре (между камерами) 50–60 %⁵. В некоторых случаях (например, если объект возвышается над грунтом) камеры могут быть сориентированы в портретный режим. При выполнении съемки с помощью ОПА имеется возможность установки внутри обитаемого акрилового корпуса дополнительной камеры (см. рис. 2), на которую фотофиксация производится специалистом на борту ОПА, вручную контролируя параметры получаемых данных.

2. Усовершенствование оборудования для съемки: применяемая фото- и видеоаппаратура должна соответствовать современным стандартам светосилы, шумоподавления, разрешения и другим параметрам, которые напрямую влияют на качество получаемых исходных данных. При установке автономных камер на аппарат (см. рис. 3) и отсутствии

возможности настраивать параметры в реальном времени целесообразно вести видеозапись с функцией автофокуса на светочувствительные объективы (f/1.2–1.8) и с разрешением 3840 x 2160 пикселей (формат 4К).



Рис. 2. Камера, установленная внутри ОПА



Рис. 3. Автономная камера ЦПИ РГО

⁵ Marre G., Holon F., Luque S., Boissery P., Deter J. Monitoring Marine Habitats With Photogrammetry: A Cost-Effective, Accurate, Precise and High-Resolution Reconstruction Method. *Frontiers in Marine Science*, May 24, 2019, vol. 6, 15 p. DOI: [10.3389/fmars.2019.00276](https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00276)

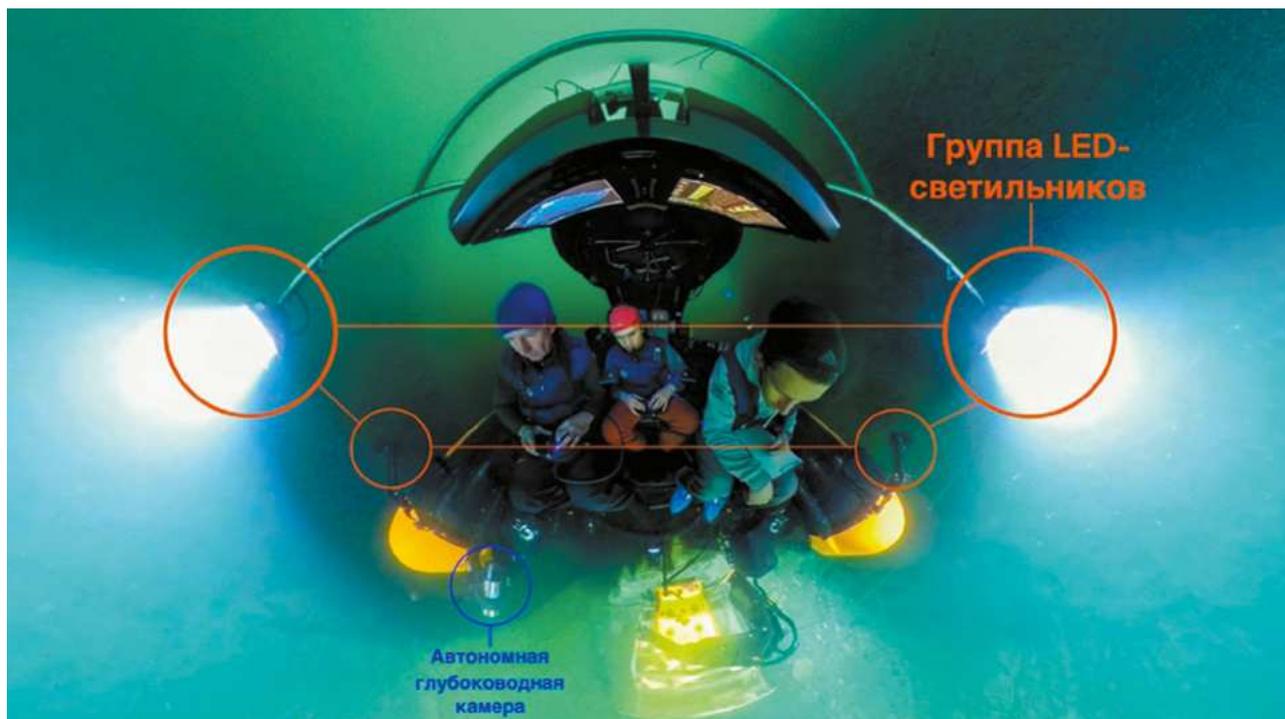


Рис. 4. Дополнительное светодиодное освещение

3. Использование дополнительных светодиодных светильников. Возможность размещения дополнительного светодиодного освещения на конструкциях и специальных рамах как на подводных аппаратах (см. рис. 4), так и у водолазов-операторов в значительной степени улучшает качество получаемых исходных материалов, добавляя изображению яркость при отсутствии шумов, насыщенность и контраст.

4. Использование маркеров. При заилённости объекта съёмки или наличии однородной структуры программное обеспечение с меньшей вероятностью определит ключевые точки (компоненты связности). Для повышения определения точек связности применяются маркеры, разбросанные по всей площади объекта (см. рис. 5). В их роли выступает гидроксид кальция — это безвредные и полностью растворимые в воде гранулы ярко-белого цвета. Высокая контрастность маркеров позволяет закрепить компоненты связности между собой на подводном объекте и в результате получить более наполненную модель.

5. Гидроакустические съёмки объекта. При наличии гидроакустических данных об объекте можно заранее схематично спланировать траекторию движения подводного аппарата, опираясь на доступное время проведения работ под водой и площадь захватываемого



Рис. 5. Гидроксид кальция (белые точки) на однородной поверхности судна

изображения с камер(ы). К таким данным относятся: облако точек поверхности и батиметрический планшет, полученный с помощью многолучевого эхолота, а также контрастное ч/б изображение с ГБО (см. рис. 6).

Этап постобработки полученных исходных данных

Массив данных, полученный после съемки объекта, преобразуется из видеоматериалов в раскадрованные фотоизображения и проходит несколько этапов обработки, включающих:

1. Снижение шума. С развитием метода расчетов при помощи нейросетей (основан на модели функционирования мозга) стали разрабатывать ПО на их основе. Сейчас существуют программы (Toraz LABS), которые с высокой эффективностью, отвечающей требованиям для ФГМ, упрощают обработку объемных массивов данных.

2. Цветокоррекция. Увеличение контраста и насыщенности полученных фотографий. Обработка аналогична с предыдущим этапом — используется ПО на основе нейросетей.

При больших объемах исходных данных использование таких программ показало высокую эффективность в количестве и качестве трудозатрат специалиста по постобработке. Однако для использования такого ПО необходимы мощные многоядерные рабочие станции (персональные компьютеры) и периодический объективный контроль специалиста.

Следующим этапом обработки является загрузка предварительно обработанных фотографий в специализированное ПО (Agisoft Metashape), в котором осуществляются такие процессы, как:

1. Выравнивание камер. После загрузки изображений в ПО необходимо определить положение и ориентацию камеры каждого кадра для построения разреженного облака точек (см. рис. 7). По окончании процедуры выравнивания становится доступно для просмотра положение камер и разреженное облако точек. В случае если ПО выявило неправильное позиционирование одной или нескольких камер, выравнивание для таких камер осуществляется вручную.

Специалист вручную расставляет маркеры на ключевых (контрастных) точках на кадрах, где эта точка присутствует (см. рис. 8).

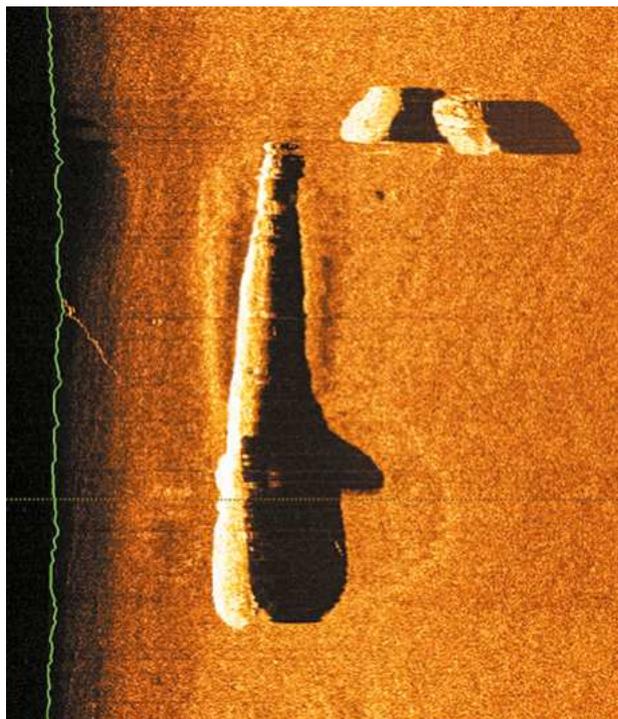


Рис. 6. Изображение ПЛ с ГБО

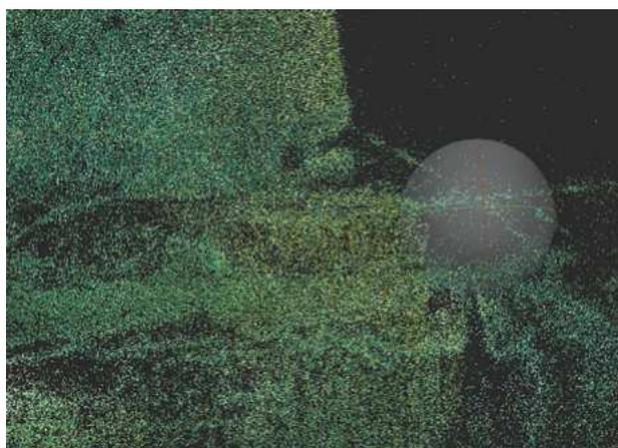


Рис. 7. Разреженное облако точек



Рис. 8. Маркеры на изображении при обработке

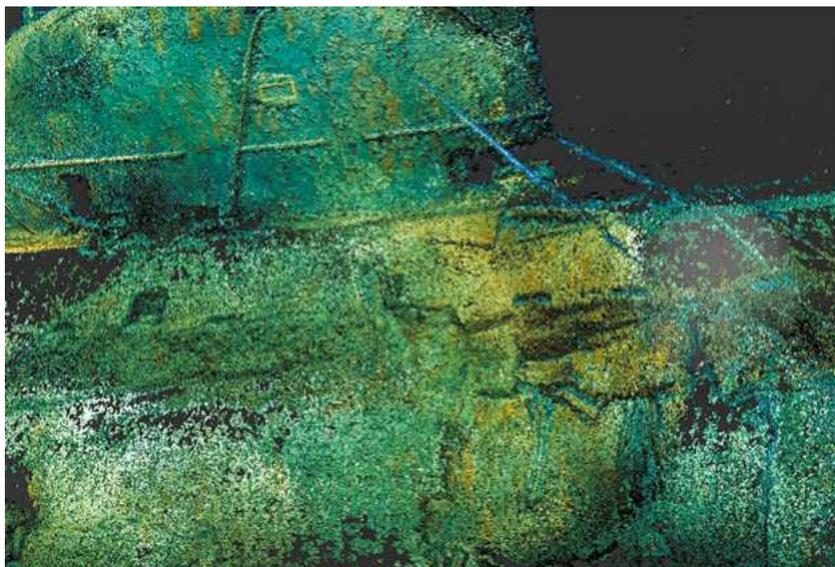


Рис. 9. Плотное облако точек

Процесс является длительным ввиду обработки иногда нескольких десятков тысяч изображений. В среднем ПО выявляет около 50 % от имеющихся на изображениях точек, остальные проценты накапливаются **вручную**.

2. Построение плотного облака точек. Основываясь на рассчитанных положениях камер, программа вычисляет карты глубины для каждой камеры и на их основе строит плотное облако точек (см. рис. 9). Как правило, генерируются очень плотные облака точек: такие же плотные, как у системы LiDAR. Плотное облако точек может быть отредактировано и классифицировано, а также использовано для построения полигональной модели, карты высот или тайловой модели. Также плотное облако может быть экспортировано для дальнейшего анализа в других приложениях⁶.

3. Построение объемной модели и ее текстуризация. На основе плотного облака точек ПО создает объемную 3D-модель с возможностью тонкой настройки интерполирования, текстуризации и т.д. Однако при экспорте моделей создаются единичные части объекта, поскольку в процессе выравнивания фотографий не удается связать весь объект в единое целое.

Для того чтобы собрать объект в целостном представлении, **необходимо проходить все этапы обработки заново** с изменением отдельных параметров и свойств исходных данных,

от чего существенно возрастают временные затраты на получение результата. После получения отдельных моделей и частей объекта далее следует процесс ручного склеивания и сшивания их в программах для создания трехмерной компьютерной графики (Blender 3D). За основу в качестве подложки берутся данные, полученные с помощью гидроакустической съемки: это необходимо для соблюдения масштаба и точностных параметров.

Взвесь в толще воды, поднятый ил со дна, флора и фауна подводной среды — все это оказывает отрицательное воздействие на возможность собрать модель в единую компонентную связность. Наиболее сложной акваторией для проведения ФГМ-съемки, где осуществляют свою деятельность специалисты ЦПИ РГО, является Финский залив, в некоторых местах которого видимость может достигать максимум 30 см.

Результаты

Подводная фотограмметрия широко используется ЦПИ РГО для подводной археологии, а также при осуществлении подводно-технических работ на различных подводных объектах:

- объектах культурного наследия;
- экологический мониторинг на техногенных объектах;
- объектах подводной нефтегазовой сферы;
- гидротехнических сооружениях.

⁶ Руководство пользователя Agisoft Metashape: Профессиональная версия, версия 2.0. Agisoft [Эл. ресурс]. URL: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_ru.pdf (посл. посещение: 11.04.2024).

Пример полученной объемной модели АПЛ проекта 627А (см. рис. 10, 11), выполненной в рамках работ по радиационному обследованию совместно с НИЦ «Курчатовский институт» в 2022 году. Глубина проводимых работ — 250 м, работы производились с помощью ОПА и ТНПА.

Набор исходных фото и видеоизображений занял суммарно 24 часа. Получено более 10 000 фотографий, их обработка и склейка модели заняли 1 календарный месяц ввиду плохого качества фотоснимков, причиной которого стал мелкодисперсный грунт, поднимающийся в виде облака из-за работающих двигателей аппаратов.

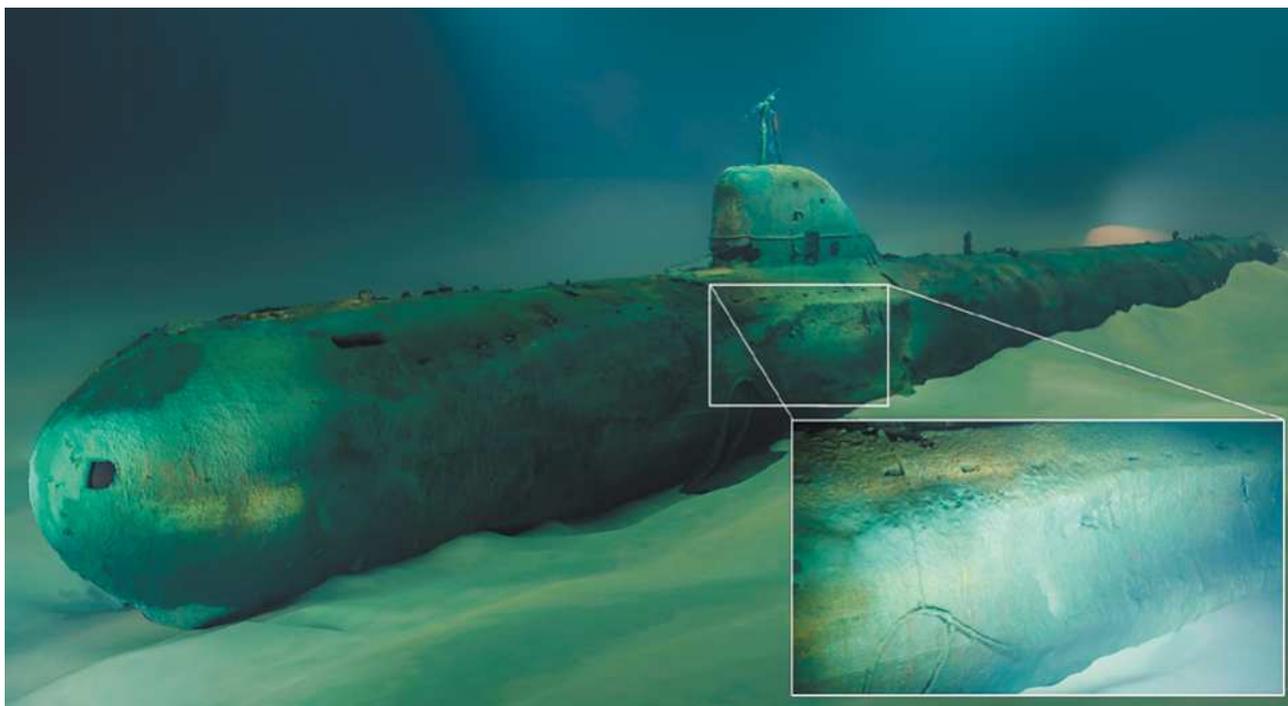


Рис. 10. Объемная модель АПЛ проекта 627А

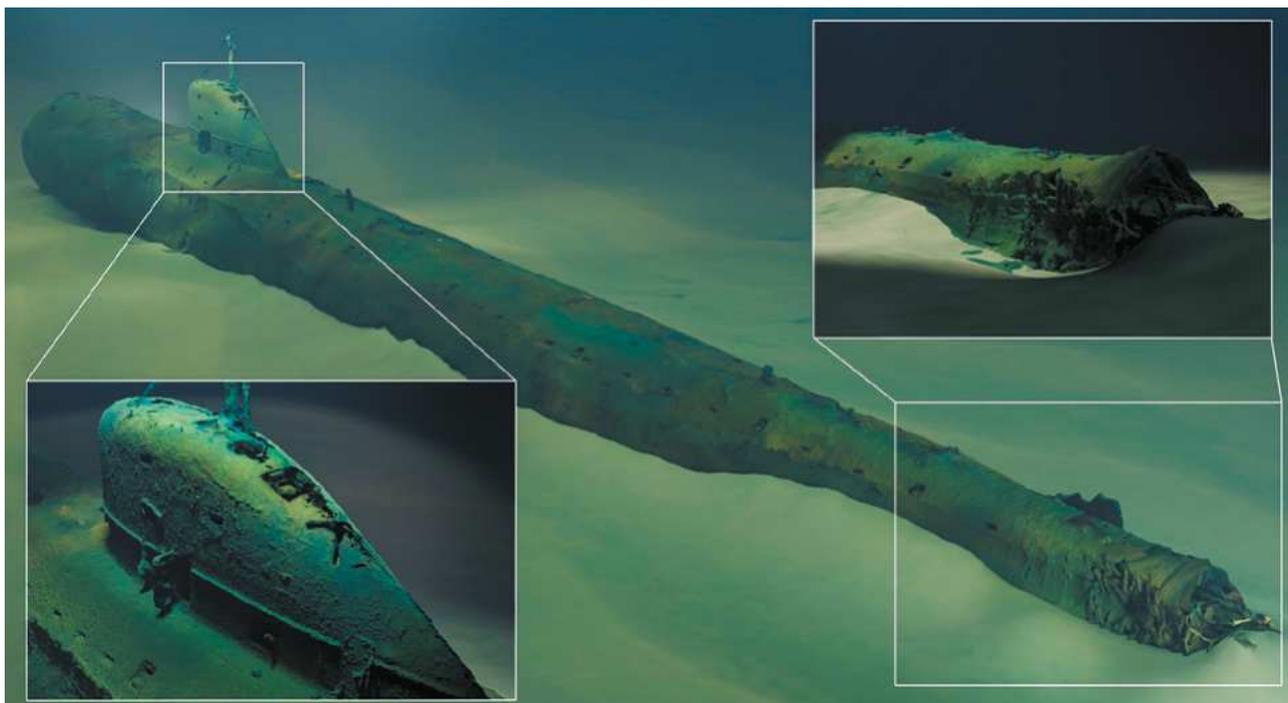


Рис. 11. Объемная модель АПЛ проекта 627А

Пример полученной объемной модели американской подводной лодки Herring (см. рис. 12, 13). Глубина проводимых работ — 100 м, работы производились на ОПА.

Суммарное количество снимков — 10 000, на постобработку и склейку затрачено 15 суток. Ввиду удовлетворительной

видимости и малого количества ила процесс создания объемной модели занял сравнительно непродолжительное время.

Пример полученной объемной модели деревянного судна 18 века «Канонерский баркас 8» (см. рис. 14, 15). Глубина проводимых работ — 30 метров.



Рис. 12. Объемная модель ПЛ Herring



Рис. 13. Объемная модель ПЛ Herring



Рис. 14. Объемная модель деревянного судна «Канонерский баркас 8»



Рис. 15. Объемная модель деревянного судна «Канонерский баркас 8»

Работы производились водолазами-операторами и ТНПА. Суммарное количество снимков — 8 000, обработка ввиду плохой видимости (в районе 30 см) заняла 1 календарный месяц.

Заключение

При анализе объемных моделей повреждения, малейшие детали и особенности объекта позволяют профильным специалистам

уже на суше, используя компьютер и соответствующее ПО, оценить повреждения, коррозию и другие характеристики подводного объекта, а также рассчитать объем необходимых подводно-технических работ.

При помощи подводных аппаратов (ОПА, ТНПА, АНПА) с потенциалом их дооснащения специальным оборудованием для фотограмметрии появляется возможность съемки без участия водолазов. При этом по временным затратам и качеству получаемых материалов, а также безопасности для человека использование подводных аппаратов является предпочтительным способом проведения съемки.

Технология получения объемных фотореалистичных моделей подводных объектов требует совершенствования. Существует множество факторов, затрудняющих получение исходных данных, необходимых для постоянного построения моделей: отсутствие отечественных аналогов программного обеспечения для обработки ФГМ, недоступность иностранных и отсутствие обновлений уже имеющихся в использовании продуктов (Agisoft Metashape). Подводная фотограмметрия у иностранных

компаний, деятельность которых связана с подводными работами, уверенно популяризируется и совершенствуется, что в свою очередь доказывает актуальность развития данного направления работ в мире.

Также стоит отметить, что дальнейшее развитие фотограмметрии и получение минимальных погрешностей в измерении габаритных характеристик возможно с применением технологии лазерного сканирования (LiDAR) — измерение расстояний путем излучения света и замера времени возвращения света обратно.

В привязке к модели данный метод позволяет проводить измерения с точностью до миллиметров, получая истинные габариты во всех измеряемых плоскостях. Практическое применение LiDAR под водой — редкое явление, однако единичные иностранные компании **уже пользуются этой технологией**. Развитие данного направления и интеграция на НПА необходима для упрощения и получения точностных характеристик подводных объектов, что в значительной степени уменьшит трудозатраты и повысит эффективность проведения подводно-технических работ.

Изображения предоставлены авторами, из архива ЦПИ РГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Краснопевцев Б. В. Фотограмметрия : Учебное пособие по фотограмметрии для студентов 3 курса специальности «картография». М.: МИИГАиК, 2008. 161 с.
2. Marre G., Holon F., Luque S., Boissery P., Deter J. Monitoring Marine Habitats With Photogrammetry: A Cost-Effective, Accurate, Precise and High-Resolution Reconstruction Method. *Frontiers in Marine Science*, May 24, 2019, vol. 6, 15 p. DOI:10.3389/fmars.2019.00276
3. Руководство пользователя Agisoft Metashape: Профессиональная версия, версия 2.0. Agisoft [Эл. ресурс]. URL: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_ru.pdf (посл. посещение: 11.04.2024).
4. Diving into underwater photogrammetry. Pix4D, April 20, 2017 [Эл. ресурс]. URL: <https://www.pix4d.com/blog/diving-into-underwater-photogrammetry> (посл. посещение: 11.04.2024).
5. LiDAR: what it is, and how it is useful for photogrammetry. Pix4D, January 6, 2021 [Эл. ресурс]. URL: <https://www.pix4d.com/blog/lidar-photogrammetry> (посл. посещение: 11.04.2024).
6. 3D мемориалы. Виртуальный музей «Поклон кораблям великой победы» [Эл. ресурс]. URL: <https://poklonexpedition.com/3d> (посл. посещение: 11.04.2024).

REFERENCES

1. Krasnopevcev B. V. *Fotogrammetriya : Uchebnoe posobie po fotogrammetrii dlya studentov 3 kursa special'nosti "kartografiya"* [Photogrammetry: a textbook on photogrammetry for 3rd year students of the specialty "Cartography"]. Moscow, MIIGAIK, 2008, 161 p. (In Russ.)
2. Marre G., Holon F., Luque S., Boissery P., Deter J. Monitoring Marine Habitats With Photogrammetry: A Cost-Effective, Accurate, Precise and High-Resolution Reconstruction Method. *Frontiers in Marine Science*, May 24, 2019, vol. 6, 15 p. DOI:10.3389/fmars.2019.00276

3. *Rukovodstvo pol'zovatelya Agisoft Metashape. Professional'naya versiya, versiya 2.0* [Agisoft Metashape user manual. Professional version, version 2.0]. Agisoft [Digital resource]. URL: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_0_ru.pdf (last visit: 11.04.2024).
4. Diving into underwater photogrammetry. Pix4D, April 20, 2017 [Digital resource]. URL: <https://www.pix4d.com/blog/diving-into-underwater-photogrammetry> (last visit: 11.04.2024).
5. LiDAR: what it is, and how it is useful for photogrammetry. Pix4D, January 6, 2021 [Digital resource]. URL: <https://www.pix4d.com/blog/lidar-photogrammetry> (last visit: 11.04.2024).
6. 3D memorialy. Virtual'nyj muzej "Poklon korablyam velikoj pobedy" [3D memorials. Virtual Museum "Bow to the ships of great victory"] [Digital resource]. URL: <https://poklonexpedition.com/3d> (last visit: 11.04.2024).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анищенко Вадим Алексеевич, оператор подводных комплексов АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А).
e-mail: v.anishenko@urc-rgs.ru

Кичко Степан Александрович, начальник проектно-инженерного отдела АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А).
e-mail: office@urc-rgs.ru

Лобынцев Владимир Васильевич, доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (Россия, 127055, г. Москва, ул. Новосущевская, д. 22, стр. 1)
e-mail: lobzik-v@yandex.ru

Фокин Сергей Георгиевич, исполнительный директор АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А).
e-mail: office@urc-rgs.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anishchenko Vadim Alekseevich, ROV Pilot, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).
e-mail: v.anishenko@urc-rgs.ru

Kichko Stepan Aleksandrovich, Head of Project and Engineering Department, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).
e-mail: office@urc-rgs.ru

Loby'ncev Vladimir Vasil'evich, Associate Professor of Department of Electrical Engineering of Transport at the Institute of Transport Technologies and Control Systems of the Russian University of Transport (ul. Novoschevskaya, d. 22, building 3, Moscow, 127055, Russia)
e-mail: lobzik-v@yandex.ru

Fokin Sergey Georgievich, Executive Director, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).
e-mail: office@urc-rgs.ru

Поступила в редакцию 11.09.2023
Поступила после рецензирования 15.03.2024
Принята к публикации 30.04.2024

Received 11.09.2023
Revised 15.03.2024
Accepted 30.04.2024

ТЕХНИКА / ТЕХНОЛОГИИ | TECHNOLOGY / TECHNOLOGIES

Оригинальная статья | Original paper

DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-97-110

УДК 626.02: 627.02



ВОДОЛАЗНЫЙ КОМПЬЮТЕР И ПРАВИЛА ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВОДОЛАЗНЫХ РАБОТ

П. В. Кошкин  , М. В. Краморенко  , А. М. Ярков  

АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
 office@urc-rgs.ru

Аннотация

Водолазные компьютеры нашли широкое применение при водолазных спусках в автономном снаряжении не только за рубежом, но и в нашей стране. Развитие водолазных компьютеров продолжается, они совершенствуются и позволяют выбирать адекватный режим декомпрессии с учетом фактических условий каждого водолазного спуска. Действующие Правила по охране труда при проведении водолазных работ и Правила водолажной службы Военно-Морского Флота (далее — Правила) требуют при выборе режимов декомпрессии использовать только таблицы. Таблицы декомпрессии статичны и являются дискретными. Использование таблиц имеет ряд недостатков. Водолазный компьютер способен рассчитывать и корректировать режим декомпрессии в процессе водолазного спуска. Водолазные компьютеры оказались вне правового поля. Налицо противоречие между техническим прогрессом и существующими руководящими документами по водолазному делу. Опыт проведения водолазных работ в ЦПИ РГО в течение последних пяти лет с использованием для обеспечения безопасности рискориентированного подхода показывает, что сложившаяся ситуация может быть решена внесением изменений в Правила при их переработке и пересмотре в 2025 году.

Ключевые слова

водолаз, водолазный компьютер, профиль водолазного спуска, выбор режима декомпрессии, правила по охране труда

Для цитирования

Кошкин П. В., Краморенко М. В., Ярков А. М. Водолазный компьютер и Правила по охране труда при проведении водолазных работ // Гидрокосмос. 2024. Т. 2, 1. № 5–6. С. 97–110. DOI: [10.24412/2949-3838-2024-56-97-110](https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-97-110)

DIVE COMPUTER AND OCCUPATIONAL SAFETY RULES DURING DIVING OPERATIONS

P. V. Koshkin  , M. V. Kramorenko  , A. M. Yarkov  

ANO “Underwater Research Center of the Russian Geographical Society,”
St. Petersburg, Russian Federation
 office@urc-rgs.ru

Abstract

Dive computers have found widespread use in autonomous diving equipment, both overseas and in this country. Dive computers are constantly being upgraded,

allowing for the selection of an appropriate decompression mode based on the actual conditions of each dive. The current Rules on Occupational Safety in Diving Operations [1] and Navy Diving Rules [2] (collectively referred to as the Rules) require the use of only tables when choosing decompression modes. Decompression tables are static and discrete. The use of tables has a number of drawbacks. A dive computer is capable of calculating and adjusting the decompression mode during the dive. Dive computers operate outside the legal framework. There is a contradiction between technological progress and existing regulatory documents on diving. The experience of conducting diving operations at the Underwater Research Center of the Russian Geographical Society over the past five years using a risk-based approach to ensure safety shows that the current situation can be addressed by making changes to the Rules during their revision in 2025.

Keywords diver, dive computer, dive profile, decompression mode selection, Occupational Safety Rules

For citation Koshkin P. V., Kramorenko M. V., Yarkov A. M. Dive computer and occupational safety rules during diving operations. *Hydrocosmos*. 2024. Vol. 2, 1, no. 5–6, pp. 97–110. DOI: [10.24412/2949-3838-2024-56-97-110](https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-97-110) (In Russ.)

Особенности физиологии человека, находящегося под повышенным давлением водной или газовой среды, приводят к необходимости проведения адекватной декомпрессии. При понижении окружающего давления растворенные в крови и тканях водолаза индифферентные газы должны выводиться без образования пузырьков свободного газа, нарушающих нормальную работу организма в целом и приводящих к декомпрессионной (кессонной) болезни. Для предупреждения декомпрессионной болезни предназначены таблицы декомпрессии, приведенные в руководящих документах по водолазному делу. В нашей стране для водолазов, состоящих в трудовых отношениях с работодателями, применяют таблицы из Правил по охране труда при проведении водолазных работ (Приказ Минтруда России от 17.12.2020 № 922н)¹, для водолазов-военнослужащих — из Правил водолазной службы Военно-Морского Флота (ПВС ВМФ-2002)² (далее — Правила). Водолазы, спускающиеся под воду для выполнения задач вне трудовых и непосредственно связанных с ними отношений, пользуются либо вышеуказанными, либо зарубежными таблицами декомпрессии,

либо проводят декомпрессию по данным (рекомендациям) водолазных компьютеров, как правило, зарубежного производства.

Основное свойство и одновременно недостаток таблиц декомпрессии — статичность. Режим декомпрессии выбирают по таблице, «входя» в нее с глубиной водолазного спуска и экспозицией на грунте. Изменения глубины в процессе водолазного спуска не учитывают, считая глубину пребывания водолаза постоянной. Время компрессии засчитывают в экспозицию на грунте, что является преднамеренной «ошибкой в безопасную сторону». При глубоководных водолазных спусках в экспозицию включают половину времени, затраченного на достижение глубины³. Таблица указывает глубину и время перехода для первой декомпрессионной остановки, шаг декомпрессии и время нахождения на каждой последующей остановке. Полученные данные обязательны для исполнения. Любое отклонение от параметров таблицы ведет к неадекватной декомпрессии и запрещено Правилами. Отдельно указан порядок действий в случае нарушения режима декомпрессии, когда водолаз по каким-либо причинам или пропускает одну-две декомпрессионные остановки, или поднимается на поверхность без декомпрессии, пропустив все остановки (такое возможно при

¹ Правила по охране труда при проведении водолазных работ : утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н. М.: МОРКНИГА, 2022. 222 с.

² Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002 : утверждены приказом главного командующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

³ Правила водолажной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002 : утверждены приказом главного командующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

выбросе водолаза или «аварийном» всплытии). В результате из таблиц выбирается другой режим декомпрессии, действия по которому или устраняют последствия ошибки, или смягчат их для водолаза. Характерно, что не водолаз выбирает адекватный условиям спуска режим декомпрессии, а лицо, осуществляющее медицинское обеспечение. За реализацию режима декомпрессии и его выполнение отвечает руководитель (командир) водолазного спуска. Водолаз на подготовительном этапе водолазного спуска лишь знакомится с параметрами предстоящей декомпрессии: экспозицией на грунте, предполагаемой глубиной первой остановки и общим временем декомпрессии. С точки зрения реализации режима декомпрессии водолаз является исполнителем и действует по командам с поверхности. Именно такой порядок декомпрессии предусмотрен Правилами. Разработаны и применяются на практике таблицы для особых случаев, таких как условия высокогорья, повторные в течение дня спуски под воду, задержка водолаза на грунте в аварийной ситуации⁴, использование искусственных газовых смесей⁵, в том числе 40 % КАС, и других. При проведении глубоководных водолазных спусков четко регламентирована в случае необходимости замена в процессе декомпрессии искусственной дыхательной газовой смеси на смесь с большим процентным содержанием кислорода или на воздух.

При автономных спусках под воду водолазы-любители сами выбирают и реализуют режим декомпрессии, что требует понимания и выполнения ими определенных правил. Не связанные трудовыми взаимоотношениями с работодателем, эти водолазы берут на себя все риски, сопряженные со спуском под воду. В качестве компенсирующих мер для снижения риска получения декомпрессионных расстройств принимаются наличие и умение пользоваться таблицами декомпрессии или водолазным компьютером, а также тщательное планирование предстоящего спуска под воду с учетом многих факторов.

⁴ Правила по охране труда при проведении водолазных работ : утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н. М.: МОРКНИГА, 2022. 222 с.; Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002: утверждены приказом главнокомандующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

⁵ ПВС ВМФ-2002. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

Существует понятие профиля водолазного спуска — график изменения глубины нахождения водолаза во времени. Профиль подразделяют на предварительный (планируемый) и реализованный (фактический). При использовании водолазного компьютера в режиме планировщика погружений можно получить профиль водолазного спуска, рекомендованный для применения. После спуска под воду компьютер позволяет визуализировать изменения глубины. Это очень удобно для планирования и последующего разбора каждого спуска под воду. В настоящее время в России, согласно действующим нормативным документам по водолазному делу, в условиях жесткой регламентации процесса декомпрессии с применением таблиц само понятие «профиль водолазного спуска» не имеет практического смысла. В зарубежной практике все водолазы, в том числе обучаемые водолазному делу (на профессиональном уровне или нет), имеют понятие о профиле и осваивают его практическое применение.

Интересно сравнить профили водолазного спуска, проводимого с использованием водолазного компьютера, с аналогичным спуском, в котором декомпрессия водолазов предполагается с применением таблиц (см. рис. 1–3).

В качестве примера рассмотрим некий водолазный спуск на глубину 40 м при дыхании воздухом с экспозицией на грунте 45 мин. В таблицу декомпрессии «входим» с этими параметрами, при этом таблица существует только для глубины 42 м и экспозиции 45 мин. (приложение 10 к Правилам⁶). На выбор режима декомпрессии влияет и натренированность водолаза. Малотренированных водолазов предписывается выводить по удлиненному режиму (столбец вправо). Для тренированных и для нетренированных водолазов графики декомпрессии, построенные по данным таблицы, представлены кривыми на рисунках 1 и 2.

Предварительный профиль водолазного спуска, рассчитанный с помощью водолазного компьютера, представлен кривыми на рисунке 3. При использовании для расчета алгоритма Бульмана ZHL-16С, градиент-факторная модель, 16 тканей в модификации

⁶ Правила по охране труда при проведении водолазных работ : утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н. М.: МОРКНИГА, 2022. 222 с.



Рис. 1. Графики декомпрессии для тренированных водолазов по таблицам



Рис. 2. Графики декомпрессии для нетренированных водолазов по таблицам



Рис. 3. Графики декомпрессии по данным водолазного компьютера

Эрика Бейкера⁷, очевидно, что все графики декомпрессии расположены в зоне между кривыми с коэффициентом градиента 100/100 (GF 100/100 — самый «жесткий» режим декомпрессии) и GF 0/10 (самый «мягкий» режим, не имеющий практического смысла в силу своей продолжительности). Компьютерная программа способна рассчитать режим декомпрессии с любым коэффициентом градиента.

Понятие коэффициента градиента было введено Эриком Бейкером (Erik Baker) в алгоритм Бульмана, чтобы дать понимание, как близко профиль декомпрессии (снижения давления) будет приближаться к рассчитанной M-оценке, то есть к максимально допустимой разнице между напряжением газа в тканях и внешним давлением (в зависимости от глубины и типа ткани). Рассчитанная математически M-оценка не учитывает индивидуальные особенности организма человека, характер водолазного спуска, факторы тренированности водолаза, температуры воды и другие, поэтому возникает значительный риск развития декомпрессионной

болезни. С технической точки зрения коэффициент градиента — это параметр, вводимый в настройки водолазного компьютера для «смягчения» режима декомпрессии.

Градиент-факторная (GF) модель является наиболее гибким алгоритмом для расчета режимов декомпрессии с использованием воздуха, кислородно-азотных и кислородно-азотно-гелиевых смесей. GF-модель способствует аргументированному выбору «глубоких остановок» (декомпрессионных выдержек на больших глубинах) в зависимости от насыщения тканей и используемых дыхательных газовых смесей. Если установить GF 100/100, получится математически рассчитанный алгоритм M-оценки в чистом виде без каких-либо глубоких остановок. При установке GF 0/0 время декомпрессии стремится к бесконечности. Два параметра GF обычно записываются как «нижний GF % / верхний GF %» или GF 20/80, где 20 % — нижний GF, а 80 % — верхний GF⁸.

⁷ Bühlmann A. A., Völlm E. B., Nussberger P. Tauchmedizin; Barotrauma, Gasembolie, Dekompression, Dekompressionskrankheit, Dekompressionscomputer. Berlin, Springer, 2002, 253 p. ISBN 978-3-642-62753-8

⁸ Зверев Д. П., Бычков С. А., Мясников А. А., Ярков А. М., Хаустов А. Б., Кленков И. Р., Фокин С. Г. Возможности ультразвуковых способов в диагностике декомпрессионной болезни // Морская медицина. 2021. Т. 7. № 4. С. 75–83.

При проведении экспериментальных водолазных спусков в ЦПИ РГО обычно применялись GF 10/80 и GF 30/70, которые давали приемлемый режим декомпрессии с точки зрения предупреждения декомпрессионных расстройств и ограничения пребывания водолазов в холодной воде. В рассматриваемом примере общее время декомпрессии отличается незначительно (см. рис. 3).

Характерно, что графики «табличных» режимов декомпрессии как для тренированных, так и для нетренированных водолазов расположены в зоне между кривыми GF 100/100 и GF 0/10, рассчитанными с помощью компьютерной программы (см. рис. 1, 2). При использовании водолазного компьютера в режиме планировщика водолазных спусков при построении профиля водолазного спуска программа дополнительно выводит на экран ориентировочный график процесса насыщения/рассыщения организма индифферентными газами, показанный на рисунках 1–3 пунктирными линиями (визуализация процесса насыщения/рассыщения). Для наглядности на рисунках 1–3 показаны эти кривые и для режимов декомпрессии, выбранных по таблицам.

Как известно, выбрать адекватный условиям водолазного спуска режим декомпрессии — это только полдела. Реализация режима на практике — куда более сложная задача.

По данным таблиц декомпрессии, руководителю водолазных спусков становятся известны: глубина первой декомпрессионной остановки, время перехода на нее, шаг декомпрессии (3 м) и время выдержек на последующих остановках. Глубина нахождения водолаза должна выдерживаться с точностью ± 1 м, время перехода на очередную декомпрессионную остановку засчитывается как пребывание на ней, а выход с последней декомпрессионной остановки на поверхность должен быть осуществлен не менее чем за 1–3 мин.

Одним из способов сокращения времени воздействия на водолаза охлаждающего фактора водной среды является декомпрессия на поверхности, применение которой в настоящее время для водолазов-профессионалов практически невозможно. Правила⁹ предусма-

тривают такой порядок действий, но в опубликованных таблицах отсутствуют «звездочки» как таковые. Звездочкой в таблице декомпрессии отмечена глубина, с которой после выдержки на ней водолаз может быть поднят на поверхность, минуя все декомпрессионные остановки, освобожден от водолазного снаряжения и помещен в барокамеру для продолжения декомпрессии. При этом давление в барокамере поднимают до давления, соответствующего глубине, с которой он был извлечен на поверхность. Отмечено, что на эти действия отводится не более 5 мин. Предписано также декомпрессию в барокамере продолжать по удлинненному режиму после десятиминутной выдержки или без нее. В случае если водолаза подняли с остановки на глубине 6 м или выше, выдержка не делается. Следуя Правилам, руководитель водолазного спуска не имеет права сократить как-нибудь время нахождения водолаза под водой даже в случае необходимости, например, появления у водолаза признаков переохлаждения. Поднять водолаза на поверхность по п. 12 приложения 10, предписывающему действия на случай пропуска водолазом при подъеме с грунта одной-двух декомпрессионных остановок или всплытия на поверхность с пропуском всех остановок, связано с риском развития декомпрессионных расстройств. В Правилах существует некоторая неопределенность, связанная с формулировками: «как можно быстрее спустить на остановку, расположенную на 3 м глубже первой остановки...» и «перевести в барокамеру для проведения мероприятий по профилактике декомпрессионного заболевания». Приложение 8 никаких рекомендаций на этот случай не дает. Налицо несовершенство существующего руководящего документа.

В Правилах¹⁰ вопросы применения приведенных там таблиц декомпрессии проработаны четче и более понятны. Порядок действий расчета водолазной станции расписан и может быть ситуативно применен на практике (см. рис. 1, 2). Сами таблицы рабочей декомпрессии, кроме предназначенной для спусков в условиях высокогорья, имеют двухметровый шаг декомпрессии. Вместе с тем сам документ применим только для Военно-Морского Флота и частично для других силовых структур

⁹ Правила по охране труда при проведении водолазных работ : утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н. М.: МОРКНИГА, 2022. 222 с.

¹⁰ Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002 : утверждены приказом командующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

России, то есть носит ведомственный характер. Предназначение документа то же: то есть создание безопасных условий проведения водолазных работ для их участников.

В ходе водолазного спуска при декомпрессии, проводимой по таблицам, недостатки применения таблиц проявляются в полной мере. В декомпрессии участвуют руководитель (командир) водолазного спуска (непосредственное руководство процессом, выражающееся в отдаче команд), лицо, осуществляющее медицинское обеспечение (контроль и корректура режима по необходимости, выдача рекомендаций), сам водолаз (выполнение команд по переходу на очередную декомпрессионную остановку) и обеспечивающий водолаз [выборка кабель-шланговой связки (КШС) водолаза или сигнального конца, контроль скорости перехода водолаза на следующую остановку, доклады руководителю (командиру) водолазных спусков, доклады о продолжительности водолазного спуска]. Контроль нахождения водолаза на предписанной режимом глубине тоже непростая задача. Вариантов четкого соблюдения глубины остановки несколько: по маркам на КШС (сигнальном конце) водолаза, по маркам на спусковом конце (маркируется не от поверхности, а от грунта, что тоже может привести к ошибкам), по глубиномеру как наручному (у водолаза), так и пневматическому (если в состав КШС водолаза входит трубка глубиномера, соединенная с манометром на посту управления водолазными работами), по механическому счетчику троса спускоподъемного устройства водолазной беседки.

Кроме того, водолазные работы не всегда проводят в условиях отсутствия морского волнения. Каждая волна при прохождении над водолазом изменяет значение гидростатического давления вокруг него. Пусть и незначительно, но все же изменяет. В качестве примера можно привести события в Адлере в декабре 2016 года, когда на глубине около 20 м проводились масштабные работы по обследованию дна открытой акватории. Характер работ требовал проведения водолазных спусков при высоте волны около 1 м. Водолаз, особенно на декомпрессионных остановках 4 и 2 м, в полной мере испытывал на себе последствия прохождения волн, ощущал дополнительную нагрузку на организм, а работа водолазной станции проходила в сложной оперативной обстановке, связанной с необходимостью проведения декомпрессии на поверхности. В тех условиях работы были выполнены только благодаря

слаженным действиям расчета водолазной станции и были связаны с серьезными рисками, в первую очередь, с опасностью неадекватной декомпрессии.

Роль водолаза в процессе декомпрессии — исполнение команд и доклады по связи. Ответственность лежит на руководителе (командире) водолазных спусков, а за выбор и корректуру режима — на лице, осуществляющем медицинское обеспечение.

Фактическое насыщение организма водолаза индифферентными газами никак не учитывается, поскольку это лежит за областью решения задач водолазной станции. Нет признанных методик. Есть только «конечный продукт» — выбранная из соответствующей таблицы строка (столбец) декомпрессии. Особенно это проявляется при необходимости вести работы на затонувших объектах, где водолаз в процессе спуска меняет глубину, часть времени проводит у грунта, а другую на меньшей глубине. Правила¹¹ предписывают считать, что водолаз все время компрессии и изопрессии находится на максимальной глубине (на грунте). Это обстоятельство негативно влияет на эффективность водолазного труда, удлиняя продолжительность водолазного спуска, увеличивая время нахождения водолаза в холодной воде, повышая нагрузку на всех участников водолазных работ. Особенно это рельефно видно, если в качестве критерия эффективности проведения водолазных работ (Rэф.) ввести соотношение времени работы водолаза на объекте работ (Траб.) к общему времени водолазного спуска (Тобщ.):

$$R_{эф.} = \frac{\text{Траб.}}{\text{Тобщ.}} \quad (1)$$

Показательным примером явились водолазные работы, проведенные водолазами ЦПИ РГО в августе-сентябре 2021 г. в заливе Степового на архипелаге Новая земля¹².

¹¹ Правила по охране труда при проведении водолазных работ : утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н. М.: МОСКНИГА, 2022. 222 с.; Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002 : утверждены приказом главнокомандующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

¹² Александров С. А., Фокин С. Г., Краморенко М. В. Управление рисками при водолазных работах // Нептун XXI век. Водолазный проект. 2021. № 6 (129). С. 50–57.



Рис. 4. Водолаз в автономном водолазном снаряжении с ВДА с ЗСД и ЭУ при обследовании объекта в заливе Степового (архипелаг Новая Земля)

Затонувший объект находился на глубине 32 м, а глубина работы водолаза варьировалась от 21 м (на верхней палубе) до грунта. Водолазные работы велись двумя водолазными станциями: в шланговом водолазном снаряжении с борта экспедиционного судна, стоявшего на якорях, и в автономном водолазном снаряжении с водолазными дыхательными аппаратами с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением (ВДА с ЗСД и ЭУ). Водолазы в автономном снаряжении (см. рис. 4) работали парой в сопровождении маломерной надувной шлюпки, на которой располагался руководитель водолазного спуска, обеспечивающий водолаз и пост гидроакустической связи с водолазами. Спуски в автономном водолазном снаряжении носили экспериментальный характер и проводились по программе и методикам, разработанным в рамках научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы. Режим декомпрессии для водолаза в шланговом варианте выбирался по Правилам¹³, а для пары водолазов в автономном снаряжении — по данным водолазных компьютеров. Безопасность водолазных работ

в первом случае основывалась на неукоснительном выполнении требований Правил¹⁴, а во втором — на рискориентированном подходе, задекларированном в Правилах по охране труда при проведении водолазных работ¹⁵. Применение рискориентированного подхода в вопросах безопасности, безусловно, является шагом вперед. Однако если внимательно изучить предшествующие руководящие документы по водолазному делу, можно сделать вывод, что управление рисками (опасностью) в них предусматривалось и читалось между строк, просто это было не названо своими именами.

Работы были спланированы таким образом, чтобы время выполнения водолазом задач на объекте (Траб.) составляло 60 мин. По данным водолазного компьютера, время декомпрессии в воде для работавших автономно водолазов составило 23 мин., поскольку программное обеспечение учло при расчетах фактический профиль водолазного спуска, то есть процесс насыщения/рассыщения организма водолаза во времени (см. рис. 5). Общее время (Тобщ.) составило 83 мин.

¹³ Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002 : утверждены приказом главного командующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

¹⁴ Там же.

¹⁵ Правила по охране труда при проведении водолазных работ : утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н. М.: МОРКНИГА, 2022. 222 с.

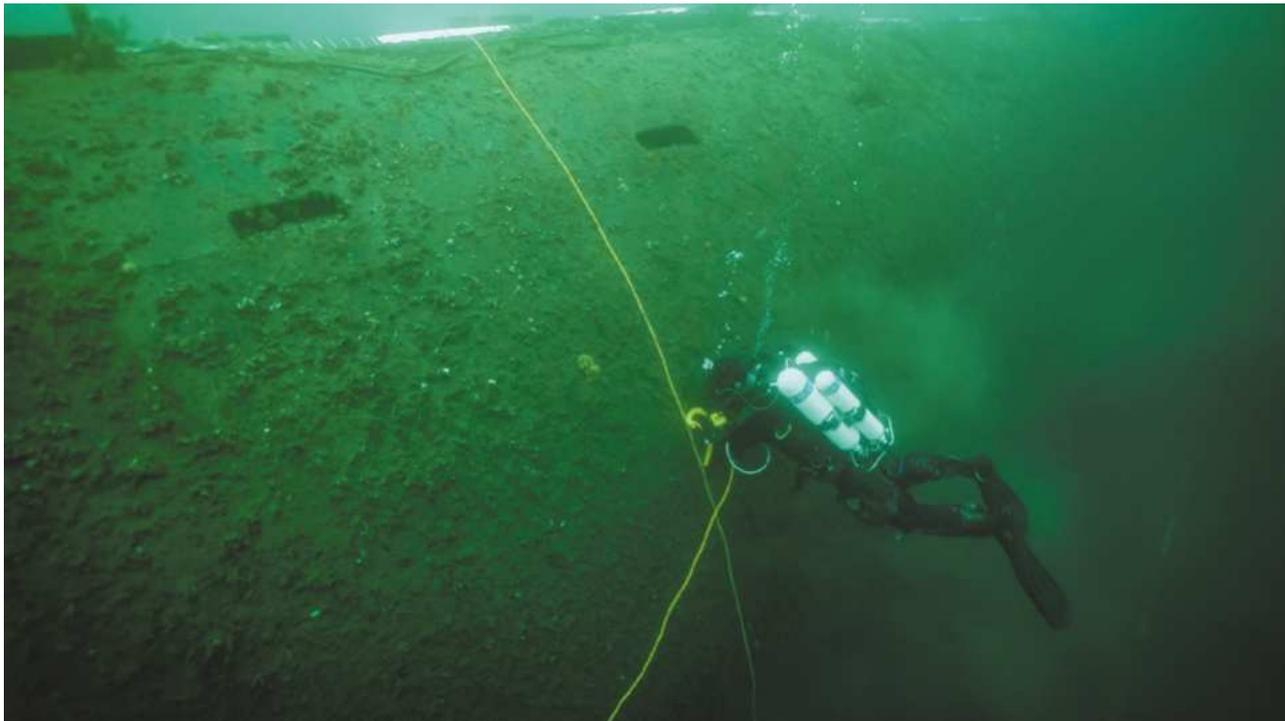


Рис. 5. Водолаз ЦПИ РГО выполняет замеры остаточной толщины металла корпуса затонувшего объекта, постоянно изменяя глубину в процессе работы

Для водолаза в шланговом снаряжении режим декомпрессии был выбран по таблице для глубины 32 м с экспозицией 80 мин. В итоге с учетом усложняющих факторов декомпрессия заняла 91 мин и проводилась на поверхности (с переводом в барокамеру). Общее время спуска составило 2 ч. 51 мин. Таким образом, показатель эффективности по формуле (1) в первом случае составил $60 / 83 = 0,72$, во втором — $60 / 171 = 0,35$. Увеличение эффективности водолазного спуска в два раза говорит само за себя. Следует отметить, что на палубе экспедиционного судна во время спуска водолаза в шланговом снаряжении находился в назначенной готовности страховый водолаз, то есть на спуске тоже было задействовано два водолаза.

Значительному сокращению времени декомпрессии водолазов в автономном снаряжении способствовало и использование для дыхания ДГС с парциальным давлением кислорода 130 кПа, которое поддерживалось ВДА с ЗСД и ЭУ. Водолаз же в шланговом снаряжении дышал воздухом, парциальное давление кислорода в процессе водолазного спуска изменялось в диапазоне от 21 до 86 кПа в зависимости от глубины фактического нахождения водолаза. В водолазные компьютеры перед началом спуска были введены требуемые для расчета параметры: схема

дыхания — замкнутая; поддерживаемое парциальное давление кислорода — 130 кПа; газовая смесь, используемая для формирования ДГС в дыхательном контуре ВДА, — воздух, как правило применяемый на глубинах до 40 м.

Карта оценки рисков предусматривала для всех водолазов, вне зависимости от применяемого снаряжения, дополнительные меры компенсирующего характера, в том числе контроль внутрисосудистого газообразования после окончания декомпрессии. Обследование ультразвуковым прибором диагностики показало во всех случаях отсутствие опасных состояний организма¹⁶. Кроме того, водолазы, проходившие декомпрессию в барокамере, на декомпрессионных остановках 6 и 3 м включались на дыхание кислородом, что положительно повлияло на вывод из организма индифферентных газов.

Применение для выбора режима декомпрессии водолазных компьютеров показало свою эффективность и безопасность на протяжении всех работ, проводимых ЦПИ РГО

¹⁶ Зверев Д. П., Бычков С. А., Мясников А. А., Ярков А. М., Хаустов А. Б., Кленков И. Р., Фокин С. Г. Возможности ультразвуковых способов в диагностике декомпрессионной болезни // Морская медицина. 2021. Т. 7. № 4. С. 75–83.

в течение последних 5 лет, в том числе и глубоководных. Проведено более трехсот экспериментальных водолазных спусков на глубины от 30 до 120 м. Случаев декомпрессионных расстройств, имеющих клиническую форму, не было¹⁷. Можно утверждать, что в сочетании с рискориентированным подходом к обеспечению безопасности водолазных спусков применение водолазных компьютеров может быть внедрено в отечественную практику водолазных работ и отражено в руководящих документах по водолазному делу. Пересмотр и корректура Правил по охране труда при проведении водолазных работ, связанные с окончанием 31 декабря 2025 г. действия приказа Минтруда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н¹⁸, — это та возможность введения водолазных компьютеров в «правовое поле», которую нельзя пропустить.

ЦПИ РГО в рамках программы по стандартизации через технический комитет ТК 416 «Гипербарическая техника» разработал в окончательной редакции национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 71313–2024 «Снаряжение водолазное. Водолазные компьютеры. Общие технические требования». Объектом стандартизации являются общие технические требования к водолажным компьютерам, предназначенным для расчета процессов насыщения и насыщения организма водолаза индифферентными газами в условиях повышенного давления газовой и/или водной среды, контролирующим основные параметры водолазного спуска и выводящим на экран рекомендации по его проведению, а также на их составные части. ГОСТ Р 71313–2024 уже принят и начинает действовать с 1 сентября 2024 г., что позволит с полным основанием говорить о водолажных компьютерах как об элементе водолазного снаряжения.

При работе над редакциями стандарта пришлось решать и обсуждать много вопросов, связанных с официальным отсутствием

водолажных компьютеров в практике водолазных работ, непривычностью применения электронных устройств в водолазном деле, а порой непониманием предназначения этих устройств и их возможного применения. Выявлены противоречия между повсеместным фактическим применением водолажных компьютеров при водолажных спусках в нашей стране и неурегулированностью правовых вопросов их использования. Существующие и применяемые в мире алгоритмы (модели) насыщения и насыщения организма индифферентными газами (Холденовская, Неохолденовская и Пузырьковая) не признаются в России на официальном уровне. Они считаются опасными, неисследованными, не подтвержденными практикой. Ситуация порой оказывается тупиковой. С одной стороны, в нашей стране есть и отечественные разработки водолажных компьютеров. Например, декомпрессиметр AV-1 (Алексей Важинский), интегрированный в ВДА с ЗСД и ЭУ «Бриз». А с другой стороны, в этих разработках программное обеспечение имеет зарубежные корни: реализует, как правило, алгоритм Бульмана ZHL-16C, градиент-факторная модель, 16 тканей в модификации Эрика Бейкера. Применение этого программного обеспечения водолазами, находящимися в трудовых отношениях с работодателями, или ведомственными водолазами нелегитимно.

В разработанном ГОСТ Р 71313–2024 указано, что вычислительный блок компьютера должен выполнять расчеты режимов декомпрессии на основании утвержденных ФМБА России алгоритмов. Это положение позволит официально внедрить водолажные компьютеры в практику водолажных работ в России.

Основываясь на рискориентированном подходе к обеспечению безопасности проведения водолажных работ, надо отметить, что одним из выявленных рисков является возникновение у водолаза декомпрессионных расстройств. Именно этот риск необходимо оценивать, именно он подлежит управлению. Некорректный алгоритм, применяемый в водолажном компьютере для расчета режима декомпрессии и выдачи водолазу рекомендаций по ее проведению, сам по себе является далеко не единственной угрозой для здоровья водолаза. К развитию декомпрессионных расстройств могут привести и ошибки в реализации режима декомпрессии, и физиологические особенности организма водолаза, и неблагоприятное изменение условий водолазного спуска, в том числе связанные со сбоем в работе водолазного снаряжения. Это в той же мере

¹⁷ Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка динамики функционального состояния организма водолаза в процессе экспериментального водолазного спуска в автономном режиме с использованием современного высокотехнологичного водолазного снаряжения и оптимизацией расчета декомпрессионных режимов на основе компьютерных программ». Спб.: ЦПИ РГО, 2020. 135 с.

¹⁸ Правила по охране труда при проведении водолажных работ: утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н. М.: МОРКНИГА, 2022. 222 с.

касается и применения таблиц. Ошибки могут быть связаны и с действиями самого водолаза, и с действиями других участников водолазных работ (расчета водолазной станции). Ответные меры на реализацию угрозы очевидны и укладываются в некоторую последовательность действий: констатация реализовавшейся угрозы; принятие ответных мер, в том числе оценка эффективности принимаемых мер и принятие по необходимости дополнительных мер; констатация устранения угрозы.

Констатация реализовавшейся угрозы (нештатной ситуации) по признакам — это осознание факта того, что проводимая декомпрессия неадекватна условиям проводимого водолазного спуска. Руководитель (командир) водолазного спуска по рекомендациям лица, осуществляющего медицинское обеспечение, должен в определенный момент понять, что наступило время для ответных действий, которые предусмотрены на этот случай. При использовании водолазного компьютера реализацию угрозы констатирует сам водолаз.

Принятие ответных (компенсирующих) мер может включать пересмотр режима декомпрессии, а в случае наличия у водолаза клинических проявлений декомпрессионной болезни — проведение рекомпрессии в барокамере или в водной среде, проведение гипербарической оксигенации (перевод на дыхание кислородом). Ответные меры носят ситуационный характер и укладываются в формулу «если — то». Успешность и эффективность принимаемых мер подлежат анализу в реальном времени, то есть в процессе действия. Управление риском осуществляет тот, кто действует. Именно в этом состоит суть рискориентированного подхода. Ответные меры должны быть предусмотрены заранее, понятны исполнителям, реализуемы на практике и обеспечены технически. В случае если оценка рисков показывает значимость риска возникновения декомпрессионных расстройств, на подготовительном этапе водолазного спуска следует довести варианты действий до участников водолазных работ на целевом инструктаже по мерам безопасности. В ЦПИ РГО на этот случай предусмотрено составление карт оценки рисков, доводимых под роспись.

Водолазный компьютер автоматически производит перерасчет режима декомпрессии и корректирует режим, нивелируя некорректные действия водолаза по соблюдению рекомендуемой глубины декомпрессионной остановки и времени перехода на нее,

а также незначительные отклонения по времени нахождения на выдержках. Таким образом исключается непосредственное участие в декомпрессии руководителя (командира) водолазного спуска и лица, осуществляющего медицинское обеспечение, что исключает саму угрозу от их ошибок при корректуре режима декомпрессии.

Опыт водолазных работ показывает, что своевременное принятие адекватных обстановке ответных мер позволяет эффективно управлять риском развития декомпрессионных расстройств. И дело здесь не только в применении «легитимных» и утвержденных алгоритмов расчета режимов декомпрессии. Предусматривающийся заранее порядок действий с отказом от продолжения декомпрессии по данным водолазного компьютера и завершением ее по таблицам декомпрессии также является компенсирующей мерой. Безусловно, такой вариант должен быть проработан и разъяснен на подготовительном этапе водолазного спуска.

Указанный выше риск относится к основному этапу водолазного спуска и тесно связан с риском ухудшения самочувствия водолаза в период после окончания спуска (на завершающем этапе). Это обусловлено наличием латентного периода в развитии декомпрессионной болезни. Из водолазной медицины известно, что в период декомпрессии ткани человеческого организма не насыщаются полностью и содержат избыток индифферентного газа в относительно безопасных пределах. Этот риск также управляем и может быть сведен до приемлемого уровня принятием мер предупредительного и ответного характера. К компенсирующим мероприятиям относятся: контроль самочувствия водолаза после завершения водолазного спуска, медицинский осмотр водолаза, проведение диагностики внутрисосудистого газообразования с помощью специальной аппаратуры, поддержание барокамеры в готовности, наличие аппаратуры для дыхания кислородом в условиях повышенного давления газовой среды и другие. Целесообразность принятия этих мер также обусловлена результатом оценки рисков.

Главный нерешенный вопрос при предстоящей корректуре Правил — перераспределение ответственности в течение водолазного спуска: определение того, кто возьмет на себя риски, связанные с применением компьютеров.

В действующих руководящих документах руководитель (командир) водолазного спуска несет всю ответственность за безопасность водолазного спуска, управляет рисками. Экспериментальные водолазные спуски, проведенные в ЦПИ РГО¹⁹, показали, что на практике при спусках в автономном водолажном снаряжении роль руководителя водолазных спусков непосредственно на этапе декомпрессии водолазов формальна. Руководитель не влияет ни на выбор режима, ни на его реализацию, в лучшем случае он получает от водолазов информацию о переходах на следующую декомпрессионную остановку и времени пребывания на ней. Кроме того, руководитель при наличии у него определенных навыков и при спокойной поверхности воды может визуально наблюдать за процессом декомпрессии по характеру и интенсивности выходящих пузырьков газа. Фактически рисками управляет ведущий водолаз в паре: он контролирует обстановку, принимает решения и ответные меры при реализации угроз.

Необходимо подчеркнуть, что при проведении экспериментальных водолазных спусков в автономном водолажном снаряжении с ВДА с ЗСД и ЭУ действия водолазов и обеспечивающих ЦПИ РГО не противоречили положениям Правил. Нарушения Правил не допустимы по определению. Спуски водолазов в автономном водолажном снаряжении в Правилах упомянуты напрямую в 13 статьях. Как уже отмечалось, декомпрессия водолазов по данным водолазного компьютера не предусмотрена, но и не запрещена. Статья 137 однозначно указывает на то, что «спуски в автономном водолажном снаряжении разрешаются в нормальных и усложненных условиях по результатам оценки рисков и после принятия мер по их снижению или исключению». Остальные статьи разъясняют особенности применения автономного водолазного снаряжения и дополняют 137-ю статью в нескольких разделах Правил.

¹⁹ Отчет о научно-исследовательской работе «Анализ современного состояния отечественного и зарубежного водолазного снаряжения, технологий и нормативно-правовой базы, регламентирующей проведение глубоководных водолазных работ». СПб.: ЦПИ РГО, 2021. 108 с.; Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка динамики функционального состояния организма водолаза в процессе экспериментального водолазного спуска в автономном режиме с использованием современного высокотехнологичного водолазного снаряжения и оптимизацией расчета декомпрессионных режимов на основе компьютерных программ». СПб.: ЦПИ РГО, 2020. 135 с.

Отдельного раздела, касающегося автономных водолазных спусков и спусков в автономном водолажном снаряжении, не существует.

В новой редакции Правил целесообразно внести раздел «Особенности проведения водолазных спусков в автономном снаряжении», в котором указать положения, уточняющие общие требования Правил:

- указать возможность проведения декомпрессии водолазов по данным (рекомендациям) водолазного компьютера;
- возложить ответственность за проведение декомпрессии в воде по данным водолазного компьютера на ведущего водолаза в паре водолазов;
- указать порядок планирования водолазного спуска с использованием водолазного компьютера, применяемого в режиме «планировщик водолазного спуска (погружения)»;
- внести риск отказа водолазного компьютера в перечень рисков и дать рекомендацию о применении таблиц декомпрессии в качестве компенсирующего мероприятия (ответных мер).

Целесообразно также указать возможность применения водолазных компьютеров для выбора режима декомпрессии водолаза, спускающегося в неавтономном водолажном снаряжении. Это не противоречит ни здравому смыслу, ни практике водолазных работ. Водолаз в шланговом снаряжении имеет устойчивую телефонную связь с поверхностью и может информировать руководителя водолазных спусков о рекомендациях, выдаваемых компьютером. К тому же ГОСТ Р 71313–2024 «Снаряжение водолазное. Водолазные компьютеры. Общие технические требования» предусматривает наличие устройств обмена информацией в этих электронных вычислительных устройствах. Не исключено, что будут разработаны водолазные компьютеры, выводящие информацию на пульт управления руководителя (командира) водолазного спуска с передачей информации по проводу кабель-шланговой связки. Наличие на посту управления водолазными работами таблиц декомпрессии и их применение при необходимости могут быть указаны как меры компенсирующего характера. Решение на продолжение декомпрессии по таблицам в этом случае необходимо

принимать руководителю (командиру) водолазного спуска по рекомендации лица, осуществляющего медицинское обеспечение, и оформлять записью в ЖВР (один из вариантов, есть и другие). При проведении глубоководных водолазных работ ведется протокол ГВС, где отражаются события. Протокол ведет лицо, осуществляющее медицинское обеспечение²⁰. Инициатива может исходить и от водолаза, который засомневался в адекватности показаний компьютера.

Существующее противоречие между техническим прогрессом и действующими руководящими документами по водолазному делу в части применения водолазных компьютеров может быть устранено при переработке и пересмотре Правил по охране труда при проведении водолазных работ уже в 2025 году. Опыт проведения водолазных работ в ЦПИ РГО в течение последних пяти лет с использованием для обеспечения безопасности рискориентированного подхода показывает, что это актуально и выполнимо.

²⁰ Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002 : утверждены приказом командующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

Изображения предоставлены авторами, из архива ЦПИ РГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров С. А., Фокин С. Г., Краморенко М. В. Управление рисками при водолазных работах // Нептун XXI век. Водолазный проект. 2021. № 6 (129). С. 50–57.
2. Зверев Д. П., Бычков С. А., Мясников А. А., Ярков А. М., Хаустов А. Б., Кленков И. Р., Фокин С. Г. Возможности ультразвуковых способов в диагностике декомпрессионной болезни // Морская медицина. 2021. Т. 7. № 4. С. 75–83. DOI: [10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83](https://doi.org/10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83)
3. Отчет о научно-исследовательской работе «Анализ современного состояния отечественного и зарубежного водолазного снаряжения, технологий и нормативно-правовой базы, регламентирующей проведение глубоководных водолазных работ». СПб.: ЦПИ РГО, 2021. 108 с.
4. Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка динамики функционального состояния организма водолаза в процессе экспериментального водолазного спуска в автономном режиме с использованием современного высокотехнологичного водолазного снаряжения и оптимизацией расчета декомпрессионных режимов на основе компьютерных программ». СПб.: ЦПИ РГО, 2020. 135 с.
5. Правила водолажной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002 : утверждены приказом командующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.
6. Правила по охране труда при проведении водолазных работ : утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н. М.: МОРКНИГА, 2022. 222 с.
7. Ярков А. М., Бычков С. А., Фокин С. Г. Рациональная декомпрессия с применением компьютерных программ // Морская медицина. 2023. Т. 9, № 1. С. 95–99. DOI: [10.22328/2413-5747-2023-9-1-95-99](https://doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-1-95-99)
8. Bühlmann A. A., Völlm E. B., Nussberger P. Tauchmedizin; Barotrauma, Gasembolie, Dekompression, Dekompressionskrankheit, Dekompressionscomputer. Berlin, Springer, 2002, 253 p. ISBN 978-3-642-62753-8

REFERENCES

1. Alexandrov S. A., Fokin S. G., Kramorenko M. V. *Upravlenie riskami pri vodolaznyh rabotah* [Risk management in diving operations]. *Neptun XXI vek. Vodolaznyj projekt* [Neptune XXI century. Diving project]. 2021, No. 6 (129), pp. 50–57. (In Russ.)
2. Zverev D. P., Bychkov S. A., Myasnikov A. A., Yarkov A. M., Khaustov A. B., Klinkov I. R., Fokin S. G. *Vozmozhnosti ul'trazvukovyh sposobov v diagnostike dekompressionnoj bolezni* [Possibilities of ultrasound methods in the diagnosis of decompression sickness]. *Morskaya medicina* [Marine Medicine], 2021, vol. 7, No. 4, pp. 75–83. (In Russ.) DOI: [10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83](https://doi.org/10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83)
3. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote "Analiz sovremennogo sostoyaniya otechestvennogo i zarubezhnogo vodolaznogo snaryazheniya, tekhnologii i normativno-pravovoj bazy, reglamentiruyushchej provedenie*

glubokovodnyh vodolaznyh rabot" [The report on the research work "Analysis of the current state of domestic and foreign diving equipment, technologies and the regulatory framework governing the conduct of deep-sea diving operations"]. St. Petersburg, Underwater Research Center of Russian Geographical society Publ., 2021, 108 p. (In Russ.)

4. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote "Ocenka dinamiki funkcional'nogo sostoyaniya organizma vodolaza v processe eksperimental'nogo vodolaznogo spuska v avtonomnom rezhime s ispol'zovaniem sovremennogo vysokotekhnologichnogo vodolaznogo snaryazheniya i optimizaciej rascheta dekompressionnykh rezhimov na osnove komp'yuternyx program"* [Report on the Research Work "Assessment of the Dynamics of the Functional State of the Diver's Body During an Experimental Diving Descent in an Autonomous Mode Using Modern High-Tech Diving Equipment and Optimization of the Calculation of Decompression Modes Based on Computer Programs"]. St. Petersburg, Underwater Research Center of Russian Geographical society Publ., 2020, 135 p. (In Russ.)
5. *Pravila vodolaznoj sluzhby Voенно-Morskogo Flota. PVS VMF-2002* [Rules of the Navy Diving Service. PVS of the Navy 2002]. *Utverzhdeny prikazom glavnokomanduyushchego Voенно-Morskim Flotom ot 24 dekabrya 2002 g.* [Approved by order of the Commander-in-Chief of the Navy dated December 24, 2002 No. 506]. Moscow, Voenizdat, 2004, Part I, 119 p., Part II, 176 p., Part III, 184 p. (In Russ.)
6. *Pravila po ohrane truda pri provedenii vodolaznykh rabot* [Rules for Labor Protection during Diving Operations]. *Utverzhdeny prikazom Ministerstva truda i social'noj zashhity Rossijskoj Federacii ot 17 dekabrya 2020 g. № 922n* [Approved by order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation dated December 17, 2020 no. 922n]. Moscow, MORKNIGA Publ., 2021, 222 p. (In Russ.)
7. Yarkov A. M., Bychkov S. A., Fokin S. G. *Racional'naya dekompressiya s primeneniem komp'yuternyx programm* [Rational decompression using computer programs]. *Morskaya medicina* [Marine Medicine], 2023, vol. 9, No. 1, pp. 95-99. (In Russ.) DOI: [10.22328/2413-5747-2023-9-1-95-99](https://doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-1-95-99)
8. Bühlmann A. A., Völlm E. B., Nussberger P. *Tauchmedizin; Barotrauma, Gasembolie, Dekompression, Dekompressionskrankheit, Dekompressionscomputer*. Berlin, Springer, 2002, 253 p. (In Germ) ISBN 978-3-642-62753-8

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кошкин Павел Владимирович, водолаз-исследователь, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, Захарьевская ул., д. 3, лит. А).

ORCID: [0000-0001-5347-5737](https://orcid.org/0000-0001-5347-5737)

e-mail: Kpvodolaz@yandex.ru

Краморенко Михаил Вячеславович, кандидат технических наук, руководитель подводно-технических работ, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А).

ORCID: [0000-0001-7260-256X](https://orcid.org/0000-0001-7260-256X)

e-mail: kramorenko21@mail.ru

Ярков Андрей Михайлович, кандидат медицинских наук, врач водолазной медицины, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, Захарьевская ул., д. 3, лит. А).

ORCID: [0000-0001-9349-0085](https://orcid.org/0000-0001-9349-0085)

e-mail: a.yarkov@urc-rgs.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Koshkin Pavel Vladimirovich, Research Diver, Autonomous NonProfit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

ORCID: [0000-0001-5347-5737](https://orcid.org/0000-0001-5347-5737)

e-mail: Kpvodolaz@yandex.ru

Kramorenko Mikhail Vjatcheslavovitch, Candidate of Technical Sciences, Head of Underwater Engineering and Operations, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

ORCID: [0000-0001-7260-256X](https://orcid.org/0000-0001-7260-256X)

e-mail: kramorenko21@mail.ru

Yarkov Andrey Mikhailovitch, Candidate of Medical Sciences, Diving Medicine Physician, Autonomous NonProfit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

ORCID: [0000-0001-9349-0085](https://orcid.org/0000-0001-9349-0085)

e-mail: a.yarkov@urc-rgs.ru

Поступила в редакцию 14.03.2024

Поступила после рецензирования 02.04.2024

Принята к публикации 30.04.2024

Received 14.03.2024

Revised 02.04.2024

Accepted 30.04.2024

МЕДИЦИНА / MEDICINE

Оригинальная статья | Original paper

DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-111-122

УДК 612.223.1: 533.27



ГАЗЫ И ГАЗОВЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ВОДОЛАЗОВ

И. В. Комарова  , М. В. Краморенко  , А. М. Ярков  

АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

 office@urc-rgs.ru

Аннотация

Цель. Осветить проблемные вопросы, актуальные при разработке ГОСТ Р «Техника водолазная. Газы и газовые смеси для дыхания водолазов. Общие технические требования».

Материалы и методы. Отечественные руководящие документы по производству водолазных работ и их зарубежные аналоги. Экспериментальные данные, полученные в ходе проведения научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы (НИОКТР) «Разработка методик проведения глубоководных работ в автономном режиме. Создание перспективного автономного комплекса для производства глубоководных работ». Проведен анализ и обобщение материалов.

Результаты и обсуждения. Выявлена необходимость нормирования требований к составляющим газовых смесей, применяющихся для дыхания водолазов. Уточнены критерии оптимальной дыхательной газовой смеси (ДГС). Научно-технический прогресс позволяет при совершенствовании нормативно-правовой базы проводить водолазные работы с оптимальной физиологической нагрузкой на организм водолаза.

Заключение. Предъявление нормативных требований к качеству дыхательных газовых смесей и их составляющим актуально. Физиологические аспекты стратегии формирования ДГС относятся к любым смесям, предназначенным для дыхания водолазов. Газы и газовые смеси не должны содержать загрязняющих веществ в концентрации, которая может вызвать интоксикацию и вред здоровью, повысить риск возникновения профессиональных специфических заболеваний.

Ключевые слова

водолаз, кислород, воздух, дыхательные газовые смеси, загрязняющие вещества, предельно допустимые концентрации

Для цитирования

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: [10.24412/2949-3838-2024-56-111-122](https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-111-122)

GASES AND GAS MIXTURES FOR DIVERS

I. V. Komarova  , M. V. Kramorenko  , A. M. Yarkov  

ANO "Underwater Research Center of the Russian Geographical Society,"
St. Petersburg, Russian Federation

 office@urc-rgs.ru

Abstract

Objective: To address the problematic issues relevant to the development of the Russian State Standard (GOST Diving equipment. Gases and gas mixtures for divers. General requirements.)

Materials and methods: Guidelines for conducting diving operations both domestically and internationally. Experimental data collected during the scientific research, experimental design, and technical work (SR&ED) titled "Development of methodologies for autonomous deep-sea operations. Creation of a prospective autonomous complex for deep-sea operations." The materials were analyzed and summarized.

Results and discussions: It has been determined that the requirements for the components of gas mixtures used by divers for breathing must be standardized. The criteria for the ideal breathing gas mixture (BGM) have been specified. Scientific and technological advancements enable diving operations that put adequate physiological demands on the diver's body while improving the regulatory framework.

Conclusion: The introduction of regulatory standards for the quality of breathing gas mixtures and their constituents is relevant. The physiological characteristics of the BGM creation method apply to all mixtures designed for divers' breathing. Gases and gas mixtures shall not contain pollutants in amounts that could induce intoxication and harm to health, increasing the risk of occupational diseases.

Keywords

diver, oxygen, air, breathing gas mixtures, pollutants, maximum permissible concentrations

For citation

Komarova I. V., Kramorenko M. V., Yarkov A. M. Gases and Gas Mixtures for Divers. *Hydrocosmos*. 2024. Vol. 2, 1, no. 5–6, pp. 111–122. DOI: [10.24412/2949-3838-2024-56-111-122](https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-111-122) (In Russ.)

Введение

Пребывание человека в условиях повышенного давления газовой и/или водной среды антифизиологично и требует компенсирующих мероприятий. С увеличением глубины водолазного спуска физиологическая нагрузка на организм человека увеличивается¹. В практику водолазного дела прочно вошло использование для дыхания искусственных газовых смесей: кислородно-азотных (КАС), кислородно-азотно-гелиевых (КАГС) и кислородно-гелиевых (КГС) (см. рис. 1), которые позволяют:

— повысить умственную и физическую работоспособность за счет снижения плотности применяемой ДГС²;

— исключить кислородное голодание и отравление организма кислородом;

— снизить токсическое действие индифферентных газов (азота и гелия);

— сократить время декомпрессии.

Поддержание на безопасном уровне концентрации загрязняющих веществ позволяет исключить отравление организма.

Соотношение компонентов искусственной газовой смеси дает возможность выбирать наиболее оптимальную ДГС для данной глубины и экспозиции водолазного спуска.

В современных руководящих документах по водолазному делу регламентировано применение для дыхания водолаза кислорода, воздуха и других ДГС с различным процентным соотношением компонентов и с параметрами, пригодными для дыхания водолазу³.

¹ Смолин В. В., Соколов Г. М., Павлов Б. Н., Демчишин М. Д. Глубоководные водолазные спуски и их медицинское обеспечение. (в 3 томах) М.: Слово, 2003. Т. 1. 592 с.

² Яхонтов Б. О. Физиологическая стратегия формирования состава водолазных дыхательных смесей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 7. С. 34–40.

³ Правила по охране труда при проведении водолазных работ: утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н. М.: МОРКНИГА, 2022. С. 78.



Рис. 1. Экспериментальные глубоководные водолазные спуски на озере Церик-Кель

Конкретные требования к процентному соотношению газов в смеси не предъявляются.

В Военно-Морском Флоте регламентировано также применение 40 % КАС, 10, 7, 5 % КАГС и 6 % КГС⁴. Дискретность применяемых при водолазных спусках ДГС обусловлена регламентацией режимов декомпрессии, научно обоснованных во второй половине XX века и проверенных на практике с точки зрения безопасности.

Уже на протяжении двух последних десятилетий технический прогресс позволяет применять водолазные компьютеры, которые при наличии соответствующего программного обеспечения могут рассчитать режим декомпрессии индивидуально для каждого спускающегося водолаза с учетом фактической глубины, времени пребывания под повышенным давлением и применяемой ДГС. Руководящие документы по водолазному делу отстают от технического прогресса, не пуская водолазные компьютеры в правовое поле.

В данной статье предполагается обосновать необходимость нормирования требований к составляющим газовых смесей, применяющихся для дыхания водолазов, уточнить критерии оптимальной ДГС и выработать предложения по корректуре руководящих документов.

⁴ Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002 : утверждены приказом главнокомандующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

Материалы и методы

Отечественные руководящие документы по производству водолазных работ и их зарубежные аналоги:

— Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н «Об утверждении Правил по охране труда при проведении водолазных работ» (далее — Правила)⁵;

— РД 31.84.0190. Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Ч. II. Медицинское обеспечение водолазов⁶;

— Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.368521 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»⁷;

— Приказ главнокомандующего Военно-Морским Флотом от 26 декабря 2002 г.

⁵ Правила по охране труда при проведении водолазных работ. М.: МОРКНИГА, 2022. 222 с.

⁶ Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Ч. 2. Медицинское обеспечение водолазов. РД 31.84.01–90 М.: Моркнига, 2023. 132 с.

⁷ 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.

№ 506 «Правила водолазной службы Военно-Морского Флота». ПВС ВМФ-2002. Ч. I, II, III⁸;

— Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 8573-1-2016 «Сжатый воздух. Часть 1. Загрязнения и классы чистоты» (ISO 8573-1:2010, IDT)⁹;

— Европейский стандарт EN 12021:2014 «Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Сжатый воздух для дыхательных аппаратов»¹⁰.

Экспериментальные данные, полученные в ходе проведения НИОКТР «Разработка методик проведения глубоководных работ в автономном режиме. Создание перспективного автономного комплекса для производства глубоководных работ»¹¹, в части, касающейся выбора дыхательных газовых смесей, применявшихся для проведения экспериментальных водолазных спусков.

Методы теоретические и экспериментальные (анализ, обобщение литературных и экспериментальных данных).

Обсуждения

Требования к воздуху, используемому для дыхания водолазов, определены руководящими документами и с точки зрения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ представлены в таблице 1.

Действующие с 1 января 2021 г. Правила по охране труда при проведении водолазных работ не указывают конкретных цифр.

⁸ ПВС ВМФ-2002. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

⁹ ГОСТ Р ИСО 8573-1-2016 Сжатый воздух. Часть 1. Загрязнения и классы чистоты (ISO 8573-1:2010, IDT): Национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

¹⁰ EN 12021:2014 Respiratory equipment — Compressed gases for breathing apparatus. European Standard. Brussels, CEN-CENELEC Management Centre, 2014, 16 p.

¹¹ Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка динамики функционального состояния организма водолаза в процессе экспериментального водолазного спуска в автономном режиме с использованием современного высокотехнологичного водолазного снаряжения и оптимизацией расчета декомпрессионных режимов на основе компьютерных программ». СПб.: ЦПИ РГО, 2020. 135 с.; Отчет о научно-исследовательской работе «Анализ современного состояния отечественного и зарубежного водолазного снаряжения, технологий и нормативно-правовой базы, регламентирующей проведение глубоководных водолазных работ». СПб.: ЦПИ РГО, 2021. 108 с.

Требования к ПДК изложены в приложении 10 к РД 31.84.0190 ч. II и ограничены глубиной 100 м, допустимой глубиной использования воздуха для спусков под воду на глубины до 60 м (в аварийных случаях до 80 м) и для тренировок в барокамерах до 100 м. При этом указано, что содержание диоксида углерода в подаваемом для дыхания водолазов воздухе (и системе газоснабжения) не должно превышать 0,05 % (по объему). Содержание диоксида углерода во вдыхаемом воздухе в условиях повышенного давления не должно превышать 1 % содержания его, приведенного к условиям нормального давления (парциальное давление — 0,001 МПа или 1 кПа)¹².

Очевидно, что понятия «подаваемый для дыхания» и «вдыхаемый» воздух принципиально отличаются. В первом случае речь идет о требованиях к содержимому воздушных баллонов газовых систем, а во втором — дыхательной газовой среде барокамер. В приведенной таблице указаны ПДК загрязняющих веществ (оксид углерода, окислы азота и суммарные углеводороды), которые зависят от глубины водолазного спуска. Шаг глубины в таблице — 10 м. Значения ПДК для приведенных глубин соответствуют ПДК при атмосферном давлении с коэффициентом:

$$k = (1 + h / 10), \quad (1)$$

где h — глубина водолазного спуска, м.

Характерно, что практически все анализы газовых смесей проводят при атмосферном давлении (см. рис. 2). Таблица, приведенная в РД 31.84.0190, избыточна.

Приведенные выше требования применимы и к водолажным дыхательным аппаратам с замкнутой и полужамкнутой схемами дыхания, для которых характерно наличие запаса газов в баллонах («подаваемый для дыхания») и формирование ДГС в дыхательном контуре (перед клапаном вдоха — «вдыхаемый»).

Требования к качеству воздуха для приготовления ДГС в РД 31.84.0190 ч. II¹³ не предъявляются.

¹² Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Ч. 2. Медицинское обеспечение водолазов. РД 31.84.01-90 М.: Моркнига, 2023. 132 с.

¹³ Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Ч. 2. Медицинское обеспечение водолазов. РД 31.84.01-90 М.: Моркнига, 2023. 132 с.

Табл. 1. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе, предназначенном для дыхания водолазов

Наименование документа	Наименование показателя					Примечания	
	Диоксида углерода,		Оксида углерода,	Окислы (оксиды) азота,	Пары воды,		Непредельных углеводородов (суммарно в пересчете на углерод),
	МГ/М ³	% об. д.					

Требования отечественных документов

Правила по охране труда при проведении водолазных работ ¹⁴	-	-	-	-	-	-	Требования не указаны
РД 31.84.01 90. Ч. II. ¹⁵	900	0,05	20	5	-	100	на поверхности, k = 1,0
			2,8	0,71	-	14,2	для глубины 60 м, k = 7
			2,2	0,55	-	11,1	для глубины 80 м, k = 9
			1,8	0,45	-	9,04	для глубины 100 м, k = 11
ПВС ВМФ 2002. Ч. II ¹⁶	1800	0,1	8	0,5	-	50	при атмосферном давлении
СанПин 1.2.3685-21 (таблица 2.1, воздух рабочей зоны)	9000	0,5	20	5	-	300	при атмосферном давлении

¹⁴ Правила по охране труда при проведении водолазных работ. М.: МОРКНИГА, 2022. 222 с.

¹⁵ РД 31.84.01-90 М.: Моркнига, 2023. 132 с.

¹⁶ ПВС ВМФ-2002. М.: Воениздат, 2004. Ч. II, 176 с.

Наименование документа	Наименование показателя					Примечания	
	Диоксида углерода,		Оксида углерода,	Окислы (оксиды) азота,	Пары воды,		Непредельных углеводородов (суммарно в пересчете на углерод),
	мг/м ³	% об. д.					

Требования зарубежных документов

EN 12021:2014 ¹⁷ воздух для дыхания	912,85	0,05	5,8	-	25	0,5	при атмосферном давлении
для газовых смесей O ₂ + N ₂ (КАС)	9,12	0,0005	3,4	-	15	0,1	готовят из чистых газов
для газовых смесей O ₂ + He (КГС)	9,12	0,0005	0,23	-	15	0,1	готовят из чистых газов
для газовых смесей O ₂ + N ₂ + He (КАГС)	-	-	-	-	-	-	не применяются
Требования с учетом международной практики							
воздух для дыхания	1500	0,08	5	0,8	-	50	1/6 ПДК СанПИН 2.1.3684-21
воздух для приготовления ДГС	900	0,05	2	0,5	-	30	1/10 ПДК СанПИН 2.1.3684-21

Проект ГОСТ Р «Техника водолазная. Газы и газовые смеси для дыхания водолазов. Общие технические требования»

воздух для дыхания	1500	0,08	5	0,8	-	50	
воздух для приготовления ДГС	900	0,05	2	0,5	-	0,1	с учетом взрывопожаро-безопасности

¹⁷ EN 12021:2014 Respiratory equipment – Compressed gases for breathing apparatus. Brussels, CEN-CENELEC Management Centre, 2014, 16 p.



Рис. 2. Проведение анализа ДГС при атмосферном давлении

В ПВС ВМФ-2002 чч. II и III¹⁸ требования к воздуху приведены только для атмосферного давления и отличаются от РД 31.84.0190¹⁹. Для приготовления ДГС используется воздух с теми же параметрами, однако указано, что перед приготовлением смеси воздух должен дополнительно пройти через блок очистки. Величины ПДК указаны для нормальных климатических условий воздуха (температура $298\text{ K} + 10\text{ K}$ или $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$); относительная влажность — $65\% \pm 15\%$; атмосферное давление — $953,3\text{ кПа} \pm 113,3\text{ кПа}$ ($750\text{ мм рт. ст.} \pm 85\text{ мм рт. ст.}$).

Надо отметить, что требования и РД 31.84.0190²⁰ и ПВС ВМФ-2002²¹ разрабатывались в 90-е годы XX века и основывались на технических характеристиках доступных и используемых в то время приборов газоанализа. Именно этим объясняются несколько завышенные показатели ПДК по непредельным углеводородам (суммарно в пересчете на углерод) — 50 мг/м^3 . Минимальный порог чувствительности применявшихся индикаторных трубок не позволял достоверно фиксировать меньшие значения.

Если говорить о применимости в водолазном деле требований СанПиН 1.2.368521 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»²², таблицы 2.1 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны», нормирующей качество воздуха рабочей зоны, то этот документ определяет (устанавливает) ПДК для 2484 загрязняющих веществ, что представляется избыточным. Формально можно рассматривать отсек барокамеры как среду обитания, в которой водолаз исполняет обязанности, связанные (или не связанные) с трудовыми отношениями. Надо отметить, что идентификация вредных и опасных производственных факторов трудового процесса и расчет их уровня воздействия на работника осуществляются во время проведения специальной оценки условий труда (СОУТ)²³. Это актуально для системы создания безопасных условий труда работников предприятия, регламентируемой в главе I Правил.

¹⁸ Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002 : утверждены приказом главного командующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

¹⁹ РД 31.84.01–90 М.: Моркнига, 2023. 132 с.

²⁰ Там же.

²¹ ПВС ВМФ-2002. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

²² 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.

²³ О специальной оценке условий труда: Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ. М.: ЦЕНТРМАГ, 2024. 44 с.

Табл. 2. Наличие требований к качеству воздуха в руководящих документах

Показатели	РД 31.84.01 90	ГОСТ Р ИСО 8573–1–2016	EN 12021:2014
твердые частицы	–	+	–
диоксид углерода	+	–	+
оксиды (окислы) азота	+	–	–
оксид углерода	+	–	+
пары воды	–	+	+
непредельные углеводороды (суммарно в пересчете на углерод)	+	+	+

Требования СанПиН 1.2.3685–21²⁴ по понятным причинам не учитывают фактор повышенного давления среды, в которой находится работник. Подход, однако, такой же, как в ПВС ВМФ-2002²⁵, то есть все ПДК приведены к атмосферному давлению.

Зарубежный подход к регламентации ПДК аналогичен. В международной практике для оценки качества ДГС водолазов (дайверов) используют европейские стандарты EN 12021:2014 «Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Сжатый воздух для дыхательных аппаратов»²⁶ и ISO 8573–1:2010 «Сжатый воздух. Загрязнения и классы чистоты»²⁷. Стандарты предъявляют требования к качеству воздуха в отношении твердых частиц, масла, воды, кислорода, диоксида углерода, оксида углерода. В международной практике принято, что все загрязняющие вещества, содержащиеся в сжатом воздухе для дыхания, должны содержаться на как можно более низком уровне

и составлять менее одной шестой от национального 8-часового предела воздействия, а для искусственных ДГС, предназначенных для дыхания, — менее одной десятой. Отмечается, что для дыхания под повышенным давлением газовой и/или водной среды более 1 МПа или времени воздействия более 8 часов уровни загрязнения должны быть пересмотрены с учетом величины давления и времени воздействия.

Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 8573–1–2016 «Сжатый воздух. Часть I. Загрязнения и классы чистоты»²⁸ идентичен ISO 8573–1:2010²⁹, применяемому за рубежом, и практически не используется в водолазном деле России: на него нет ссылок в руководящих документах, он больше актуален для создания компрессорных установок и средств очистки воздуха, чем непосредственно для подготовки и проведения водолазных работ.

В таблице 2 приведены показатели, учитываемые при определении пригодности воздуха к дыханию.

²⁴ СанПиН 1.2.3685–21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М.: ЦЕНТРАМГ, 2024. 736 с.

²⁵ ПВС ВМФ-2002. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.

²⁶ EN 12021:2014 Respiratory equipment — Compressed gases for breathing apparatus. European Standard. Brussels, CEN-CENELEC Management Centre, 2014, 16 p.

²⁷ ISO 8573–1:2010 Compressed air — Part 1: Contaminants and purity classes. International Standard. Geneva, 2010, 9 p.

²⁸ ГОСТ Р ИСО 8573–1–2016 Сжатый воздух. Часть 1. Загрязнения и классы чистоты (ISO 8573–1:2010, IDT) : Национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

²⁹ ISO 8573–1:2010 Compressed air — Part 1: Contaminants and purity classes. International Standard. Geneva, 2010, 9 p.

В отечественной практике производства водолазных спусков наличие паров воды в воздухе не контролируется. Этот параметр непосредственно при подготовке и проведении водолазных спусков не особенно актуален.

Применяемые для приготовления ДГС чистые газы тоже являются источником загрязняющих веществ, поэтому требования к их чистоте актуальны. Технология приготовления чистых газов позволяет очистить их от загрязняющих веществ, и поэтому при их использовании для приготовления ДГС дополнительных исследований не проводится, а учитываются только данные сертификата. В России применяют медицинский кислород по ГОСТ 5583 с объемной долей кислорода не менее 99,5% (код ОКП 21 1411 0200)³⁰ и гелий марки А по ТУ 0271–135–31323949–2005³¹, а также другие газы повышенной или особой чистоты.

Таким образом, на первый план выходят требования к чистоте сжатого воздуха, как правило, получаемого из окружающей среды на подготовительном этапе водолазных работ. Особые требования должны предъявляться к низкому содержанию в воздухе непредельных углеводородов (суммарно в пересчете на углерод) в связи с взрывоопасностью смеси при смешивании воздуха с кислородом. Требования, предъявляемые в EN 12021:2014, достаточны для включения в разрабатываемый ГОСТ Р «Техника водолазная. Газы и газовые смеси для дыхания водолазов. Общие технические требования».

Приведенные в таблице 1 требования к качеству сжатого воздуха, включаемые в проект ГОСТ Р «Техника водолазная. Газы и газовые смеси для дыхания водолазов. Общие технические требования», не противоречат существующим документам.

Экспериментальные данные ЦПИ РГО, полученные в ходе проведения НИОКР «Разработка методик проведения глубоководных работ в автономном режиме. Создание перспективного автономного комплекса для производства

глубоководных работ»³², подтверждают необходимость учитывать основные свойства ДГС, воздействующие на организм³³:

- плотность (повышение работы дыхания);
- содержание кислорода (гипоксия и интоксикация);
- содержание инертных газов (азотный наркоз и НСВД);
- влажность (сухость слизистых оболочек);
- теплопроводность (переохлаждение).

ДГС для каждого водолазного спуска выбирались с учетом особенностей спуска (глубина, экспозиция на грунте) и характера подводно-технических работ. Различные условия водолазных спусков влияли на выбор смеси в каждом конкретном случае. Учитывалось, что любой выбор имеет как позитивные, так и негативные аспекты. Присутствие в ДГС только одного индифферентного газа при использовании КГС облегчает процессы сатурации и десатурации в организме. С другой стороны, такой подход приносит другие проблемы, связанные с высокой концентрацией гелия. В первую очередь это повышенные теплотери, ухудшение разборчивости речи и, самое главное, увеличение общего времени декомпрессии по сравнению с КАГС (при равном содержании кислорода в ДГС).

Расчет оптимальной по составу ДГС осуществлялся с помощью компьютерных программ, таких как программа MultiDeco, менеджер AV1 и другие. Отмечается, что данные по составу ДГС всех используемых компьютерных программ совпадали, так как для расчета декомпрессии использовался только алгоритм Бульмана ZHL-16С, градиент-факторная модель, 16 тканей в модификации Эрика Бейкера.

³⁰ ГОСТ 5583-78 (ИСО 2046-73) Кислород газообразный технический и медицинский. Технические условия: Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2005. 15 с.

³¹ ТУ 0271–135–31323949–2005 Гелий газообразный сжатый. Технические условия. М.: ОАО «ГАЗПРОМ», 2005. 21 с.

³² Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка динамики функционального состояния организма водолаза в процессе экспериментального водолазного спуска в автономном режиме с использованием современного высокотехнологичного водолазного снаряжения и оптимизацией расчета декомпрессии режимов на основе компьютерных программ». СПб.: ЦПИ РГО, 2020. 135 с.; Отчет о научно-исследовательской работе «Анализ современного состояния отечественного и зарубежного водолазного снаряжения, технологий и нормативно-правовой базы, регламентирующей проведение глубоководных водолазных работ». СПб.: ЦПИ РГО, 2021. 108 с.

³³ Яхонтов Б. О. Физиологическая стратегия формирования состава водолазных дыхательных смесей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 7. С. 34–40.

Под оптимальной ДГС понимались искусственные газовые смеси, рассчитанные из условия, что парциальное давление кислорода (p_{O_2}) не должно превышать 160 кПа, а эквивалентная наркотическая глубина — 40 м для максимальной запланированной глубины водолазного спуска. В зависимости от конкретных условий водолазного спуска, в том числе тренированность водолазов к токсическому действию азота, максимальная эквивалентная наркотическая глубина в ряде случаев снижалась до 30 м, что приводило к увеличению количества гелия в ДГС и расчетного времени декомпрессии.

Применение оптимальных ДГС позволило провести серию из более 100 экспериментальных глубоководных водолазных спусков без нанесения вреда здоровью водолазов, что говорит об актуальности внесения корректуры в действующие руководящие документы по водолазному делу в этой части. Это хорошо сочетается с положенным в основу требований Правил с рискоринтированным подходом.

Изображения из архива ЦПИ РГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 5583-78 (ИСО 2046-73) Кислород газообразный технический и медицинский. Технические условия : Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2005. 15 с.
2. ГОСТ Р ИСО 8573-1-2016 Сжатый воздух. Часть 1. Загрязнения и классы чистоты (ISO 8573-1:2010, IDT) : Национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.
3. Единые правила безопасности труда на водолазных работах. Ч. 2. Медицинское обеспечение водолазов. РД 31.84.0190 М.: Моркнига, 2023. 132 с.
4. О специальной оценке условий труда : Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ. М.: ЦЕНТРМАГ, 2024. 44 с. ISBN: 978-5-908080-23-1
5. Отчет о научно-исследовательской работе «Анализ современного состояния отечественного и зарубежного водолазного снаряжения, технологий и нормативно-правовой базы, регламентирующей проведение глубоководных водолазных работ». СПб.: ЦПИ РГО, 2021. 108 с.
6. Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка динамики функционального состояния организма водолаза в процессе экспериментального водолазного спуска в автономном режиме с использованием современного высокотехнологичного водолазного снаряжения и оптимизацией расчета декомпрессионных режимов на основе компьютерных программ». СПб.: ЦПИ РГО, 2020. 135 с.
7. Правила водолазной службы Военно-Морского Флота. ПВС ВМФ-2002 : утверждены приказом командующего Военно-Морским Флотом от 24 декабря 2002 г. № 506. М.: Воениздат, 2004. Ч. I, 119 с., Ч. II, 176 с., Ч. III, 184 с.
8. Правила по охране труда при проведении водолазных работ : утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 17 декабря 2020 г. № 922н. М.: МОСКНИГА, 2022. 222 с.
9. 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.
10. Смолин В. В., Соколов Г. М., Павлов Б. Н., Демчишин М. Д. Глубоководные водолазные спуски и их медицинское обеспечение. (в 3 томах) М.: Слово, 2003. Т. 1. 592 с. ISBN: 5-900228-35-5
11. ТУ 0271-135-31323949-2005 Гелий газообразный сжатый. Технические условия. М.: ОАО «ГАЗПРОМ», 2005. 21 с.

Выводы/Заключение

1. Ведущим источником загрязнения ДГС, используемой для дыхания водолазов, является воздух, требования к чистоте которого являются основными.

2. Предложения в ГОСТ Р «Техника водолазная. Газы и газовые смеси для дыхания водолазов. Общие технические требования» по качеству воздуха, применяемого для дыхания водолазов и приготовления ДГС, изложены в таблице 1 и не противоречат существующим руководящим документам по водолазному делу.

3. Газы и газовые смеси, используемые для дыхания водолазов, не должны содержать загрязняющих веществ в концентрации, которая может вызвать интоксикацию и вред здоровью водолаза.

4. Физиологические аспекты стратегии формирования ДГС относятся к любым смесям, предназначенным для дыхания водолазов.

12. Яхонтов Б. О. Физиологическая стратегия формирования состава водолазных дыхательных смесей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 7. С. 34–40.
13. EN 12021:2014 Respiratory equipment – Compressed gases for breathing apparatus. European Standard. Brussels, CEN-CENELEC Management Centre, 2014, 16 p.
14. ISO 8573-1:2010 Compressed air - Part 1: Contaminants and purity classes. International Standard. Geneva, 2010, 9 p.

REFERENCES

1. GOST 5583-78 (ISO 2046-73) *Kislorod gazoobraznyj tekhnicheskij i medicinskij. Tekhnicheskie usloviya* [Technical and medical oxygen gas. Specifications]. Mezhsosudarstvennyj standart [Interstate standard]. Moscow, Standartinform, 2005. 15 p. (In Russ.)
2. GOST R ISO 8573-1-2016 *Szhatyj vozduh. CHast' 1. Zagryazneniya i klassy chistoty* [Compressed air. Part 1. Contaminants and purity classes] (ISO 8573-1:2010, IDT). Moscow, Standartinform, 2019, 12 p. (In Russ.)
3. *Edinye pravila bezopasnosti truda na vodolaznyh rabotah. CH. 2. Medicinskoe obespechenie vodolazov* [Uniform labor safety rules for diving operations. Part 2. Medical support for divers]. RD 31.84.0190 Moscow, MORKNIGA Publ., Moscow, MORKNIGA Publ., 2023, 132 p. (In Russ.)
4. *O special'noj ocenke uslovij truda* [On special assessment of working conditions]. *Federal'nyj zakon ot 28.12.2013 N 426-FZ* [Federal Law no. 426-FZ of December 28, 2013] Moscow, TSENTRMAG Publ., 2024. 44 p. (In Russ.) ISBN: 978-5-908080-23-1
5. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote "Analiz sovremennogo sostoyaniya otechestvennogo i zarubezhnogo vodolaznogo snaryazheniya, tekhnologii i normativno-pravovoj bazy, reglamentiruyushchej provedenie glubokovodnyh vodolaznyh rabot"* [The report on the research work "Analysis of the current state of domestic and foreign diving equipment, technologies and the regulatory framework governing the conduct of deep-sea diving operations"]. St. Petersburg, Underwater Research Center of Russian Geographical society Publ., 2021, 108 p. (In Russ.)
6. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote "Ocenka dinamiki funkcional'nogo sostoyaniya organizma vodolaza v processe eksperimental'nogo vodolaznogo spuska v avtonomnom rezhime s ispol'zovaniem sovremennogo vysokotekhnologichnogo vodolaznogo snaryazheniya i optimizacii rascheta dekompressionnyh rezhimov na osnove komp'yuternyx program"* [Report on the Research Work "Assessment of the Dynamics of the Functional State of the Diver's Body During an Experimental Diving Descent in an Autonomous Mode Using Modern High-Tech Diving Equipment and Optimization of the Calculation of Decompression Modes Based on Computer Programs"]. St. Petersburg, Underwater Research Center of Russian Geographical society Publ., 2020, 135 p. (In Russ.)
7. *Pravila vodolaznoj sluzhby Voenno-Morskogo Flota. PVS VMF-2002* [Rules of the Navy Diving Service. PVS of the Navy 2002]. *Utverzhdeny prikazom glavnokomanduyushchego Voenno-Morskim Flotom ot 24 dekabrya 2002 g.* [Approved by order of the Commander-in-Chief of the Navy dated December 24, 2002 No. 506]. Moscow, Voenizdat, 2004, Part I, 119 p., Part II, 176 p., Part III, 184 p. (In Russ.)
8. *Pravila po ohrane truda pri provedenii vodolaznyx rabot* [Rules for Labor Protection during Diving Operations]. *Utverzhdeny prikazom Ministerstva truda i social'noj zashhity Rossijskoj Federacii ot 17 dekabrya 2020 g. № 922n* [Approved by order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation dated December 17, 2020 no. 922n]. Moscow, MORKNIGA Publ., 2021, 222 p. (In Russ.)
9. *SanPiN 1.2.3685-21 Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya sheloveka faktorov sredej obitaniya* [SanPiN 1.2.3685-21 Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans]. *Utverzhdeny postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 28 yanvarya 2021 g. № 2* [Approved by Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation no. 2 dated January 28, 2021]. Moscow, TSENTRMAG Publ., 2024, 736 p. (In Russ.)
10. Smolin V. V., Sokolov G. M., Pavlov B. N., Demchishin M. D. *Glubokovodnye vodolaznye spuski i ih medicinskoe obespechenie. (v 3 tomah)* [Deep-sea diving descents and their medical support. (in 3 volumes)] Moscow, Slovo Publ., 2003, vol. 1, 592 p. (In Russ.)
11. TU 0271-135-31323949-2005 *Gelij gazoobraznyj szhatyj. Tekhnicheskie usloviya* [Compressed helium gas. Technical conditions]. Moscow, GAZPROM, 2005. 21 p. (In Russ.)
12. Яхонтов Б. О. *Fiziologicheskaya strategiya formirovaniya sostava vodolaznyh dyhatel'nyh smesey* [Physiological strategy of formation of the composition of diving breathing mixtures]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij* [International Journal of Applied and Fundamental Research]. 2021, no. 7, pp. 34–40. (In Russ.)
13. EN 12021:2014 Respiratory equipment – Compressed gases for breathing apparatus. European Standard. Brussels, CEN-CENELEC Management Centre, 2014, 16 p.
14. ISO 8573-1:2010 Compressed air - Part 1: Contaminants and purity classes. International Standard. Geneva, 2010, 9 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Комарова Ирина Владимировна, врач водолазной медицины, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А).

ORCID: [0009-0004-1978-1801](https://orcid.org/0009-0004-1978-1801)

e-mail: i.komarova@urc-rgs.ru

Краморенко Михаил Вячеславович, кандидат технических наук, руководитель подводно-технических работ, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А).

ORCID: [0000-0001-7260-256X](https://orcid.org/0000-0001-7260-256X)

e-mail: kramorenko21@mail.ru

Ярков Андрей Михайлович, кандидат медицинских наук, врач водолазной медицины, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, Захарьевская ул., д. 3, лит. А).

ORCID: [0000-0001-9349-0085](https://orcid.org/0000-0001-9349-0085)

e-mail: a.yarkov@urc-rgs.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Komarova Irina Vladimirovna, Doctor of Diving Medicine, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

ORCID: [0009-0004-1978-1801](https://orcid.org/0009-0004-1978-1801)

e-mail: i.komarova@urc-rgs.ru

Kramorenko Mikhail Vjatcheslavovitch, Candidate of Technical Sciences, Head of Underwater Engineering and Operations, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

ORCID: [0000-0001-7260-256X](https://orcid.org/0000-0001-7260-256X)

e-mail: kramorenko21@mail.ru

Yarkov Andrey Mikhailovitch, Candidate of Medical Sciences, Diving Medicine Physician, Autonomous NonProfit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

ORCID: [0000-0001-9349-0085](https://orcid.org/0000-0001-9349-0085)

e-mail: a.yarkov@urc-rgs.ru

Поступила в редакцию 10.12.2023
Поступила после рецензирования 04.04.2024
Принята к публикации 30.04.2024

Received 10.12.2023
Revised 04.04.2024
Accepted 30.04.2024

МЕДИЦИНА / MEDICINE

Оригинальная статья | Original paper

DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-123-131

УДК 616.28072.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТИМПАНОМЕТРИИ
ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА БАРОТРАВМЫ УХАИ. Р. Кленков¹  , И. В. Комарова²  , Е. А. Михеева¹  , А. А. Мясников¹  ,
С. Г. Фокин²  , П. Р. Хакимов¹  , А. М. Ярков²  ¹Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация²АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества»,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

 office@urc-rgs.ru

Аннотация

Цель работы. Обосновать применение метода тимпанометрии для диагностики нарушения бароаккомодационной функции слуховой трубы для профилактики баротравмы уха.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 20 обследуемых. Перед погружениями под воду им проводились: опрос жалоб, осмотр врача для исключения субклинических форм ЛОР-заболеваний, отоскопия и тимпанометрия.

Результаты и обсуждения. Выявлена взаимосвязь между инструментально подтвержденными методом тимпанометрии нарушениями бароаккомодационной функции слуховой трубы и субклиническими проявлениями в виде возникновения дискомфортных ощущений в ушах при погружениях под воду.

Заключение. Результаты исследования свидетельствуют об информативности метода тимпанометрии при выявлении нарушений функции слуховой трубы. Целесообразно для предотвращения развития баротравмы уха проводить тимпанометрию с ETF-тестом лицам, планирующим спуски под воду.

Ключевые слова

барофункция, баротравма, водолаз, дайвер, слуховая труба, тимпанометрия, ETF-тест

Для цитирования

Кленков И. Р., Комарова И. В., Михеева Е. А., Мясников А. А., Фокин С. Г., Хакимов П. Р., Ярков А. М. Использование метода тимпанометрии для оценки риска баротравмы уха // Гидрокосмос. 2024. Т. 2, 1. № 5–6. С. 123–131. DOI: 10.24412/2949-3838-2024-56-123-131

USING TYMPANOMETRY TO ASSESS EAR BAROTRAUMA RISK

I. R. Klenkov¹  , I. V. Komarova²  , E. A. Mixeeva¹  , A. A. Myasnikov¹  ,
S. G. Fokin²  , P. R. Hakimov¹  , A. M. Yarkov²  ¹Military Medical Academy, St. Petersburg, Russian Federation²ANO "Underwater Research Center of the Russian Geographical Society,"

St. Petersburg, Russian Federation

 office@urc-rgs.ru

Abstract

Objective: To justify the use of the tympanometry method for diagnosing disorders of the baroaccommodative function of the auditory tube to prevent ear barotrauma.

Materials and Methods: The study involved 20 participants. Before diving, they underwent: questioning about complaints, medical examination to exclude subclinical ENT diseases, otoscopy, and tympanometry.

Results and Discussions: Abnormalities of the baroaccommodative function of the auditory tube, instrumentally proven by tympanometry, were found to be related to subclinical symptoms such as ear discomfort while diving.

Conclusion: The results of the study show that the tympanometry method is useful for identifying auditory tube function abnormalities. To avoid ear barotrauma, those considering underwater descents should have tympanometry performed along with an ETF test.

Keywords

barofunction, barotrauma, diver, scuba diver, auditory tube, tympanometry, ETF test

For citation

Klenkov I. R., Komarova I. V., Mixeeva E. A., Myasnikov A. A., Fokin S. G., Hakimov P. R., Yarkov A. M. Gases and Gas Mixtures for Divers. *Hydrocosmos*. 2024. Vol. 2, 1, no. 5–6, pp. 123–131. DOI: [10.24412/2949-3838-2024-56-123-131](https://doi.org/10.24412/2949-3838-2024-56-123-131) (In Russ.)

Введение

Полностью погруженный под воду человек находится в неестественной среде обитания. Адаптация во многом зависит от его состояния здоровья. Известно, что при профессиональном отборе водолазов, в соответствии с Методическими рекомендациями по проведению предварительных и периодических медицинских осмотров водолазов и других работников, работающих в условиях повышенного давления, одним из обязательных требований является удовлетворительная барофункция ушей и придаточных пазух носа, которая устанавливается по результатам обследования при погружении в барокамере под повышенным давлением до 0,2 МПа (10 м вод. ст.)¹.

Перед обследованием проводится опрос жалоб, обращается внимание на наличие воспалительных заболеваний ЛОР-органов, затем — отоскопия с целью оценки состояния барабанной перепонки и исключения

воспалительных изменений. После проводится отработка навыка по выравниванию давления в среднем ухе («продувание») с помощью зевадных и глотательных движений, проб Тойнби и Вальсальвы и движений нижней челюстью. «Продувание» одним из этих способов является обязательным при ощущении «заложенности» уха, так как это ощущение может являться предвестником баротравмы.

Далее в барокамере давление повышается до 0,2 МПа со скоростью не более 0,1 МПа в минуту (10 м вод. ст. в минуту). На этой глубине выдерживают 1–2 минуты, после чего снижают давление до атмосферного в течение 1–2 минут. В период повышения давления в барокамере необходимо наблюдать за характером «продувания» обследуемого. По результатам отоскопии после выхода из барокамеры и с учетом используемых способов выравнивания давления в среднем ухе выставляют оценку степени барофункции ушей и придаточных пазух носа, которая производится согласно методическим рекомендациям².

Для допуска к занятиям любительским дайвингом не требуются результаты обследования барофункции ушей и придаточных пазух носа, однако отсутствие заболеваний ЛОР-органов является важным условием для допуска к погружениям под воду, так как эти заболевания могут нарушить способность

¹ Методические рекомендации по проведению предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) водолазов и других работников, работающих в условиях повышенного давления: утверждены заместителем руководителя Федерального медико-биологического агентства, председателем Центральной водолазно-медицинской комиссии при Федеральном медико-биологическом агентстве В. А. Рогожниковым 14 марта 2011 г. Приложение № 3. Информационно-правовой портал ГАРАНТ [эл. ресурс] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71786992/?ysclid=lvqff3zqz4689771456> (посл. посещение 3.05.2024)

² Там же.



Рис. 1. Ручной портативный тимпанометр Amplivox Otowave 102-1

человека выравнивать давление в среднем ухе при погружении. Бывают случаи, когда не придают значение имеющимся ЛОР-заболеваниям либо они протекают субклинически, что может повлечь за собой баротравму уха и придаточных пазух носа, в связи с чем эта проблема является актуальной для данной категории лиц.

В исследовании стояла цель обосновать метод диагностики нарушения бароаккомодационной функции слуховой трубы для профилактики баротравмы уха.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в рамках общеразвивающей программы «Океанавтика» с курсом обучения дайвингу во Всероссийском детском центре «Орленок». Участвовали 20 человек в возрасте от 14 до 16 лет, физически здоровые и прошедшие медицинский осмотр перед прибытием в центр. За состоянием ЛОР-органов следили врачи ЦПИ РГО с целью динамического наблюдения, которое проводилось регулярно и включало в себя: отоскопию, риноскопию и осмотр слизистых оболочек ротоглотки. Первичный осмотр был проведен до начала практических занятий (погружений), и далее проводились регулярные осмотры каждые 4 дня. Дополнительно — при появлении жалоб.

Для оценки функции слуховой трубы проводилась тимпанометрия с использованием ручного портативного тимпанометра Amplivox Otowave 102-1 (см. рис. 1). Кроме того, тимпанометрия была дополнена ETF-тестом (Eustachian Tube Function) — тест оценки функции слуховой трубы. Этот метод обследования безопасен и позволяет быстро и объективно

оценивать текущее состояние среднего уха и функции слуховой трубы.

Измерение выполнялось следующим образом: в наружный слуховой проход обследуемого помещался зонд с ушным вкладышем. Зонд находился на пневматическом блоке, посредством которого изменялось давление в слуховом проходе. В блок встроен звуковой генератор, подающий звуковой сигнал, и микрофон, принимающий отраженный сигнал, который после преобразования выводится на монитор регистрирующего устройства в виде графика. Полученный график отражал изменения подвижности (ось Y) системы среднего уха по мере изменения давления в слуховом проходе (ось X). Максимально эластичной она будет при выравнивании давления по обе стороны барабанной перепонки (БП). При анализе результатов тимпанометрии рассматривались следующие параметры:

1. ECV — остаточный объем наружного слухового прохода (объем слухового прохода), измеряемый в см^3 , соответствующий объему пространства между ушным вкладышем зонда и барабанной перепонкой (норма от 0,5 до 2,0 см^3).

2. Пик комплианса (P_k / PEAK), соответствует амплитуде пика кривой тимпанограммы, выражается в см^3 . Комплианс — объемное смещение (податливость) барабанной перепонки.

3. Пиковое давление, измеряемое в декаПа, соответствует давлению в слуховом проходе в момент выравнивания давлений по обе стороны барабанной перепонки. Это именно та величина давления, при которой был достигнут максимальный комплианс БП и среднего уха.

4. Градиент (ширина тимпанограммы) (GR), измеряемый в декаПа, является шириной тимпанограммы на уровне 50 % амплитуды пика подвижности³.

Норме соответствует тимпанограмма типа А (см. рис. 2). Она характеризуется наличием одного острого пика и следующим диапазоном нормальных величин:

- пик подвижности, комплианс P_k : от 0,2 до 1,4 $см^3$;
- пиковое давление: от -150 до +100 декаПа;
- градиент, Gr: 50-110 декаПа⁴.

При проведении обследования особое внимание уделялось оценке бароаккомодационной функции слуховой трубы. С этой целью тимпанометрия проводилась с нагрузочным ETF-тестом. Механизм проведения теста заключался в том, что кривую тимпанограммы записывали трижды: в покое, после выполнения пробы Тойнби и после выполнения пробы Вальсальвы. Полученные результаты анализировали в сравнении. Функционирование слуховой трубы считается нормальным, если после пробы Тойнби пик тимпанограммы смещается влево от исходного значения, а после пробы Вальсальвы — вправо по оси абсцисс.

Результаты и обсуждение

Перед тимпанометрией проводился осмотр наружного уха с помощью отоскопа. Особое внимание уделялось целостности, цвету барабанной перепонки, характерному контурированию рукоятки молоточка, отсутствию грануляций, а также состоянию наружного слухового прохода. Обследуемым были объяснены физиология функционирования слуховой трубы и приемы для выравнивания давления в среднем ухе⁵.

После первичного осмотра у 3 из 20 обследуемых при проведении нагрузочного теста не отмечалось смещения показателей пикового давления, предусмотренного нормой.

³ Шахова Е. Г., Козловская С. Е., Пелих Е. В., Зайцев В. А., Беркалиева Г. П. Атлас тимпанограмм : учебно-наглядное пособие для студентов. Волгоград: ВолгГМУ, 2018. С. 4-6.

⁴ Там же.

⁵ Бобошко М. Ю., Лопотко А. И. Слуховая труба. СПб.: Диалог, 2014. С. 93-98, С. 155-163.

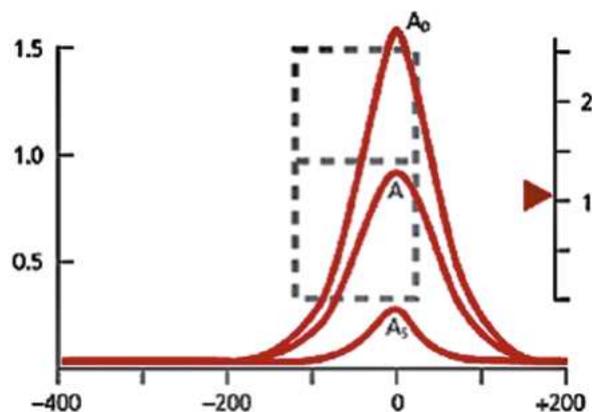


Рис. 2. Пример тимпанограммы типа А⁶

В таблице (1 измерение) приведены результаты их ETF-теста при первичном осмотре.

Этим обучающимся было рекомендовано до практических занятий самостоятельно выполнять комплекс упражнений для улучшения бароаккомодационной функции слуховой трубы. При последующем измерении по результатам тимпанометрии с ETF-тестом было отмечено улучшение тимпанометрических показателей. В таблице (проба Тойнби) приведены результаты измерений пикового давления в декаПа, на основании чего обследуемые были допущены до практических занятий, во время которых проблем с выравниванием давления в среднем ухе не было. После ряда практических занятий (погружений) проведено третье обследование. Результаты ETF-теста свидетельствуют о нормальном функционировании слуховой трубы (проба Вальсальвы).

Двое обучающихся в период исследования обращались за медицинской помощью в связи с появившимися жалобами.

Клинический случай № 1. Обследуемая П. предъявила жалобы на дискомфорт в левом ухе при погружении, который не проходил после самопродувания. При отоскопии визуализировались признаки воспаления наружного слухового прохода. Пик подвижности на тимпанограмме слева не определялся. Обследуемая была отстранена от занятий и направлена к ЛОР-врачу для прохождения обследования и лечения. Через 5 дней после проведенного лечения на отоскопии

⁶ Onusko E. Tympanometry. American Family Physician. November, 2004, vol. 70, no. 9, pp. 1713-1720.

Табл. 1. Результаты пикового давления при проведении ETF-теста (в декаПа)

			Первичное измерение	Проба Тойнби	Проба Вальсальвы
обследуемый А.	1 измерение	Правое ухо	-16	-11	-28
		Левое ухо	-29	-28	-41
	2 измерение	Правое ухо	-13	-37	-10
		Левое ухо	-13	-42	-23
	3 измерение	Правое ухо	-26	-52	-10
		Левое ухо	-24	-58	-17
обследуемый Р.	1 измерение	Правое ухо	-15	-15	-16
		Левое ухо	-15	-39	-33
	2 измерение	Правое ухо	-23	-47	-10
		Левое ухо	-23	-52	-46
	3 измерение	Правое ухо	-22	-26	-2
		Левое ухо	-4	-16	-12
обследуемый К.	1 измерение	Правое ухо	-4	-39	-25
		Левое ухо	-3	-105	-105
	2 измерение	Правое ухо	-10	-34	-22
		Левое ухо	-3	-16	-2
	3 измерение	Правое ухо	-7	-88	-36
		Левое ухо	-2	-51	-20

сохранялись незначительные признаки воспаления наружного слухового прохода, а при тимпанометрии получен результат, соответствующий норме (кривая тип А).

На рисунке 3 и 4 приведены результаты пикового давления при проведении ETF-теста. Как видно из рисунка 3, в правом ухе

определялись нормальные значения пикового давления. Первичное измерение в левом ухе соответствовало норме, однако после проб Тойнби и Вальсальвы сдвиг пикового давления не выявлено, что свидетельствует о недостаточной функции слуховой трубы. Было рекомендовано продолжить лечение с последующим обследованием.

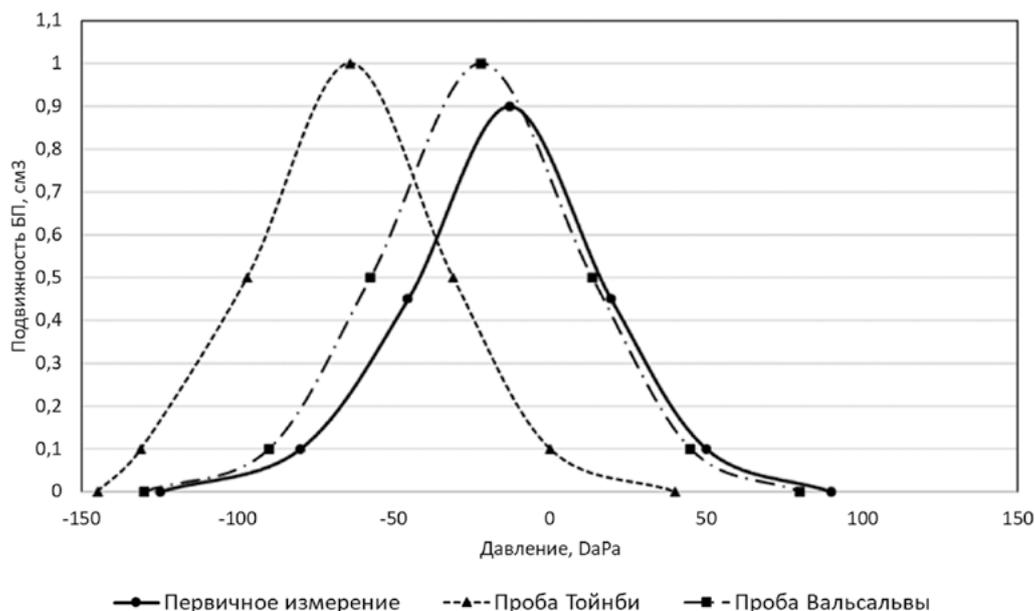


Рис. 3. Тимпанометрия в правом ухе (обследуемая П.)

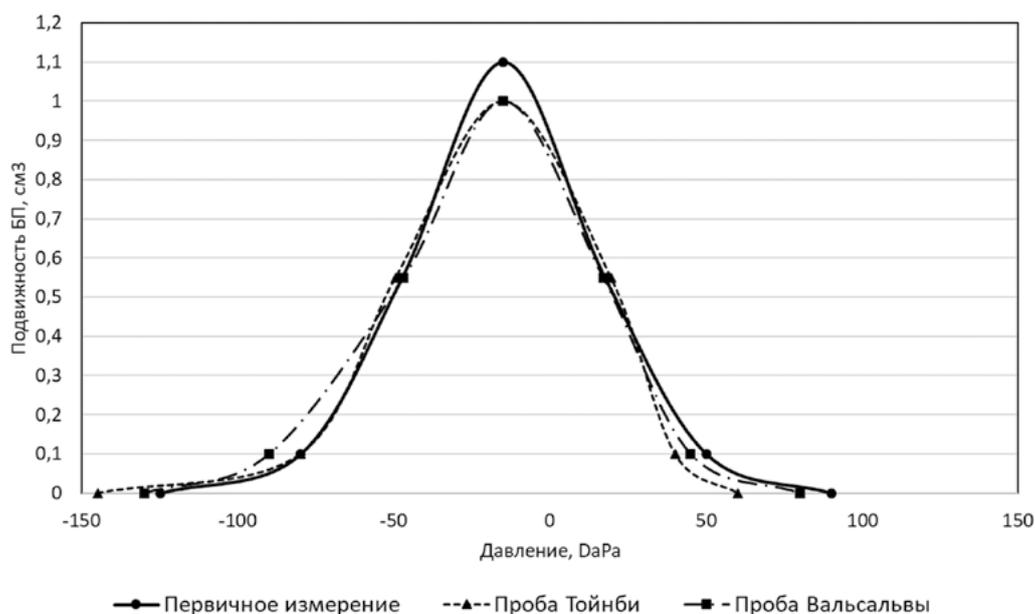


Рис. 4. Тимпанометрия в левом ухе (обследуемая П.)

Клинический случай № 2. Обследуемый К. во время практических занятий почувствовал дискомфорт в правом ухе без эффекта от самопродувания. Прекратил погружение и обратился за медицинской помощью. При отоскопии патологии не обнаружено. Проведена тимпанометрия с ETF-тестом. На рисунке 5 и 6 приведены результаты пикового давления при проведении ETF-теста. Как видно из рисунка 6, в левом ухе определялись нормальные значения пикового давления. При первичном измерении (см. рис. 5) показатель пикового давления в правом ухе был

значительно ниже нормы –306 декаПа (норма от –150 до +100 декаПа). На тимпанограмме — кривая тип С. При проведении нагрузочного теста после пробы Тойнби и после пробы Вальсальвы пиковое давление практически не изменилось (–307 декаПа и –306 декаПа). Было рекомендовано обследование и лечение у ЛОР-врача.

Результаты измерений свидетельствуют о выраженном нарушении функции слуховой трубы, вероятно, вследствие отека слизистой носоглотки и слуховой трубы.

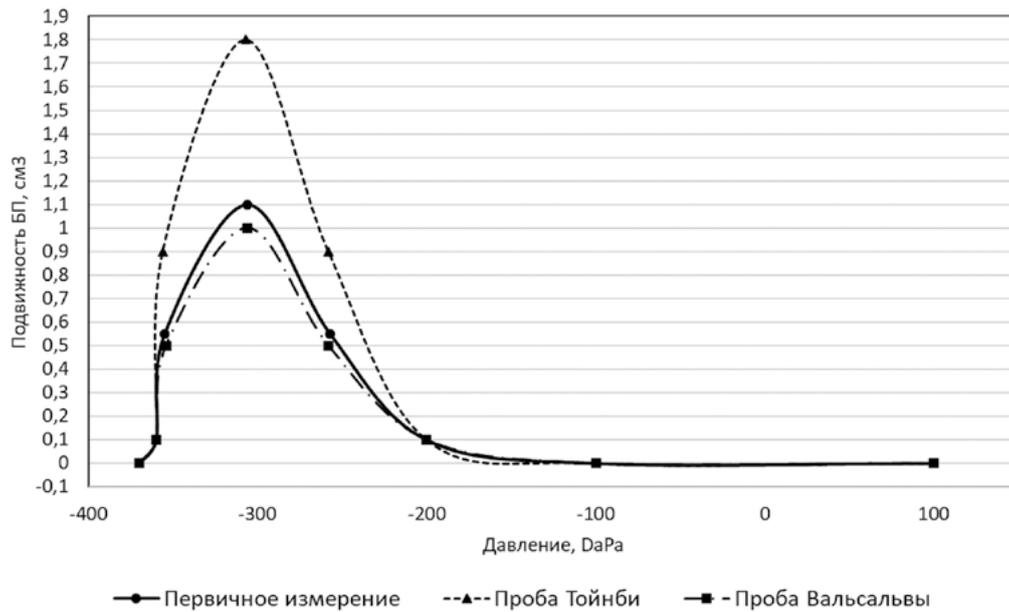


Рис. 5. Тимпанометрия в правом ухе (обследуемый К.)

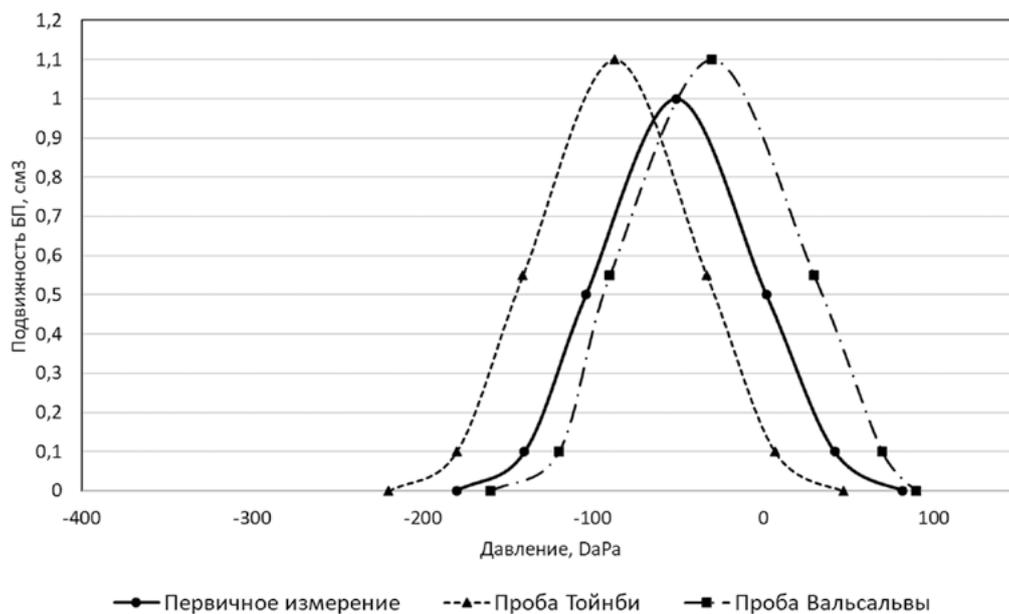


Рис. 6. Тимпанометрия в левом ухе (обследуемый К.)

Заключение

Проведенное научно-практическое исследование и анализ полученных данных показали информативность и практичность обследования барофункции слуховой трубы с помощью тимпанометрии, дополненной ETF-тестом, у погружающихся под воду лиц с целью профилактики баротравмы уха. Метод является оптимальным способом выявления субклинического нарушения функции слуховых труб в отсутствии жалоб.

Проведение тимпанометрии с ETF-тестом можно рекомендовать медицинским работникам, обеспечивающим водолазные спуски, с целью определения состояния бароадаптивной функции слуховой трубы водолазов после перенесенных инфекционно-воспалительных заболеваний верхних дыхательных путей и отитов.

Целесообразно продолжить исследование по оценке функции слуховой трубы методом тимпанометрии с нагрузочным ETF-тестом у водолазов и дайверов.

Изображения предоставлены авторами, из архива ЦПИ РГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобошко М. Ю., Лопотко А. И. Слуховая труба. СПб.: Диалог, 2014. 384 с. ISBN 978-5-8469-0098-1
2. Шахова Е. Г., Козловская С. Е., Пелих Е. В., Зайцев В. А., Беркалиева Г. П. Атлас тимпаногамм : учебно-наглядное пособие для студентов. Волгоград: ВолгГМУ, 2018. 17 с.
3. Onusko E. Tympanometry. *American Family Physician*. November, 2004, vol. 70, no. 9, pp. 1713-1720.
4. Методические рекомендации по проведению предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) водолазов и других работников, работающих в условиях повышенного давления : утверждены заместителем руководителя Федерального медико-биологического агентства, председателем Центральной водолазно-медицинской комиссии при Федеральном медико-биологическом агентстве В. А. Рогожниковым 14 марта 2011 г. Приложение № 3. Информационно-правовой портал ГАРАНТ [эл. ресурс] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71786992/?ysclid=lvqff3zqz4689771456> (посл. посещение 3.05.2024)

REFERENCES

1. Boboshko M. YU., Lopotko A. I. *Sluhovaya truba* [Eustachian tube]. St. Petersburg, Dialog, 2014, 384 p. (In Russ.) ISBN 978-5-8469-0098-1
2. Shakhova E. G., Kozlovskaya S. E., Pelikh E. V., Zaitsev V. A., Berkalieva G. P. *Atlas timpanogramm* [Atlas of tympanograms]. *Uchebno-naglyadnoe posobie dlya studentov* [An educational and visual aid for students]. Volgograd, VolgSMU Publ., 2018, 17 p. (In Russ.)
3. Onusko E. Tympanometry. *American Family Physician*. November, 2004, vol. 70, no. 9, pp. 1713-1720.
4. *Metodicheskie rekomendacii po provedeniyu predvaritel'nyh i periodicheskikh medicinskih osmotrov (obsledovaniy) vodolazov i drugih rabotnikov, rabotayushchih v usloviyah povyshennogo davleniya* [Methodological recommendations for conducting preliminary and periodic medical examinations (examinations) of divers and other workers working in conditions of high pressure]. *Utverzhdeny zamestitelem rukovoditelya Federal'nogo mediko-biologicheskogo agentstva, predsedatelem Central'noj vodolazno-medicinskoj komissii pri Federal'nom mediko-biologicheskom agentstve V. A. Rogozhnikovym 14 marta 2011 g.* [Approved by the Deputy Head of the Federal Medical and Biological Agency, Chairman of the Central Diving and Medical Commission at the Federal Medical and Biological Agency V.A. Rogozhnikov. March 14, 2011]. *Prilozhenie № 3* [Appendix No. 3]. The information and legal portal GARANT [Digital resource]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71786992/?ysclid=lvqff3zqz4689771456> (last visit: 3.05.2024). (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кленков Ильяс Рифатьевич, кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры физиологии подводного плавания, федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации (Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6, лит. Ж).

ORCID: [0000-0002-1465-1539](https://orcid.org/0000-0002-1465-1539)

eLibrary SPIN: 9827-8535

e-mail: klen.ir@mail.ru

Комарова Ирина Владимировна, врач водолазной медицины, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А).

ORCID: [0009-0004-1978-1801](https://orcid.org/0009-0004-1978-1801)

e-mail: i.komarova@urc-rgs.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Klenkov Ilyas Rifatievich, PhD in Medical sciences, senior lecturer of the Department of physiology of scuba diving, Federal state budgetary military educational institution of higher education "Military Medical Academy named after S.M. Kirov" of the Ministry of defence of the Russian Federation (ul. Akademika Lebedeva, d. 6, lit. G, St. Petersburg, 194044, Russia).

ORCID: [0000-0002-1465-1539](https://orcid.org/0000-0002-1465-1539)

eLibrary SPIN: 9827-8535

e-mail: klen.ir@mail.ru

Komarova Irina Vladimirovna, Doctor of Diving Medicine, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

ORCID: [0009-0004-1978-1801](https://orcid.org/0009-0004-1978-1801)

e-mail: i.komarova@urc-rgs.ru

Михеева Екатерина Александровна, слушатель ординатуры по специальности «Водолазная медицина», федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации (Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6, лит. Ж).

ORCID: [0009-0004-3041-8915](https://orcid.org/0009-0004-3041-8915)

eLibrary SPIN: 3991–5109

e-mail: buzinka08@rambler.ru

Мясников Алексей Анатольевич, доктор мед. наук, профессор кафедры физиологии подводного плавания, федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации (Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6, лит. Ж).

ORCID: [0000-0002-7427-0885](https://orcid.org/0000-0002-7427-0885)

eLibrary SPIN: 2590–0429

e-mail: a_mjasnikov@mail.ru

Фокин Сергей Георгиевич, исполнительный директор АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А).

ORCID: [0000-0002-4351-1703](https://orcid.org/0000-0002-4351-1703)

e-mail: office@urc-rgs.ru

Хакимов Павел Рашидович, слушатель ординатуры по специальности «Водолазная медицина», федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации (Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6, лит. Ж).

e-mail: pavelkhakimov@mail.ru

Ярков Андрей Михайлович, кандидат медицинских наук, врач водолазной медицины, АНО «ЦПИ РГО» (Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А).

ORCID: [0000-0001-9349-0085](https://orcid.org/0000-0001-9349-0085)

e-mail: a.yarkov@urc-rgs.ru

Mikheeva Ekaterina Alexandrovna, residency student in the specialty "Diving medicine", Federal state budgetary military educational institution of higher education "Military Medical Academy named after S. M. Kirov" of the Ministry of defence of the Russian Federation (ul. Akademika Lebedeva, d. 6, lit. G, St. Petersburg, 194044, Russia).

ORCID: [0009-0004-3041-8915](https://orcid.org/0009-0004-3041-8915)

eLibrary SPIN: 3991–5109

e-mail: buzinka08@rambler.ru

Myasnikov Alexey Anatolyevich, M. D., D. Sc. (Medicine), Professor of the Department of physiology of scuba diving, Federal state budgetary military educational institution of higher education "Military Medical Academy named after S. M. Kirov" of the Ministry of defence of the Russian Federation (ul. Akademika Lebedeva, d. 6, lit. G, St. Petersburg, 194044, Russia).

Fokin Sergey Georgievich, Executive Director, Autonomous Non-Profit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

ORCID: [0000-0002-4351-1703](https://orcid.org/0000-0002-4351-1703)

e-mail: office@urc-rgs.ru

Xakimov Pavel Rashidovich, residency student in the specialty "Diving medicine", Federal state budgetary military educational institution of higher education "Military Medical Academy named after S. M. Kirov" of the Ministry of defence of the Russian Federation (ul. Akademika Lebedeva, d. 6, lit. G, St. Petersburg, 194044, Russia).

e-mail: pavelkhakimov@mail.ru

Yarkov Andrey Mikhailovitch, Candidate of Medical Sciences, Diving Medicine Physician, Autonomous NonProfit Organization "URC RGS" (ul. Zaxar`evskaya, d. 3, lit. A, St. Petersburg, 191123, Russia).

ORCID: [0000-0001-9349-0085](https://orcid.org/0000-0001-9349-0085)

e-mail: a.yarkov@urc-rgs.ru

Поступила в редакцию 13.02.2024

Поступила после рецензирования 05.04.2024

Принята к публикации 30.04.2024

Received 13.02.2024

Revised 05.04.2024

Accepted 30.04.2024

ПЕРЕДАЧА КОМПАСА ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ «СОМЪ»

10 мая 2023 года состоялась передача отреставрированного компаса подводной лодки Российского императорского флота «Сомъ» в фонды Центрального военно-морского музея имени Петра Великого. Подлодка погибла в Аландском море 10 мая 1916 года.





◁ Отреставрированный компас с подводной лодки «Сомъ»

В 1904 году в Кронштадт доставили американскую субмарину Fulton, которая приказом морского ведомства получила название «Сомъ». Подводная лодка была построена в 1901–1902 годах на верфи в США и после доставки доукомплектована на Невском заводе в Санкт-Петербурге. «Сомъ» для своего времени обладал прекрасными тактико-техническими характеристиками при скромных габаритах: длинна — 19,3 м, ширина — 3,58 м. Однокорпусная подводная лодка водоизмещением 105 т могла развивать скорость в надводном положении до 8,5 узла, а под водой — до 6 узлов, рабочая глубина погружения — 30 метров.

Первым командиром «Сома» стал князь Владимир Владимирович Трубецкой — смелый и весьма удачливый офицер Российского императорского флота. Служба субмарины началась во Владивостоке, и весьма продуктивно: именно она впервые прорвала противолодочные сети и прошла подо льдом. Позже лодка служила в Черном море, а после начала Первой мировой войны она была в экстренном порядке переправлена к Аландским островам Балтийского моря. Последним (десятым) командиром «Сома» стал 25-летний лейтенант Хрисанф Константинович Бугураев. Под его командованием 10 мая 1916 года во время очередного боевого дежурства субмарина шла на перископной глубине параллельно шведскому пароходу, а потом, судя по показаниям капитана, резко повернула к судну.

Под водой произошло столкновение, и больше от «Сома» вестей не было. По другой версии, капитан парохода сознательно протаранил подлодку, опасаясь досмотра. «Сомъ» затонул на глубине 88 метров. Погиб весь боевой экипаж: два офицера и 16 нижних чинов.

◁ Компас на церемонии передачи в ЦВММ





Компас в экспозиции музея

Подводная лодка «Сомь» была обнаружена в 2015 году в территориальных водах Швеции в 2,5 мили от берега вблизи порта Грислхамн (Grislhamn) международной группой дайверов-любителей, заявивших свои права на находку. В качестве доказательств обнаружения Шведскому правительству были представлены видеозапись и механически отделенный от корпуса компас лодки с нактоузом. Шведская сторона передала информацию посольству России в Швеции. Для ведения переговоров о проведении детальных подводных обследований и определения возможности безопасного судоподъема объекта, имеющего боевые торпеды на борту, была сформирована рабочая группа, куда с российской стороны вошли представители посольства России в Швеции, представители Центра подводных исследований Русского географического общества и представители Министерства обороны РФ.

Переговорный процесс начался в 2016 году. Сложный, бюрократически напряженный и затянутый, он касался широкого круга аспектов: от вопросов технического оснащения, степеней участия сторон и финансирования до предоставления гарантий осуществления безопасного судоподъема. В рамках работы международной группы было проведено одно подводное обследование объекта с применением телеуправляемого необитаемого подводного аппарата шведской береговой охраны. Российской стороной были разработаны несколько планов последующего детального обследования с использованием различных технических средств и несколько схем судоподъемных операций, которые были презентованы группе шведских экспертов. На всех этапах переговоров шведская сторона признавала права Российской Федерации на обнаруженную подводную лодку. Кроме того, шведской стороной в инициативном порядке был передан России компас с нактоузом, который к этому моменту несколько лет хранился на техническом складе без какой-либо обработки. Артефакт был доставлен дипломатической почтой и передан в реставрационную мастерскую ЦПИ РГО, где незамедлительно началась работа по его спасению для последующей музеефикации.

В свете текущей напряженной геополитической обстановки переговорный процесс по судоподъемной операции приостановлен.

АНАЛИЗ НАПИТКА В БУТЫЛКАХ С ТРЕХМАЧТОВОГО ГАЛЬОТА XVIII ВЕКА

В 2023 году на базе НИЦ «Курчатовский институт» был осуществлен анализ содержимого винных бутылок, поднятых с трехмачтового гальота в Балтийском море у Березовых островов. Судно следовало с торговым грузом на борту, его палуба была заставлена клетями с закупоренными бутылками. Изучение найденных среди его останков находок — новый этап описания международных отношений России со странами Европы в конце XVIII – XIX веках.

Образцы вина с гальота ▶

В лаборатории
НИЦ «Курчатовский институт»





В лаборатории генетических технологий виноградарства и виноделия КК НБИКС-пт был проведен на БИК анализаторе «ИнфраЛЮМ ФТ-12» химический анализ представленных образцов по следующим показателям: объемная доля этилового спирта, экстракт, титруемая кислотность, летучая кислотность, восстанавливающие сахара, водородный показатель (рН).

В ресурсном центре зондовой и электронной микроскопии (КК НБИКС-пт, отдел ресурсных центров) с помощью камеры растрового электронного микроскопа (РЭМ) Helios Nanolab 600 (ThermoFisher Scientific, США), оснащенного модулем AMETEK EDAX, определен элементный состав сухого осадка представленных образцов. Изображения поверхности были получены с помощью детектора вторичных электронов ETD (Everhart Thornley Detector) для демонстрации рельефа поверхности и детектора обратно рассеянных электронов CBS (Circular Backscatter detector) для демонстрации различий в элементном составе при ускоряющем напряжении 10 кВ и силе тока 11 нА.

В аналитической испытательной лаборатории Курчатовского комплекса химических исследований (ИРЕА) методом капиллярного электрофореза проводили исследование органических кислот в представленных образцах с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель-205». Исследование проведено в соответствии с аттестованной методикой М 04-47-2012 «Производство винодельческая, соковая, безалкогольная, слабоалкогольная и алкогольная, продукты пивоварения. Методика измерений массовой концентрации органических кислот и их солей методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза "Капель"».

Также в лаборатории исследовали образец стекла одной из бутылок посредством масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с приставкой лазерной абляции. Измерения проводилось на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ELAN DRC-e (PerkinElmer Inc., США) и лазерной абляцией NWR213 (New Wave Research Inc.).



△
Археолог ЦПИ РГО Роман Прохоров
со специалистами НИЦ «Курчатовский институт»



△
Бутылка с иризацией

Параметры работы масс-спектрометра: плазмообразующий поток аргона — $18 \text{ дм}^3/\text{мин}$, вспомогательный поток аргона — $1,2 \text{ дм}^3/\text{мин}$, пробоподающий поток аргона — $0,3 \text{ дм}^3/\text{мин}$, мощность радиочастотного генератора — 1250 Вт , время пребывания на массе (dwell time) — 10 мс , режим счета импульсов — прыжки по пикам (peak hopping). Параметры работы приставки лазерной абляции: расход гелия через ячейку с образцом — $0,5 \text{ дм}^3/\text{мин}$, диаметр пятна лазерного луча — 80 мкм , мощность лазерного луча — $6 \text{ Дж}/\text{см}^2$, частота импульсов лазерного луча — 10 Гц , шаблон сканирования — точка. Градуировку проводили по твердым стандартным образцам NIST SRM 610, NIST SRM 620.

Помимо вышеизложенных лабораторных изысканий, для понимания природы поднятых со дна Балтийского моря напитков был проведен исторический и органолептический анализы. По результатам можно предположить, что вина были непростыми, так как перевозились уже разлитыми по стеклянным бутылкам, а не бочками. Стекольное ремесло было на тот момент довольно редким и дорогим производством, которое могли себе позволить лишь небедные хозяйства (заказчики). Судя по заключениям дегустаторов, жидкости из бутылок, представленных на исследование, возможно, изначально были винами, но по истечении двухсотлетнего хранения в морской воде на глубине более 50 метров потеряли свою идентичность. К тому же, опираясь на мнение одного из дегустаторов, в заключении которого говорится: «...со вкусом — морской воды, соли, лекарств», полностью исключить контакт с морской водой нельзя.

В лаборатории глубокой переработки биомассы (КК НБИКС-пт, отдел прикладной биоэнергетики) определение наличия и количественного содержания летучих соединений образцов жидкостей из бутылок, представленных на исследование, проводили методом газовой хроматографии способом прямого ввода. Анализ проводили на газовом хроматографе Bruker 340 с пламенно-ионизационным детектором. Условия хроматографирования: колонка капиллярная FFAP длиной 50 м и внутренним диаметром 0,32 мм, толщина пленки неподвижной фазы — 0,25 мкм. Начальная температура колонки — 60 °С (выдержка 7 мин), повышение температуры от 60 до 220 °С со скоростью 20 °С/мин. Выдержка при конечной температуре — 10 мин. Газ-носитель — азот, 1 мл/мин, деление потока — 1:20. Температура испарителя — 220 °С, детектора — 250 °С. Объем пробы — 1 мкл. Из результатов видно, что во всех исследуемых образцах присутствуют летучие соединения, характерные для продуктов брожения виноградного сока. Таким образом, можно сделать заключение, что исследуемые жидкости изначально были винами.

При производстве вин, винных напитков в некоторых случаях сусло или виноматериал может подвергаться нагреванию. В технологии производства кагора, портвейна, мадеры предусматривается нагрев виноматериала до 55–90 °С, а для стабилизации вин часто применяют горячий розлив, при котором вино кратковременно нагревается до температур 55–60 °С.

На основании этого наиболее вероятно, что образцы 1 и 2 изначально представляли собой сладкие вина типа кагора, портвейна, мадеры, а образец 3, вероятно, изначально представлял собой белое сухое вино.

На следующем этапе, исследование образцов жидкостей из бутылок с затонувшего корабля проводили методом прямого масс-спектрометрического анализа на масс-спектрометре фирмы Agilent Technologies (США) модели 6410. Пробу вводили при помощи жидкостного хроматографа фирмы Agilent Technologies модели 1200, минуя хроматографическую колонку, направляя пробу сразу в ионизационную камеру детектора. Используемый метод ионизации — электроспрей.



△ Исследование содержимого бутылок в НИЦ «Курчатовский институт»



* Фотографии В. Ляшенко. Архив ЦПИ РГО



гидрокосмос.рф



HYDROCOSMOS

ГИДРОКОСМОС

ISSN 2949-3838