

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

---

**НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ**

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**20–21  
2005**

**МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

Санкт-Петербург

**Главный редактор**  
**д. т. н., проф. С. П. Алексеев**

**Редакционная коллегия:**

д. т. н., проф. А. Н. Добротворский (первый заместитель главного редактора);  
д. в. н., проф. П. Г. Бродский (заместитель главного редактора);  
д. т. н. П. И. Малеев (научный редактор); к. г.-м. н. И. Ю. Бугрова (редактор);  
В. Ю. Бахмутов (ответственный за выпуск); В. А. Авдонюшкин;  
к. т. н. С. П. Баринов; д. т. н., проф. Б. Н. Беляев; к. т. н. М. Л. Богданович;  
к. в.-м. н., проф. А. А. Дадашев; д. т. н., проф. Б. Е. Иванов;  
д. в. н., проф. А. И. Исмаилов; к. т. н. И. В. Капустин; д. в. н. В. А. Катенин;  
к. т. н. Н. И. Леденев; д. т. н., проф. Б. И. Лобойко;  
к. т. н. С. И. Мастрюков; д. в.-м. н., проф. А. П. Михайловский;  
д. т. н., проф. Н. Н. Неронов; д. т. н. А. Б. Опарин;  
д. т. н., проф. В. И. Пересыпкин; акад. РАН В. Г. Пешехонов;  
к. в. н. Ю. В. Румянцев; чл.-кор. РАН А. Е. Сазонов;  
чл.-кор. РАН А. И. Сорокин; к. т. н. С. В. Яценко

© Государственный научно-исследовательский  
навигационно-гидрографический институт  
Министерства обороны Российской Федерации

2005

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC  
INSTITUTE**

---

**NAVIGATION AND HYDROGRAPHY**

PUBLISHED SINCE 1995

**20–21  
2005**

**RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE**

---

Saint-Petersburg

# **Editor-in-chief**

## **S. P. Alekseyev, DSc, professor**

### **Editorial board**

A. Dobrotvorsky (first vice-editor-in-chief), DSc, professor;  
P. Brodsky (vice-editor-in-chief), DSc, professor;  
P. Maleyev, DSc (science editor);  
I. Bugrova (editor), CandSc; V. Bakhmutov (the issue manager);  
V. Avdonyushkin; S. Barinov, CandSc; B. Belyaev, DSc, professor;  
M. Bogdanovich, CandSc; A. Dadashev, CandSc, professor;  
B. Ivanov, DSc, professor; A. Ismailov, DSc, professor; I. Kapustin, CandSc;  
V. Katenin, DSc; N. Ledenev, CandSc; B. Loboiko, DSc, professor;  
S. Mastryukov, CandSc; A. Mikhaylovsky, DSc, professor;  
N. Neronov, DSc, professor; A. Oparin, DSc; V. Peresypkin, DSc, professor;  
V. Peshekhonov, DSc, Acad. RAS; Yu. Rumyantsev, CandSc;  
A. Sazonov, CM RAS; A. Sorokin, DSc, CM RAS;  
S. Yatsenko, CandSc

**© The State Research Navigation-Hydrographic Institute  
Russian Federation Ministry of Defence**

**2005**

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАВИГАЦИЯ

- С. П. Алексеев.** О реализации национальной морской политики и обеспечении комплексной безопасности освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа России..... 9
- Б. Е. Иванов.** Об оценке соответствия технических средств навигации и гидрографии требованиям тактико-технического задания по средней квадратической погрешности измерения ..... 18
- С. В. Яценко, В. А. Титлянов, Г. И. Емельянцеv, Г. А. Левит.** Перспективы развития корабельных интегрированных навигационных систем ..... 26
- Б. Е. Иванов.** Оценка статистических характеристик наибольшего и наименьшего модулей погрешности..... 34
- А. Н. Добротворский, П. И. Малеев, А. А. Хребтов.** Перспективы создания автоматизированных навигационно-магнитометрических систем морского мониторинга нефтегазовых трубопроводов ..... 40
- В. М. Пантелеев.** Упрощенный метод расчёта времени входа/выхода искусственного спутника земли в зону/из зоны видимости потребителя..... 48

### ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

- Н. П. Лаверов, В. П. Кеонджан, М. А. Жданов, А. А. Островский, И. В. Лавренов, А. Н. Добротворский, В. М. Смолин, А. А. Федоров, Б. И. Сиренко, Дж. Колдер, К. Крэйи, Т. Витледж.** Совместная российско-американская экспедиция «Русалка-2004». Цели, описание работ и основные результаты ..... 54
- И. В. Лавренов, А. Н. Добротворский.** Оценка гидрологических условий в Чукотском море по данным экспедиции «Русалка-2004»..... 64
- С. П. Алексеев, А. М. Абрамов, К. Г. Стаvров**
- П. П. Шерстянкин.** Гидрографические исследования озера Байкал и их использование в цифровой картографии ..... 78
- С. И. Суханов, С. А. Дружевский.** Анализ синоптических условий Новороссийской боры, которые привели к аварийным происшествиям с судами ГС «Арктика» и БГК-775 в декабре 2002 г. .... 88
- Н. А. Жилина, К. И. Полканов, В. Ю. Романов, С. А. Васильев, Д. А. Смелов.** Измеритель скорости звука в морской воде ..... 98

## ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ

<b>Ю. Н. Жуков.</b> Классификация приливных колебаний по топологическому основанию .....	103
<b>С. И. Мاستрюков, В. Г. Лямзина.</b> Оценка тенденций изменения температуры и солености воды в южной части Баренцева моря .....	111
<b>Ю. Н. Жуков.</b> Алгоритмические проблемы обработки геопространственной информации большого объема .....	115
<b>В. И. Лапшин, А. А. Федоров.</b> Анализ возможных вариантов построения корабельной системы температурно-ветрового зондирования атмосферы .....	122
<b>К. Г. Ставров.</b> Оценка возможности выделения подводных сейсмоакустических сигналов на фоне шумов морской среды для прогноза цунами .....	128
<b>Б. И. Сиренко, И. В. Лавренов.</b> Биологическая продуктивность и циркуляция вод в Чукотском море .....	134
<b>В. С. Аносов, С. А. Дружевский, Г. И. Ильющенко, А. И. Никифоров.</b> К вопросу определения параметров парашютной системы для авиационной постановки дрейфующих автономных гидрометеорологических станций .....	153
<b>С. М. Усенков.</b> Донные отложения как индикаторы загрязнения восточной части Финского залива .....	164
<b>П. И. Малеев.</b> Нетрадиционные источники энергии .....	175
<b>В. С. Красовский, А. П. Васильев.</b> Инновационные разработки двойного назначения .....	185
<b>ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ</b> .....	191

---

**C O N T E N T S**
**NAVIGATION**

- S. P. Alekseyev.** On Realization of National Maritime Policy and Provision of Complex Safety for Exploration and Development of the Oil and Gas Potential on the Continental Shelf of Russia ..... 9
- B. E. Ivanov.** On the Estimate of Conformity of Technical Aids to Navigation and Hydrography to the Design and Operational Requirements for the Root Mean Square Measurement Error ..... 18
- S. V. Yatsenko, V. A. Titlyanov, G. I. Yemelyantsev, G. A. Levit.** Prospects for Development of Shipboard Integrated Navigation Systems .... 26
- B. E. Ivanov.** Evaluation of Statistical Characteristics for the Largest and Smallest Error Modules ..... 34
- A. N. Dobrotvorsky, P. I. Maleyev, A. A. Khrebtov.** Prospects for Creating the Automated Navigation-Magnetometric Systems for the Marine Monitoring of Oil and Gas Pipelines..... 39
- V. M. Panteleyev.** Simplified Method for Calculation of the Satellite Entry/Exit Time Into/Out of the User Visibility Zone..... 47

**HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY**

- N. P. Laverov, S. P. Alekseyev, V. P. Keondjian, M. A. Zhdanov, A. A. Osrtovskiy, I. V. Lavrenov, A. N. Dobrotvorsky, A. A. Fedorov, V. M. Smolin, B. I. Sirenko, J. Calder, K. Crane, V. Whitledge.** Main Results Obtained by the Rusalca-2004 Expedition and Prospects for Their Employment to Solve the Problems of Climatology and Bioproduction in the Eastern Part of the Arctic ..... 53
- I. V. Lavrenov, A. N. Dobrotvorsky.** Evaluation of Hydrological Conditions in the Chukchi Sea Using the Data of RUSALCA-2004 Expedition..... 63
- S. P. Alekseyev, A. M. Abramov, K. G. Stavrov, P. P. Sherstyankin.** Hydrographic Surveys of Lake Baikal and Employment of their Data in Digital Cartography ..... 77
- S. I. Sukhanov, S. A. Druzhevskiy.** Analysis of Synoptic Conditions of the Novorossiysk Bora in December 2002 ..... 87
- N. A. Zhilina, K. I. Polkanov, V. Y. Romanov, S. A. Vasilyev, D. A. Smelov.** Meter of Sound in Sea Water ..... 97

**HYDROMETEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY**

<b>Y. N. Zhukov.</b> Classification of Tidal Variations on Topological Basis .....	102
<b>S. I. Mastryukov, V. G. Lyamzina.</b> Estimate of Trends for Water Temperature and Salinity Changes in the Southern Part of the Barents Sea .....	110
<b>Y. N. Zhukov.</b> Algorithmic Problems of Processing the Large-Volume Geospatial Information .....	115
<b>V. I. Lapshin, A. A. Fedorov.</b> Analysis of the Possible Variants of Designing the Shipboard System for the Atmospheric Temperature-Wind Probing .....	121
<b>K. G. Stavrov.</b> Estimate of Possibility to Discriminate the Submarine Seismoacoustic Signals against the Background of the Marine Environment Noise for Tsunami Forecasts .....	127
<b>B. I. Sirenko, I. V. Lavrenov.</b> Bioproduction and Water Circulation in the Chukchi Sea .....	134
<b>V. S. Anosov, S. A. Druzhevsky, G. I. Ilyushchenko, A. I. Nikiforov.</b> On Finding the Parachute System Parametres for Placement of Drifting Self-Contained Hydrometeorological Stations from Aircraft .....	152
<b>S. M. Usenkov.</b> Bottom Sediments as Indicator of Contamination in the Eastern Gulf of Finland, the Baltic Sea .....	163
<b>P. I. Maleyev.</b> Unconventional Energy Sources .....	174
<b>V. S. Krasovsky, A. P. Vasilyev.</b> Innovation Dual-Purpose Developments	184
<b>INFORMATION ABOUT AUTHORS</b> .....	190

---

# НАВИГАЦИЯ

---

ГРНТИ 38.53.29

**О РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОЙ МОРСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБЕСПЕЧЕНИИ  
КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО ПОТЕНЦИАЛА  
КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА РОССИИ**

**С. П. АЛЕКСЕЕВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Обсуждаются вопросы, связанные с участием Военно-Морского Флота России в создании комплексной системы обеспечения безопасности при освоении и эксплуатации нефтегазовых месторождений на континентальном шельфе России. Предлагаются меры эффективного использования возможностей ВМФ в создании данной системы.*

Реализации положений Морской доктрины Российской Федерации в области освоения энергетических ресурсов Мирового океана и роли в этом процессе научно-технического потенциала Военно-Морского Флота посвящено немало публикаций, в том числе и на страницах настоящего журнала [1–5]. Тем не менее эта тема остается актуальной и, в частности, вопрос обеспечения комплексной безопасности освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации.

Исходя из оценки Министерства природных ресурсов России ее континентальный шельф по площади является самым крупным в мире и содержит начальные суммарные ресурсы в размере 136 млрд тонн условного топлива, а подтвержденные запасы морских месторождений составляют 19,8 млрд тонн.

С сокращением запасов углеводородов на суше России единственной возможностью сохранить и увеличить текущий уровень их добычи, является освоение шельфа.

В связи с этим и с учетом мировой практики реализации крупнейших проектов освоения шельфа предлагается ряд мер в этой сфере недропользования. Одной из таких мер должно быть создание комплексной системы обеспечения безопасности (КСБ).

Анализ региональных направлений национальной морской политики показал, что уже сегодня созданы или находятся на различных стадиях проектирования и строительства крупные объекты, обеспечивающие добычу, переработку и транспортировку углеводородов на море.

С достаточной уверенностью можно сделать вывод о том, что в первые десятилетия XXI века на континентальном шельфе РФ будут эксплуатироваться:

- значительное количество месторождений углеводородов в Баренцевом, Печорском и Карском морях, на полуострове Ямал и в примыкающих акваториях, на шельфе о. Сахалин и в Каспийском море;
- крупные трубопроводные системы: «Голубой поток», трубопроводная система Штокмановского газоконденсатного месторождения, Северо-Европейский газопровод и др.;
- ряд транспортных систем для доставки сжатого и сжиженного газа на удаленные рынки зарубежных государств на арктическом, атлантическом и тихоокеанском региональных направлениях;
- танкерные транспортные системы для обеспечения вывоза нефти и нефтепродуктов на международные рынки.

Реализация шельфовых проектов предполагает привлечение весьма крупных инвестиций. Суммарный спрос на инвестиции по региональным направлениям национальной морской политики на период до 2020 г. оценивается величиной 70–110 млрд. долл., а в период до 2030–2040 гг. спрос может достичь величины 130–150 млрд. долл. Если будут обеспечены требуемые параметры инвестиционного процесса, то к 2020 г. континентальный шельф может занять одно из первых мест среди нефтегазодобывающих провинций России.

Обеспечить требуемые параметры инвестиционного процесса можно только путем привлечения ресурсов крупных зарубежных компаний и международных финансовых институтов. Важным показателем инвестиционного климата является уровень развития системы обеспечения безопасности освоения и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений.

Добыча и транспортировка углеводородов относятся к числу наиболее опасных видов человеческой деятельности. Даже в странах, обладающих 30–40-летним опытом работы в этой области, сохраняется вероятность крупных аварий и катастроф на объектах обустройства морских нефтегазовых месторождений. Поэтому обеспечение безопасности, без преувеличения, – это императив основных систем зарубежных стандартов (американской, канадской, британской, DNV) и деятельности в области морской нефтегазовой индустрии.

Такое же внимание стали уделять этому вопросу и в Российской Федерации, особенно после принятия Федерального закона «О техническом регулировании», который ориентирован на гармонизацию российской и зарубежной нормативных баз в сфере обеспечения безопасности через общие и специальные технические регламенты в период с 2003 по 2010 гг.

В то же время инвестиционная емкость проектов освоения морских нефтегазовых месторождений и глубокая интеграция решаемых задач с

развитием высокотехнологичных отраслей промышленности позволяет рассматривать освоение морских нефтегазовых месторождений как одно из фундаментальных условий реализации современной инновационной политики Российской Федерации, призванной обеспечить существенное ускорение темпов роста отечественной экономики.

Таким образом, инвестиционная привлекательность проектов освоения шельфовых месторождений, степень участия в них на современном технико-технологическом уровне российских предприятий, защищенность государственных интересов от последствий крупных аварий на морских нефтегазовых месторождениях в значительной степени зависят от наличия системы, регламентирующей морскую деятельность с позиций безопасности. В настоящее время такая система отсутствует.

В соответствии с Морской доктриной Российской Федерации на период до 2020 г. [6] Россия реализует последовательную и преемственную национальную морскую политику путем выполнения краткосрочных и долгосрочных задач, согласованных по функциональным и региональным направлениям.

Одним из важных функциональных направлений национальной морской политики является освоение минеральных и энергетических ресурсов. Деятельность государства и общества в данной сфере морской деятельности предполагает решение ряда долгосрочных задач, в том числе:

- изучение геологического строения и определение ресурсного потенциала континентального шельфа России путем государственного мониторинга геологической среды, а также исследования физических полей над океанским дном, его картографирование, бурение и проведение грузоподъемных работ со дна;
- освоение минеральных и энергетических ресурсов Мирового океана;
- государственный контроль и регулирование разведки и мониторинга полезных ископаемых и минеральных ресурсов в Мировом океане с учетом оборонных интересов государства;
- интенсивная разведка нефти и природного газа на континентальном шельфе Российской Федерации и разработка известных месторождений;
- разработка новых технических средств и передовых технологий для изучения и освоения минеральных ресурсов Мирового океана и продолжение работ в области специального судостроения.

Пути решения указанных задач предлагается определить в Стратегии изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации и Комплексном плане действий по ее реализации.

Разработка указанных документов ведется на основании решения Морской коллегии при Правительстве Российской Федерации от 17.10.2003 г. и поручения Правительства Российской Федерации от 12.05.2005 г.

С целью обеспечения должного уровня разработки указанных документов образована Межведомственная комиссия, которая при участии

руководителей заинтересованных федеральных органов и исполнительной власти должна доработать проекты Стратегии и Комплексного плана для утверждения их в Правительстве Российской Федерации.

На основании позиции Минобороны России по реализации поручения Президента Российской Федерации от 22.10.2002 г. № Пр-1888 предложено ввести в указанные документы самостоятельным разделом положение об обеспечении комплексной безопасности изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа.

Данное предложение рассматривается как один из возможных механизмов расширения участия российских предприятий в работах по освоению морских нефтегазовых месторождений, выполняемых в том числе на условиях Федерального закона «О соглашениях о разделе продукции» [7], а с учетом необходимости привлечения больших объемов финансирования для разработки морских месторождений реализация предложений Минобороны России становится еще и важным фактором инвестиционной привлекательности проектов и составной частью совершенствования системы управления процессом изучения и освоения шельфа Российской Федерации.

Суть предложений Минобороны состоит в создании системы, регламентирующей морскую деятельность с позиций безопасности на основе технологий сквозной оценки и управления рисками с учетом требований Федерального закона «О техническом регулировании» [8]. При реализации КСБ обеспечивается демпфирование общей угрозы безопасности освоения, эксплуатации морских нефтегазовых месторождений и транспортировки добываемой продукции континентального шельфа, а также снижение рисков до приемлемого уровня в интересах обеспечения требуемого уровня защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства.

Указанная организационно-техническая система по своему содержанию является сбалансированной совокупностью нормативных положений, проектных, технических, организационных решений и практических мероприятий, осуществляемых при освоении и эксплуатации нефтегазовых месторождений и транспортировки их продукции на морских акваториях. Функционирование системы обеспечивает комплексную сквозную оценку и снижение рисков до приемлемого уровня на всех этапах жизненного цикла объектов на основе реализации соответствующих демпфирующих мероприятий.

Состав программных мероприятий по созданию КСБ определяется по следующим направлениям:

– совершенствование системы нормативно-правового регулирования в сфере обеспечения комплексной безопасности изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации от угроз окружающей среде, населению, персоналу и имуществу, обусловленных, в частности:

- а) процессами и явлениями в геологической среде;
  - б) военными действиями, оборонной и экономической деятельностью на море;
  - в) природно-климатическими и гидрометеорологическими факторами;
  - г) опасностями техногенного происхождения;
  - д) нештатными технологическими процессами и явлениями;
  - е) террористическими угрозами и др.;
- технико-технологическая реализация КСБ и ее интегрирование со структурами Единой системы информации о Мировом океане (ЕСИМО) и Единой государственной системы освещения надводной и подводной обстановки (ЕГСОНПО);
  - формирование сбалансированного комплекса мероприятий, демпфирующих угрозы реализации проектов изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа РФ;
  - отраслевая и региональная привязки КСБ на региональных направлениях национальной морской политики;
  - совершенствование координации и взаимодействия федеральных органов исполнительной власти и органов исполнительной власти субъектов РФ в рамках обеспечения комплексной безопасности.

Комплексная система безопасности строится по региональному принципу и предусматривает создание ориентированных на конкретные регионы подсистем, учитывающих специфические природно-климатические условия, местные нормативно-правовые положения и показатели реализуемых проектов.

В практическом плане для обеспечения требуемого уровня условий реализации целей и задач Морской доктрины, показателей энергетической политики и содержания стратегии изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа на базе использования научно-технического потенциала Минобороны проведены работы и осуществлен ряд конкретных мероприятий организационного и технического характера в интересах КСБ.

При этом участие Военно-Морского Флота в разработке положений и реализации государственной стратегии изучения и освоения минерально-сырьевых ресурсов континентального шельфа Российской Федерации определяется рядом документов (Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 г. [8]; «Основы политики РФ в области военно-морской деятельности» [9]; и др.).

Указанными документами определено, что приоритетными направлениями Российской Федерации в области военно-морской деятельности являются:

- охрана принадлежащих Российской Федерации природных ресурсов, а также ресурсов за пределами исключительной экономической зоны

Российской Федерации, где в соответствии с международными договорами она обладает правами на их сохранение и использование;

– обеспечение безопасности плавания, производственной и иной деятельности российских судов в Мировом океане.

В состав основных задач ВМФ входят:

– создание и поддержание условий безопасности экономической и других видов деятельности Российской Федерации в ее территориальном море, исключительной экономической зоне, на континентальном шельфе, а также в удаленных районах Мирового океана;

– участие в океанографическом, гидрометеорологическом, картографическом, поисково-спасательном обеспечении деятельности соответствующих государственных органов и иных организаций;

– обеспечение навигационной безопасности мореплавания.

Вместе с тем роль ВМФ в решении задачи повышения эффективности изучения и освоения минерально-сырьевых ресурсов континентального шельфа не ограничиваются указанными аспектами, так как:

– работы на континентальном шельфе по освоению морских нефтегазовых месторождений и их транспортное обслуживание производятся в операционной зоне действий наших флотов;

– объекты обустройства морских месторождений углеводородов являются потенциальными целями военной и террористической деятельности;

– навигационно-гидрографическое обеспечение морских путей, разработка морских коридоров и схем разделения движения в территориальном море возложено на федеральный орган исполнительной власти в области обороны.

За последние годы в Минобороны накоплен значительный потенциал и опыт, что может быть использовано в интересах освоения ресурсов шельфа.

Необходимость совершенствования взаимодействия федеральных органов исполнительной власти в этой сфере морской деятельности подтверждают и результаты комплексного специального учения на платформе «Моликпак» (о. Сахалин) в ходе командно-штабного учения Тихоокеанского флота.

Государственным интересам Российской Федерации соответствовало бы использование высвобождающейся в ходе сокращения ВМФ части системы базирования флотов, необходимой для разработки и освоения месторождений континентального шельфа соответствующими компаниями и структурами, осуществляющими морскую деятельность. Вклад этот может быть весьма значительным, если учесть, что, как правило, разработка и освоение производятся на шельфе окраинных морей в удаленных районах побережья и в районах с тяжелыми климатическими условиями. Высвобождаемые объекты ВМФ имеют развитую инфраструктуру, значительные возможности по ремонту и обслуживанию судового состава, большой ресурс

высококвалифицированного технического персонала, причальный фронт, средства навигационного оборудования и др.

На стадии изыскательских и проектных работ Министерство обороны (ВМФ) может внести значительный вклад в эффективность морской деятельности на континентальном шельфе Российской Федерации. Накопленные в ВМФ результаты многолетних разноплановых морских научных и прикладных изысканий реализованы в уникальных по объему и содержанию информационных базах данных по Мировому океану. Эта информация является чрезвычайно важной для выполнения любых работ при обустройстве месторождений на континентальном шельфе.

Кроме того, имеющиеся в распоряжении ВМФ научно-исследовательские суда, оборудованные современной аппаратурой для выполнения морских изысканий, и отработанные технологии выполнения этих работ персоналом судов ВМФ, несомненно, могут в значительной степени способствовать ускорению выполнения одной из самых трудоемких и дорогих фаз практически любого проекта на континентальном шельфе – стадии морских инженерных изысканий – и повышению их качества.

Сохраняющийся в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока значительный контингент бывших военнослужащих, прекрасно знающих все особенности местных условий и имеющих практический опыт реализации сложных инженерных и научных задач, может составить основу персонала для решения всех проблем, связанных с обустройством и эксплуатацией минерально-сырьевых ресурсов на континентальном шельфе.

В ВМФ имеется положительный опыт совместной деятельности со структурами, осуществляющими профильную морскую деятельность на континентальном шельфе Российской Федерации. С участием ВМФ реализованы важные для энергетической стратегии государства проекты по разработке месторождений Приразломное и Штокмановское, проекты «Сахалин-1», «Сахалин-2» и другие. Наиболее тесное сотрудничество в области совместного планирования и реализации крупных проектов на континентальном шельфе в последние годы наметилось между ВМФ Российской Федерации и ОАО «Газпром». Это взаимодействие позволяет успешно решать проблемы по таким важнейшим направлениям, как:

- перевозка газа специализированными судами-газовозами;
- оптимизация трасс трубопроводных систем с удаленных морских месторождений на берег;
- размещение на побережье заводов по производству сжиженного газа, строительство терминалов;
- размещение производственной и вспомогательных баз для обслуживания месторождений;
- проектирование систем морской транспортировки газа на удаленные рынки и др.

В интересах обеспечения работ по освоению ресурсов на континентальном шельфе представляется целесообразным использовать разрабатываемую глобальную государственную информационную систему освещения морской обстановки (ЕСИМО) и сопряженный с ней военный контур Единой государственной системы освещения надводной и подводной обстановки (ЕГСОНПО). Это позволит оценивать реально складывающуюся обстановку в различных районах и эффективно планировать использование сил ВМФ при решении задач защиты морских коммуникаций, охраны судов и месторождений и обеспечения морской деятельности государства на континентальном шельфе.

Создание Комплексной системы безопасности позволит сбалансированно интегрировать вопросы военного характера и защиты государственных интересов РФ при обустройстве месторождений на континентальном шельфе, а также адаптировать систему управления рисками применительно к конкретным условиям обстановки.

В настоящее время начата практическая работа по реализации КСБ на объектовом, отраслевом, региональном уровнях и ее интеграции в международные системы обеспечения безопасности морской деятельности:

- ведется проектирование комплексной системы обеспечения безопасности Северо-Европейского газопровода, включая береговой терминал и компрессорную станцию «Портовая»;
- ведется проектирование комплексных систем обеспечения безопасности морской транспортировки сжиженного и сжатого природного газа на арктическом и атлантическом направлениях национальной морской политики;
- «Планами совместной деятельности ОАО «Газпром» и ВМФ России на 2004 и 2005 гг. в области освоения энергетических ресурсов шельфа Российской Федерации и повышения безопасности морских объектов обустройства и эксплуатации нефтегазового комплекса» предусмотрено отдельное направление «Создание комплексной системы обеспечения безопасности (КСБ) освоения и эксплуатации объектов ОАО «Газпром»»;
- выполняются в рамках проекта «Сахалин-1» и планируются в рамках проекта «Сахалин-2» работы по реализации элементов КСБ в части навигационно-гидрографического обеспечения строительства морских сооружений и буксировки морских нефтегазодобывающих платформ;
- начаты консультации по интеграции элементов КСБ в международные системы обеспечения безопасности морской деятельности на акватории Балтийского моря (проект HELCOM).

В период 13–15 сентября 2005 г. в Санкт-Петербурге была проведена 7-ая Международная конференция и выставка по освоению нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа СНГ (RAO/GIS OFFSHORE 2005). В рамках указанного мероприятия было впервые организовано проведение круглого стола по теме «Комплексная система обеспечения

безопасности при освоении континентального шельфа» с обсуждением научных аспектов данного вопроса.

С принятием соответствующего решения Правительства Российской Федерации будут развернуты полномасштабные практические работы по созданию КСБ, что может явиться одним из важных вкладов в повышение эффективности морской деятельности государства на континентальном шельфе России. Совещание по данному вопросу включено в План работы Морской коллегии при Правительстве РФ на октябрь 2005 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С. П., Бродский П. Г., Добротворский А. Н. Научно-технический потенциал военной навигации, гидрографии и океанографии на службе национальной экономики // Навигация и гидрография. – 2001, – № 12. – С. 14–28.
2. Алексеев С. П. Стратегия развития Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО РФ // Навигация и гидрография. – 2000. – № 10. – С. 7–26.
3. Алексеев С. П., Добротворский А. Н., Бродский П. Г. НГО и ГМО морской деятельности в контексте выработки стратегии изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа России // Навигация и гидрография. – 2002. – № 14. – С. 9–13.
4. Алексеев С. П. Актуальные проблемы повышения эффективности процессов освоения и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений // Навигация и гидрография. 2003. № 16. – С. 8–15.
5. Алексеев С. П., Добротворский А. Н., Бродский П. Г. Военно-морской флот и освоение энергетических ресурсов Мирового океана: на пути реализации положений Морской доктрины России // Навигация и гидрография. – 2003. – № 17. – С. 9–14.
6. Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 г. // Красная звезда. – 23.08.2001
7. Федеральный закон от 30.12.95 «О соглашениях о разделе продукции» № 225-ФЗ.
8. Федеральный закон от 20.12.2002 «О техническом регулировании» № 184-ФЗ.
9. Основы политики Российской Федерации в области военно-морской деятельности на период до 2010 г.

On Realization of National Maritime Policy and Provision of Complex Safety for Exploration and Development of the Oil and Gas Potential on the Continental Shelf of Russia

**S. P. Alekseyev**  
(GNINGI, RF MoD)

*The problems connected with participation of the Russian Navy in creation of the complex safety provision system in exploration and development of the oil and gas fields on the continental shelf of Russia are discussed. Ways of effective employment of the Navy capabilities in creation of this system are proposed.*

ГРНТИ 78.21.41:78.21.37

**ОБ ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ И  
ГИДРОГРАФИИ ТРЕБОВАНИЯМ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ ПО  
СРЕДНЕЙ КВАДРАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ**

**Б. Е. ИВАНОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье предлагается оценивать соответствие точности средств навигации и гидрографии требованиям тактико-технического задания на основе оценки вероятности события, при котором истинная средняя квадратическая погрешность не превысит допустимую среднюю квадратическую погрешность.*

В тактико-технических заданиях (ТТЗ) на разработку технических средств навигации и гидрографии указываются предельная погрешность измерения и вероятность, характеризующая эту погрешность, или допустимая средняя квадратическая погрешность (СКП). Во время морских испытаний технических средств с ограниченным числом сравнения измеренных значений навигационного или гидрографического параметра с эталонными значениями возникает риск неверной оценки результатов испытаний. При этом в случае уменьшения объема испытаний существенно возрастает риск заказчика ошибочно признать годным изделие с недопустимо высоким уровнем погрешности [1]. В связи с изложенным объективная оценка результатов морских испытаний приобретает важное значение.

Особую сложность представляют испытания на соответствие требованиям ТТЗ по предельной погрешности измерения, поскольку эта погрешность не является статистической характеристикой ряда измерений. Автором [2] предложен субъективный подход к решению этой задачи, основанной на определении отношения гипотетического наибольшего модуля погрешности при достаточно большом объеме испытаний к фактически полученному наибольшему модулю погрешности при малом объеме испытаний.

При проведении морских испытаний получается ряд значений погрешности навигационного или гидрографического параметра, на основе которых рассчитывается оценка СКП. В этом случае оценка СКП является статистической характеристикой ряда измерений и имеет вероятностную меру. В связи с этим оценка соответствия точности технических средств навигации и гидрографии требованиям ТТЗ по допустимой СКП может быть выполнена объективно. В работе [3] предлагается подход к оценке соответствия точности навигационного комплекса требованиям ТТЗ на основе определения рисков заказчика и разработчика и установления справедливости одной из трех гипотез: о соответствии требованиям ТТЗ, о несоответствии требованиям ТТЗ и о неопределенности результатов испытаний. Возможны и

другие пути решения поставленной задачи. Один из них рассматривается в данной статье.

Пусть в результате проведения морских испытаний получено  $n$  значений погрешности независимых измерений навигационного или гидрографического параметра и на их основе вычислена оценка СКП  $m_n$ . Истинная СКП  $m$  неизвестна. В связи с этим она может быть охарактеризована только в вероятностном плане. Ставится задача определить вероятность события, при котором истинная СКП  $m$  не превысит допустимую СКП  $m_d$ .

Рассмотрим распределение «хи-квадрат». Ему подчиняется величина  $v$ , которая в соответствии с работой [4] связана с истинной СКП и оценкой СКП зависимостью

$$v = \frac{(n-1)m_n^2}{m^2}. \quad (1)$$

С учетом формулы (1) плотности распределения «хи-квадрат» и закона распределения функции случайного аргумента из работы [4] можно выразить плотность распределения  $f(m)$  истинной СКП

$$f(m) = \frac{2(n-1)m_n^2}{2^{\frac{n-1}{2}} \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right) m^3} \left[ \frac{(n-1)m_n^2}{m^2} \right]^{\frac{n-1}{2}-1} e^{-\frac{(n-1)m_n^2}{2m^2}}, \quad (2)$$

где  $\Gamma$  – гамма-функция.

В связи с тем, что при больших значениях  $n$  вычисление гамма-функции представляет определенную сложность, на практике целесообразно использовать ее натуральный логарифм, который является одним из операторов программы *Excel*. Тогда вместо формулы (2) можно написать

$$f(m) = \frac{2(n-1)m_n^2}{m^3} \times \exp\left[\left(\frac{n-1}{2} - 1\right) \ln \frac{(n-1)m_n^2}{m^2} - \frac{(n-1)m_n^2}{2m^2} - \frac{n-1}{2} \ln 2 - \ln \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)\right]. \quad (3)$$

По формуле (3) выполнены расчеты. На рис. 1 показано изменение плотности распределения  $f$  в зависимости от  $m$  при  $m_n=1$  для ряда значений  $n$ . Используя полученные данные, определены математическое ожидание  $M$ , мода  $M_0$  и соответствующий ей максимум плотности распределения  $f_m$ , а также среднее квадратическое отклонение (СКО)  $\sigma$  истинной СКП, которые приведены в табл. 1 для ряда значений  $n$ .

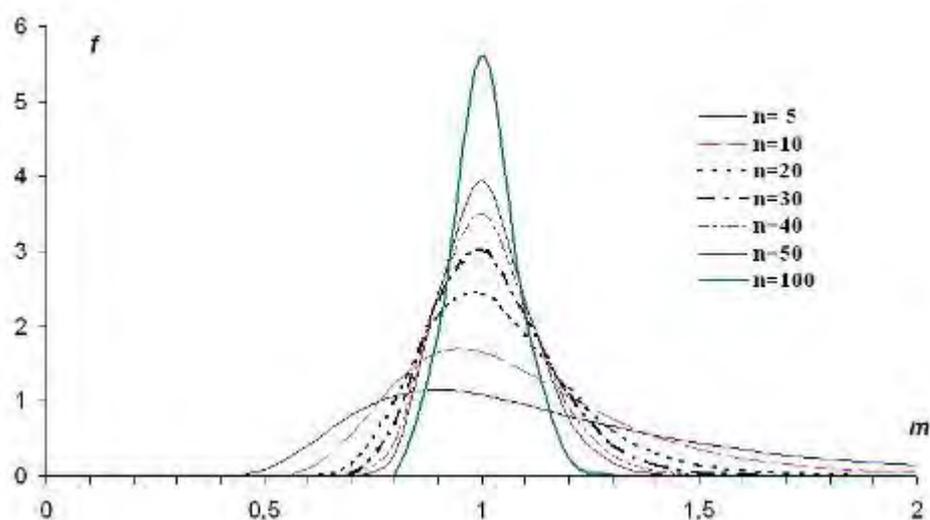


Рис. 1. Плотность распределения  $f$  истинной СКП  $m$  при числе  $n$  погрешностей

Таблица 1

Статистические характеристики истинной СКП

$n$	$M$	$M_{\Gamma}$	$M_{\Sigma}$	$M_o$	$f_m$	$Me$	$\sigma$	$\sigma_{\Gamma}$	$\sigma_{\Sigma}$
5	1,234	1,192	1,254	0,894	1,147	1,092	0,572	0,497	0,659
10	1,094	1,082	1,093	0,949	1,707	1,039	0,297	0,274	0,295
20	1,042	1,039	1,041	0,975	2,470	1,018	0,180	0,174	0,180
30	1,027	1,027	1,028	0,983	3,047	1,012	0,140	0,138	0,141
40	1,020	1,019	1,020	0,987	3,531	1,009	0,119	0,117	0,119
50	1,016	1,015	1,015	0,990	3,956	1,007	0,105	0,103	0,104
60	1,013	1,012	1,013	0,992	4,340	1,006	0,095	0,092	0,095
70	1,011	1,011	1,011	0,993	4,692	1,005	0,087	0,086	0,087
80	1,009	1,009	1,009	0,994	5,020	1,004	0,082	0,080	0,081
90	1,008	1,009	1,009	0,994	5,327	1,004	0,077	0,076	0,076
100	1,007	1,007	1,007	0,995	5,618	1,003	0,073	0,072	0,072
200	1,004	1,004	1,004	0,997	7,962	1,002	0,051	0,049	0,050
300	1,003	1,002	1,002	0,998	9,758	1,001	0,041	0,041	0,041
400	1,002	1,002	1,002	0,999	11,272	1,001	0,036	0,035	0,035
500	1,002	1,001	1,001	0,999	12,605	1,001	0,032	0,032	0,032
600	1,001	1,001	1,001	0,999	13,810	1,001	0,029	0,029	0,030
700	1,001	1,001	1,001	0,999	14,917	1,000	0,027	0,027	0,027
800	1,001	1,001	1,001	0,999	15,948	1,000	0,025	0,025	0,025
900	1,001	1,001	1,001	0,999	16,915	1,000	0,024	0,023	0,023
1000	1,001	1,001	1,001	1,000	17,829	1,000	0,022	0,022	0,022

Примечание. Величины  $M_{\Gamma}$ ,  $M_{\Sigma}$ ,  $Me$ ,  $\sigma_{\Gamma}$  и  $\sigma_{\Sigma}$  описаны ниже.

В соответствии с работой [5] функция распределения случайной величины  $v$  выражается зависимостью

$$F(v) = \frac{\gamma\left(\frac{n-1}{2}, \frac{v}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}, \quad (4)$$

где  $\gamma$  – неполная гамма-функция.

Подставив в формулу (4) выражение (1), получим функцию распределения  $F(m)$  истинной СКП  $m$ . Путем использования программы *Excel*, один из операторов которой соответствует формуле (4), вычислены значения  $F(m)$  при различных  $n$ . Результаты вычислений представлены на рис. 2. По полученным данным определена медиана  $Me$  истинной СКП, которая показана в табл. 1.

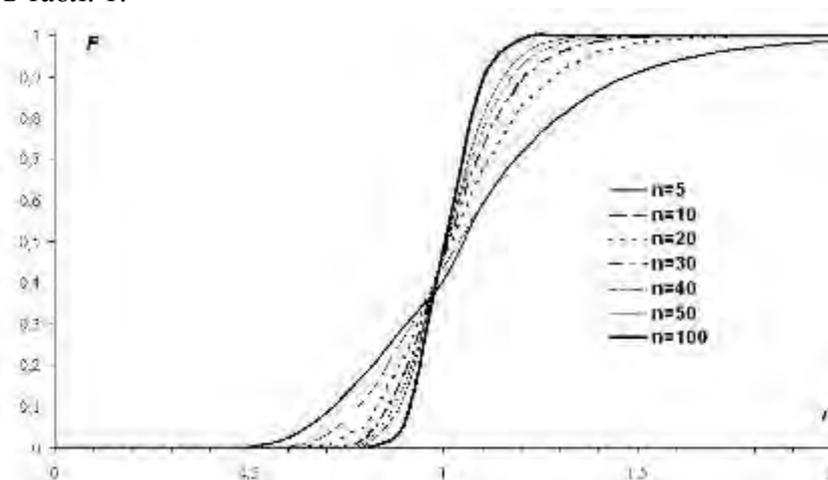


Рис. 2. Функция распределения  $F$  истинной СКП  $m$  при числе  $n$  погрешностей

Из рис. 1, 2 и табл. 1 видно, что наиболее вероятное значение истинной СКП  $m$  близко к оценке СКП  $m_n$ . Мода меньше медианы, а медиана меньше математического ожидания. При увеличении  $n$  кривая плотности распределения сжимается и максимум плотности распределения возрастает, математическое ожидание и медиана незначительно уменьшаются и приближаются к  $m_n$ , мода возрастает и также приближается к  $m_n$ , СКО существенно уменьшается. Вероятность появления  $m$ , превышающих  $m_n$ , больше вероятности появления  $m$ , меньших  $m_n$ . Разность между этими вероятностями составляет 0,2 при  $n=5$  и уменьшается при увеличении  $n$ .

Оценка достоверности полученных статистических характеристик истинной СКП выполнена методом статистического моделирования. Для этого на ЭВМ генерировались нормально распределенные случайные погрешности с нулевым математическим ожиданием и СКП, равной единице. Для каждого значения  $n$  создавались 30000 серий погрешностей. В каждой серии вычислялись СКП по формулам Гаусса (без оценки математического ожидания) и Бесселя (с оценкой математического ожидания) [6]. Для того чтобы результаты привести к ранее заданному условию  $m_n=1$ , в качестве

истинной СКП  $m$  использовались обратные значения вычисленных СКП. По последним данным определялись значения математического ожидания  $M_\Gamma$  и  $M_\text{Б}$  и СКО  $\sigma_\Gamma$  и  $\sigma_\text{Б}$ , где индексы «Г» и «Б» указывают на использование формул Гаусса и Бесселя соответственно. Полученные значения математического ожидания и СКО приведены в табл. 1, из которой видно, что значения  $M$ ,  $M_\Gamma$  и  $M_\text{Б}$  так же, как и значения  $\sigma$ ,  $\sigma_\Gamma$  и  $\sigma_\text{Б}$  достаточно близки друг другу. С увеличением  $n$  разность между соответствующими величинами становится пренебрежимо малой. Сказанное подтверждает достоверность полученных статистических характеристик истинной СКП.

Кроме того, методом статистического моделирования получены значения функции распределения  $F_M$  истинной СКП как отношение числа СКП, не превышающих заданное значение, к числу всех СКП. Значения  $F_M$ , полученные с использованием формулы Бесселя, представлены в табл. 2 совместно со значениями  $F$ , вычисленными по формулам (1) и (4). Из этой таблицы видно, что разница между значениями  $F_M$  и  $F$  не превышает 0,005. По полученным данным проверено правдоподобие гипотезы о согласовании теоретического  $F$  и статистического  $F_M$  распределений на основе критерия согласия А. Н. Колмогорова [4]. Оказалось, что для числа  $n$  от 5 до 1000 параметр  $\lambda$  не превышает 0,1, что в соответствии с работой [4] позволяет считать выбранную гипотезу правдоподобной.

Таблица 2

Значения функции распределения истинной СКП

$m$	$n=5$		$n=10$		$n=100$		$m$	$n=5$		$n=10$		$n=100$	
	$F$	$F_M$	$F$	$F_M$	$F$	$F_M$		$F$	$F_M$	$F$	$F_M$	$F$	$F_M$
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	0,50	0,50	0,59	0,59	0,89	0,89
0,1	0	0	0	0	0	0	1,8	5	2	3	4	6	6
0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,6	0,59	0,59	0,71	0,71	0,99	0,99
0,3	0	0	0	0	0	0	2,6	1	5	5	1	2	2
0,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,9	0,66	0,66	0,80	0,80	1,00	1,00
0,5	0	0	0	0	0	0	3,9	6	5	7	0	0	0
0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,7	0,72	0,72	0,86	0,86	1,00	1,00
0,7	0	0	0	0	0	0	4,8	4	8	9	0	0	0
0,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,8	0,77	0,77	0,91	0,91	1,00	1000
0,9	3	2	0	0	0	0	5,7	3	1	4	0	1,00	1,00
1,0	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,8	0,81	0,81	0,94	0,94	1,00	0
1,1	5	4	3	3	0	0	6,6	3	0	2	0	1,00	1,00
1,2	0,08	0,08	0,03	0,03	0,00	0,00	1,7	0,84	0,84	0,96	0,96	1,00	0
1,3	6	6	1	1	0	0	7,7	5	0	1	0	1,00	1,00
1,4	0,18	0,17	0,12	0,11	0,00	0,00	1,8	0,87	0,87	0,97	0,97	1,00	0
1,5	1	8	0	7	0	0	8,2	1	2	3	0	1,00	1,00
1,6	0,29	0,29	0,26	0,26	0,05	0,05	1,9	0,89	0,89	0,98	0,98	1,00	0
1,7	4	1	8	4	7	5	9,3	2	1	2	0	1,00	1,00
1,8	0,40	0,40	0,43	0,43	0,48	0,47	2,0	0,91	0,90	0,98	0,98	1,00	0
1,9	6	3	7	4	1	9	0	8	7	8	0	8	0

Путем численного дифференцирования величины  $F_M$  с шагом, равным 0,1, определен статистический ряд истинной СКП, который представлен в виде

гистограммы на рис. 3 для  $n=5$ . На этом же рисунке показана плотность распределения  $f$  в виде теоретической линии, рассчитанной по формуле (3). Из рис. 3 видно, что гистограмма достаточно точно отражает теоретическую линию. Это еще раз подтверждает достоверность теоретических зависимостей.

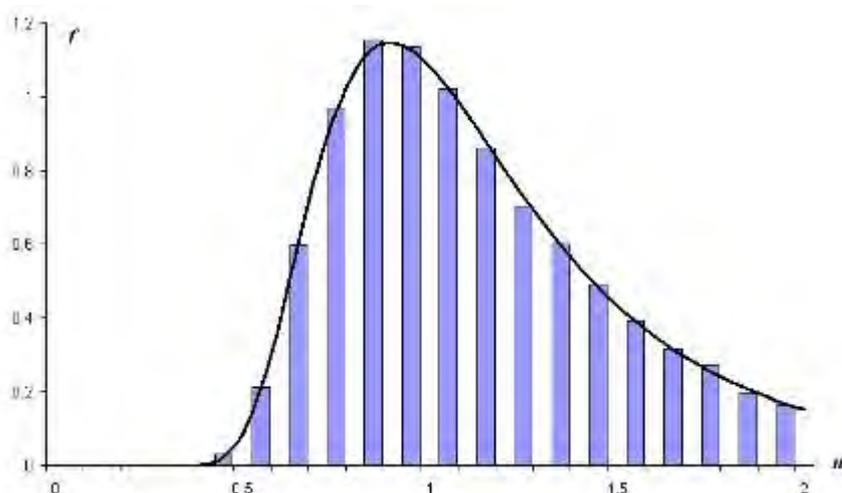


Рис. 3. Плотность распределения  $f$  истинной СКП  $m$  при  $n=5$ .  
Теоретическая линия и гистограмма

Рассмотрим, как изменяется оценка СКП  $m_{и}$  в зависимости от числа  $n$  погрешностей, полученных в результате испытаний. Если раньше рассматривалось распределение истинной СКП относительно оценки СКП, то сейчас, напротив, учитывается распределение оценки СКП относительно истинной СКП. Статистические характеристики оценки СКП  $m_{и}$  определялись методом статистического моделирования по процедуре, которая описана выше. При этом оценка СКП находилась по формуле Бесселя без преобразования в обратную величину. Полученные значения математического ожидания  $M^*$ , СКО  $\sigma^*$  и функции распределения  $F^*(0,5)$  и  $F^*(1,0)$  при  $m_{и}$ , равном соответственно 0,5 и 1,0, представлены в табл. 3 для  $n$ , равных 5, 10 и 100. Гистограмма оценки СКП для тех же значений  $n$  показана на рис. 4.

Таблица 3

Статистические характеристики оценки СКП

$n$	$M^*$	$\sigma^*$	$F^*(0,5)$	$F^*(1,0)$
5	0,941	0,342	0,087	0,593
10	0,972	0,231	0,012	0,566
100	0,997	0,071	0,000	0,524

Анализируя данные, приведенные в табл. 3 и на рис. 4, можно сделать вывод, что в вероятностном плане при проведении двух испытаний одного и того же технического средства с разным числом  $n$  погрешностей оценка СКП  $m_{и}$  будет меньше в том случае, когда  $n$  будет меньше.

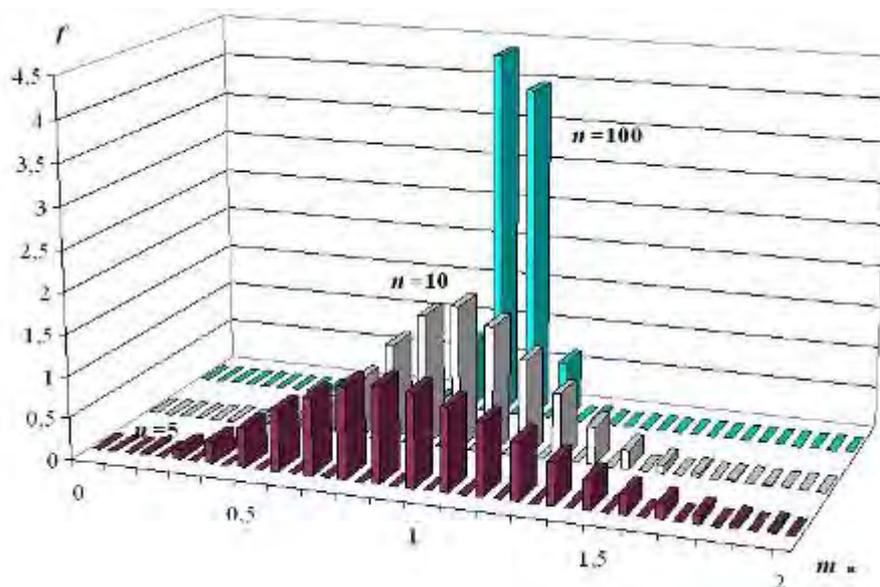


Рис. 4. Гистограммы оценки СКП  $m_i$  при числе погрешностей, равном 5, 10 и 100

Получив статистические характеристики СКП и проверив их достоверность, рассмотрим, каким образом можно использовать эти характеристики для оценки соответствия технических средств навигации и гидрографии требованиям ТТЗ. В ТТЗ на разработку этих технических средств обычно указывается, что «СКП измерения не должна превышать приведенную в ТТЗ допустимую СКП». Таким образом, соответствие технических средств заданным требованиям определяется событием, при котором истинная СКП  $m$  не превышает допустимую СКП  $m_d$ , то есть  $m \leq m_d$ . Вероятность  $P$  такого события соответствует вероятности выполнения ТТЗ по точности измерения навигационного и гидрографического параметра и может служить критерием при оценке результатов морских испытаний. Эта вероятность равна значению функции распределения истинной СКП при аргументе, равном  $m_d$ . При этом функция распределения должна быть получена на основе оценки СКП  $m_i$ . Значения вероятности  $P$  приведены в табл. 4.

Таблица 4

Вероятность  $P$  в зависимости от отношения СКП  $m_d/m_i$  и числа  $n$  погрешностей

$m_d/m_i$	Вероятность $P$ при числе $n$ погрешностей											
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
$n$												

$m_d/m_n$	Вероятность P при числе n погрешностей										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1,00	0,406	0,437	0,456	0,465	0,469	0,473	0,475	0,477	0,478	0,480	0,481
1,01	0	3	8	1	9	1	5	4	8	1	1
1,02	0,416	0,453	0,481	0,495	0,504	0,512	0,518	0,523	0,528	0,532	0,536
1,03	8	8	1	1	7	2	4	8	5	8	7
1,04	0,427	0,470	0,505	0,524	0,539	0,550	0,560	0,569	0,576	0,584	0,590
1,05	4	1	0	7	0	6	4	1	9	1	7
1,06	0,438	0,486	0,528	0,553	0,572	0,587	0,601	0,612	0,623	0,633	0,642
1,07	0	3	5	6	4	9	1	9	5	2	2
1,08	0,448	0,502	0,551	0,581	0,604	0,623	0,640	0,654	0,667	0,679	0,690
1,09	4	1	5	8	8	8	1	6	6	5	4
	0,458	0,517	0,574	0,609	0,636	0,658	0,677	0,693	0,708	0,722	0,734
	7	8	0	2	0	1	1	8	8	4	9
	0,468	0,533	0,596	0,635	0,665	0,690	0,711	0,730	0,746	0,761	0,775
	8	1	0	6	9	7	9	4	9	8	3
	0,478	0,548	0,617	0,661	0,694	0,721	0,744	0,764	0,781	0,797	0,811
	8	2	3	0	3	4	3	2	7	4	4
	0,488	0,563	0,637	0,685	0,721	0,750	0,774	0,795	0,813	0,829	0,843
	7	0	9	3	1	0	3	0	1	1	1
	0,498	0,577	0,657	0,708	0,746	0,776	0,801	0,822	0,841	0,857	0,870
	4	5	8	5	4	7	7	9	1	0	9

Таблица 4 (продолжение)

$m_d/m_n$	Вероятность P при числе n погрешностей										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1,10	0,508	0,591	0,677	0,730	0,770	0,801	0,826	0,847	0,865	0,881	0,894
1,20	0	6	0	6	1	2	7	9	9	3	7
1,30	0,595	0,714	0,828	0,888	0,925	0,948	0,964	0,975	0,982	0,987	0,991
1,40	7	7	5	6	1	7	3	0	4	5	1
1,50	0,668	0,805	0,915	0,959	0,979	0,989	0,994	0,997	0,998	0,999	0,999
1,60	6	1	4	6	9	8	7	2	5	2	6
1,70	0,728	0,868	0,960	0,986	0,995	0,998	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000
1,80	3	3	1	5	2	3	4	8	9	0	0
1,90	0,776	0,911	0,981	0,995	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000
2,00	5	4	6	7	0	7	9	0	0	0	0
	0,815	0,940	0,991	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	5	3	6	7	8	0	0	0	0	0	0
	0,847	0,959	0,996	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0	6	2	6	0	0	0	0	0	0	0
	0,872	0,972	0,998	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	4	5	2	9	0	0	0	0	0	0	0
	0,893	0,981	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	0,909	0,986	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	8	9	6	0	0	0	0	0	0	0	0

Порядок пользования табл. 4 рассмотрим на примере. Пусть в ТТЗ задана допустимая СКП  $m_d=100$  м. В процессе проведения морских испытаний получено 40 погрешностей, по которым вычислена оценка СКП  $m_n=83$  м. Прежде всего вычисляется отношение  $m_d/m_n=1,20$ . Затем входим в табл. 4 и по аргументам  $m_d/m_n=1,20$  и  $n=40$  получаем  $P=0,9251$ .

В случае реализации предлагаемого подхода в ТТЗ целесообразно указать, что «СКП измерения не должна превышать приведенную в ТТЗ допустимую СКП с вероятностью не менее заданной в ТТЗ вероятности». Поскольку СКП является статистической характеристикой только случайных погрешностей, в ТТЗ должны быть отражены требования и по систематическим погрешностям измерения навигационного или гидрографического параметра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Б. Е. О рисках разработчика и заказчика при испытании средств навигации и океанографии // Навигация и гидрография. – 2003. – № 16. – С. 19–23.
2. Иванов Б. Е. Оценка отношения значений наибольшего модуля погрешности при разном объеме испытаний средств морской навигации и океанографии // Навигация и гидрография. – 2003. – № 17. – С. 15–21.
3. Чумаков А. Ю., Михальский В. А. Оптимальный критерий соответствия точности навигационного комплекса требованиям тактико-технического задания // Тез. докл. Пятой российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2004»). – СПб.: ГНИНГИ МО РФ, 2004. – С. 34–35.
4. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. 3-е изд., испр. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
5. Справочник по вероятностным расчетам. 2-е изд., доп. и испр. / Г. Г. Абезгауз, А. П. Тронь, Ю. Н. Копенкин, И. А. Коровина. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.
6. Чеботарев А. С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей. – М.: Геодиздат, 1958. – 606 с.

On the Estimate of Conformity of Technical Aids to Navigation and Hydrography to the Design and Operational Requirements for the Root Mean Square Measurement Error

**B. E. Ivanov**  
**(GNINGI, RF MoD)**

*It is proposed to estimate the conformity of the aids to navigation and hydrography accuracy to the design and operational requirements, based on the estimate of the event probability at which the real rms error does not exceed the acceptable rms.*

ГРНТИ 73.34.15.

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**С. В. ЯЦЕНКО,**  
**В. А. ТИТЛЯНОВ,**  
**Г. И. ЕМЕЛЬЯНЦЕВ,**  
**Г. А. ЛЕВИТ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Приводится аналитический обзор путей развития морских интегрированных навигационных систем.*

Основными факторами, определяющими состав, тактико-технические и эксплуатационные характеристики, а также эффективность навигационного вооружения кораблей и судов начала XXI века, являются требования по точности, информационной автономности в условиях действия естественных и искусственных помех, стоимости, энергопотреблению, времени готовности и массогабаритным характеристикам. При этом должна учитываться необходимость автоматизации рабочего места штурмана.

Анализ современных мировых тенденций развития навигационного оборудования различных подвижных объектов позволяет отметить следующее.

Информационное обеспечение задач навигации, стабилизации, выставки и калибровки бортовых систем комплексов оружия и палубной авиации, а также управления движением кораблей требует непрерывной выработки навигационных и динамических параметров. Низкочастотные навигационные параметры определяют движение центра масс корабля, а высокочастотные динамические параметры характеризуют угловые и линейные перемещения заданной точки корабля с учетом качки и орбитального движения.

Основными измерителями указанных параметров движения корабля в интересах всех их потребителей являются инерциальные навигационные системы (ИНС).

Необходимость выполнения современных требований, предъявляемых к навигационному оборудованию кораблей, значительно ужесточает требования к точностным характеристикам инерциальных чувствительных элементов. Их реализация является сложной проблемой, связанной со значительными финансовыми и временными затратами. Поэтому исходя из мирового опыта и экономических соображений решение данной проблемы следует искать на путях интеграции как платформенных, так и бесплатформенных (бескарданных) ИНС с приемной аппаратурой (ПА) спутниковых навигационных систем (СНС) на интервалах времени возможного их использования. Таким образом, основу перспективного навигационного вооружения кораблей должны составлять интегрированные системы ориентации и навигации (ИСОИ), содержащие ИНС, информационно интегрированные с ПА глобальных СНС («Глонасс», «Навстар»).

ИСОИ должны разрабатываться как единые общекорабельные системы навигации и стабилизации. Структура их функциональных модулей и элементная база зависят от требуемых точностных и эксплуатационных характеристик. В настоящее время такие ИСОИ уже нашли конкретное воплощение в морских системах «Ладога-М» и «Кама-НС» [1, 2] (разработчики ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор» и ОАО Пермская научно-производственная приборостроительная компания соответственно).

В составе ИСОИ предусматривается также использование и электронных картографических навигационно-информационных систем.

Потенциальные преимущества бесплатформенных ИНС (БИНС) по сравнению с платформенными еще в конце 50-х гг. прошлого века привлекли внимание разработчиков и потребителей. К этим преимуществам следует отнести повышенную надежность, упрощение конструкции, компактность, меньшие стоимость и энергопотребление, удобство эксплуатации, отсутствие ограничений на угловые движения и погрешностей, связанных с наличием гиросtabilизированной платформы, а также большую ремонтпригодность. Однако реализация указанных преимуществ требует решения ряда сложных проблем. Главная из них – создание основных чувствительных элементов (гироскопов и акселерометров), обладающих необходимой точностью и значительно расширенным рабочим диапазоном. Кроме того, весьма существенным вопросом является повышение производительности и миниатюризация средств вычислительной техники, создание экономных алгоритмов, обеспечивающих минимизацию вычислительных затрат при заданной точности вычислений.

В составе БИНС могут использоваться как позиционные гироскопы, так и гироскопические датчики абсолютной угловой скорости (ДУС).

По сравнению с ДУС, используемыми в платформенных ИНС, в ДУС, предназначенных для БИНС, динамический диапазон измерений возрастает более чем на три порядка. Соответственно, растут требования к относительной точности ДУС БИНС при сопоставимой точности систем обоих типов. Приблизительно так же ужесточаются требования к относительной точности датчиков угла, если БИНС строится на гироскопах со сферическим ротором. Кроме того, произвольным образом меняющаяся взаимная ориентация оси вращения сферического ротора и жестко связанного с объектом корпуса гироскопа является дополнительным существенным источником погрешности таких гироскопов.

Тем не менее существует мнение, что с учетом необходимости обеспечения высоких эксплуатационных характеристик, перспективные корабельные ИСОН предпочтительно строить на базе БИНС.

Принципиальной особенностью ИСОН является более глубокая интеграция данных ПА СНС и инерциального модуля по сравнению с штатным режимом обмена информацией в корабельном навигационном комплексе. В частности, в алгоритмах ПА СНС по данным БИНС могут формироваться (прогнозироваться) расчетные значения радиальной скорости и псевдодальностей, причем матобеспечение БИНС создается на базе использования первичных навигационных измерений аппаратуры СНС. Это приводит к существенному повышению помехозащищенности интегрированной системы и возможности более длительного использования автономного режима работы ИСОН [3].

В целях повышения надежности и уменьшения массогабаритных характеристик корабельных ИСОН желательно использовать безкорпусную

ПА СНС, что уже имеет место в современных авиационных и морских («Кама-НС») системах.

Определяющими требованиями к элементной базе БИНС, входящих в состав ИСОН морских объектов, являются:

- соответствие нормам ИМО по точности определения координат места в интересах навигационной безопасности плавания;
- обеспечение навигационными данными корабельных потребителей в условиях ограничений по информационной автономности навигационного вооружения.

Требования к необходимой точности ИСОН для обеспечения навигационной безопасности плавания и к точности чувствительных элементов БИНС, предназначенных для информационного обеспечения кораблей и морских судов различных классов, изложены в работе [4].

Следует отметить, что для БИНС на датчиках угловой скорости (например, на лазерных гироскопах ЛГ) характерным является наличие так называемого «вычислительного» дрейфа, обусловленного погрешностями численного интегрирования уравнений Пуассона, а также чрезвычайно высокие требования к линейности и стабильности масштабных коэффициентов гироскопов. Вместе с тем в таких БИНС отсутствуют списывающие устройства, которые имеются в БИНС на позиционных гироскопах, например, на электростатических (ЭСГ). Их погрешности оказывают существенное влияние на точность выработки динамических параметров, используемых в задачах начальной выставки и стабилизации корабельных потребителей. Поэтому, как показывают проведенные исследования, для кораблей с ограниченным временем информационной автономности предпочтительным является применение в составе ИСОН БИНС на датчиках абсолютной угловой скорости, а для морских объектов с большим временем автономной работы целесообразно использование БИНС на ЭСГ.

Для чувствительных элементов большое значение имеют характеристики надежности и массогабаритные характеристики, а также энергопотребление и стоимость. Как показывает анализ, лучшие образцы платформенных ИНС в настоящее время обладают средним временем наработки на отказ ( $T_0$ ) не более 3–5 тысяч часов. Для перспективных кораблей и судов обязательным является снижение массогабаритных характеристик и энергопотребления навигационного оборудования при ужесточении требований по надежности. Для систем ближайшего будущего реальным является достижение уровня  $T_0$  порядка 10–15 тысяч часов, массы БИИМ в пределах 30–40 кг и энергопотребления не более 100 Вт. [5]. Это требует от чувствительных элементов БИНС среднего времени наработки на отказ не менее 50–60 тысяч часов. Так как масса и энергопотребление БИИМ определяются в основном характеристиками гироскопов, то для перспективных образцов этих изделий масса гироскопов не должна превышать 3–5 кг, а энергопотребление 7–10 Вт.

Современные условия и тенденции развития гироскопических чувствительных элементов требуют выбора наиболее перспективных направлений в разработках и модернизации существующих типов гироскопов. В этом ряду, безусловно, приоритетными направлениями для создания корабельных БИНС и ИСОН являются разработка и развитие ЭСГ и ЛГ. Полученные в последнее время практические результаты в использовании ЭСГ в карданных системах показали, что гироскоп этого типа перестал быть основным элементом, определяющим точность гироскопической системы, и имеет достаточно широкие возможности для дальнейшего совершенствования.

Базовыми задачами создания ЭСГ для бесплатформенных систем ориентации и навигации являются:

- разработка системы съема информации об угловом положении ротора относительно корпуса гироскопа в неограниченном диапазоне углов, создание модели погрешностей такой системы;
- разработка модели дрейфов гироскопа;
- разработка методов, средств и программно-математического обеспечения для испытаний, проверок и калибровок прибора, в том числе решение задач идентификации параметров разработанных моделей погрешностей.

Лазерный гироскоп является в настоящее время одним из наиболее широко распространенных датчиков, используемых в зарубежных авиационных и корабельных БИНС. Однако следует отметить, что в настоящее время отсутствуют отечественные образцы ЛГ, скорость дрейфа которых  $\Delta\omega$  соответствует требованиям ( $\omega \leq 3...5 \cdot 10^{-3}$  град/ч), предъявляемым к ним со стороны корабельных ИСОН.

Накопленный отечественный и зарубежный опыт разработки и серийного (мелкосерийного) производства ЛГ различных оптико-физических схем позволяет отобрать наилучшие решения для их дальнейшего совершенствования в новых конструкциях ЛГ.

В области конструктивных разработок новых схем ЛГ привлекают внимание твердотельные активные среды с полупроводниковой лазерной накачкой, которые могут привести к созданию гироскопов с активированным стекловолокном, синхронизацией продольных типов колебаний и возможностью исключения связи встречных волн за счет их пространственно-временного разделения.

Рассматривается возможность построения монолитной однопризменной конструкции ЛГ с акустооптическим модулятором и невзаимным элементом Фарадея.

Более чем 30-летняя история становления и развития лазерной гироскопии прошла под знаком непрерывной борьбы с явлением взаимной синхронизации встречных волн, которое в свою очередь определяет

важнейшие параметры лазерных гироскопов – область нечувствительности и нелинейность выходной характеристики. Новые возможности открываются при построении многомодовых лазерных гироскопов. Их основные достоинства:

- исключение захвата встречных волн и, как следствие, улучшение линейности выходной характеристики;
- возможность максимального приближения к потенциальной точности, ограниченной квантовыми шумами;
- значительное снижение чувствительности к внешним магнитным полям (за исключением Зеемановской оптико-физической схемы);
- повышение стабильности масштабного коэффициента;
- упрощение конструкции ЛГ за счет исключения механической виброподставки;
- расширение области применения для объектов, подверженных воздействию вибраций и акустических шумов.

В настоящее время получает развитие более дешевая гироскопическая элементная база для БИНС – волоконно-оптические (ВОГ) и волновые твердотельные гироскопы, а также так называемые микромеханические гироскопы. Нестабильность их дрейфа оценивается на уровне 0,1–1,0 град/ч. Тем самым открывается возможность применения на вспомогательных кораблях и морских судах высоконадежных интегрированных систем, которые содержат относительно дешевые (20–25 тыс. долларов. США) малогабаритные БИНС. На этих объектах основными потребителями навигационной информации являются авторулевые и системы динамического позиционирования, при этом информационная автономность таких ИСОН в части выработки координат места не превышает десятков минут. Этого достаточно, чтобы обеспечить их работоспособность в автономном режиме на время сбоя в приеме данных СНС [4].

В опубликованных материалах фирмы Honeywell (США) содержатся [6, 7] сенсационные материалы о совершенствовании ВОГ. Сообщается, что испытания ВОГ с длиной световода 5 км, диаметром катушки 5,5 дюйма и эрбиевым источником излучения в стабильных температурных условиях показали: шумовая составляющая дрейфа не превышала  $9 \times 10^{-4}$  град/ч, а скорость ухода  $3 \times 10^{-4}$  град/ч. Информация о практическом применении такого элемента пока не поступала.

В отечественных разработках ВОГ еще не занял подобающего ему места, хотя в контрольно-измерительных системах, робототехнике и других областях он используется уже в течение ряда лет. Вместе с тем известные характеристики ВОГ позволяют считать его одним из наиболее дешевых и надежных гироскопов средней точности для навигации. Полагают, что ВОГ вытеснит в перспективе ЛГ в диапазоне точностей до  $10^{-2}$  град/ч, однако

дальнейшее развитие указанных чувствительных элементов, как следует из вышесказанного, может внести коррективы в эти прогнозы.

Одной из проблем на пути создания рассматриваемых ИСОН с БИНС на достаточно «грубых» чувствительных элементах является проблема выполнения требований по точности выработки курса для обеспечения навигационной безопасности судовождения. Эту проблему в последнее время пытаются решить, в частности, за счет создания для подвижных объектов ПА СНС с фазовыми интерферометрическими измерениями, обеспечивающей выработку поправки курса [8]. Однако этот путь ведет к усложнению ПА СНС и повышению ее стоимости. Кроме того, в данном случае имеет место потеря информационной автономности ИСОН по курсу, что ограничивает возможность обеспечения навигационной безопасности при маневрировании и плавании в стесненных водах.

Следует отметить, что в ИСОН ПА СНС используется как функциональный модуль, обеспечивающий выработку текущих значений координат места и скорости точки приема радионавигационного сигнала на корабле. Погрешности выработки навигационных параметров в штатном режиме функционирования среднеорбитной СНС имеют значения 10–20 м по координатам и 0,03–0,05 м/с по составляющим вектора скорости. Ещё более высокая точность определения координат места (3–5 м) достижима при использовании дифференциального режима работы такой СНС. Однако применение этой информации для навигационного обеспечения широкого круга корабельных потребителей затруднено тем, что место размещения приемной антенны, как правило, не совпадает с местом расположения потребителей, а линейные размеры корабля могут быть столь велики, что параметры движения различных его точек в условиях качки и маневрирования существенно отличаются. Возникающие при этом погрешности (2–4 м/с по скорости в штатном режиме и 5–10 м по координатам в дифференциальном режиме) [9] не позволяют непосредственно реализовать существующие возможности среднеорбитных СНС на морских объектах.

Основными параметрами, определяющими погрешности навигационных данных, используемых различными потребителями, являются угловая скорость вращательного движения корпуса корабля в условиях качки и текущие значения углов качки и рысканья. При наличии информации об этих параметрах в ИСОН можно осуществить вычисление поправок к выходным данным ПА СНС с учётом конкретного расположения потребителей навигационной информации на корабле. В работе [10] приведён алгоритм решения этой задачи. Коррекция выходных данных ПА СНС вычисленными поправками может обеспечить необходимую точность навигационных определений.

В целях обеспечения жёстких требований к информационной автономности в составе ИСОН надводного корабля используются прецизионные гироскопы, скорость дрейфа которых не превышает  $1 \cdot 10^{-3}$ . –

$1 \cdot 10^{-2}$  град/ч. Требования к точности ДУС, предназначенных для вычисления поправок к выходным данным ПА СНС, могут быть более низкими и ограничиваться дрейфом до 10 град/ч. Это позволяет использовать дешёвые волоконно-оптические и твердотельные волновые датчики [11], обладающие высокой эксплуатационной надёжностью, малыми массой и габаритами. На этих элементах можно создать многоканальный (по числу потребителей) преобразователь навигационной информации (ПИ), обеспечивающий вычисление поправок к данным ПА СНС. Функциональный модуль ПИ целесообразно ввести в автономный контур и обеспечить связи с теми модулями навигационного комплекса, которые вырабатывают информацию, необходимую для работы принятого алгоритма вычисления поправок [12].

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к интегрированным навигационным системам, обеспечивающим эффективное функционирование в условиях наличия сокращенной орбитальной группировки космических аппаратов (КА) глобальной (среднеорбитной) СНС. Наряду со штатным режимом работы по сигналам трех-четырех КА, в интегрированной инерциально-спутниковой системе существует возможность работы по сигналам двух КА. Соответствующее обоснование приведено в работе [13].

Выводы:

1. Создание ИСОН является одним из наиболее актуальных путей развития морских навигационных систем, в особенности для надводных кораблей и судов.

2. ИСОН должны представлять собой единые общекорабельные системы навигации и стабилизации. Набор их функциональных модулей определяется исходя из точностных и эксплуатационных требований.

3. В настоящее время идея разработки ИСОН уже реализована в морских системах «Ладога-М» и «Кама-НС».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пешехонов В. Г., Шарыгин Б. Л., Миронов Ю. В. Единая система инерциальной навигации и стабилизации «Ладога-М» // Морская радиоэлектроника. – 2003. – №1(4) – С. 26–30.
2. Морская интегрированная малогабаритная система навигации и стабилизации «Кама-НС» Технические условия ПИКВ.461524.005ТУ. ОАО Пермская научно-производственная приборостроительная компания – 2002. – 107 с.
3. Cox D. V. Integration of GPS with Inertial Navigation Systems // Navigation. – 1978 – Vol. 25. – №2.
4. Анучин О. Н., Емельянец Г. И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. – СПб.: ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор», 1999. – 356 с.
5. Блажнов Б. А., Несенюк Л. П., Пешехонов В. Г., Старосельцев Л. П. Миниатюрная интегрированная система ориентации и навигации для гидрографических судов и катеров // Гироскопия и навигация. – 2001. – №1. – С. 20–30.
6. Killian K., Burmenko M., Holliger W. High Performance Fiber-Optic Gyroscope with Noise Reduction / SPIE Proceedings. – Vol. 2292, July, 1994.
7. Проспект фирмы TSS. – Circle No. 33 on Inquiry Card, 2002.

8. Емельянцеv Г. И., Старосельцев Л. П., Игнатьев С. В., Саунонен А. Г. О румбовых дрейфах инерциального бескарданного модуля на ВОГ // Гироскопия и навигация. – 2005. – №1. – С. 22–29.
9. Резниченко В. И., Левит Г. А. Определение скорости по сигналам спутниковых навигационных систем. – СПб, ГНИНГИ МО РФ, 2004. – 84 с.
10. Резниченко В. И., Яценко С. В., Зуев В. Ф. Особенности функционирования спутниковой навигационной аппаратуры СНС в условиях качки // Навигация и гидрография.– 1997.– №5. – С. 30–34.
11. Handrich G.E. Fiber Optic Gyro Systems and MEMS Accelerometer. Цикл лекций 2.32 «Достижения в области навигационных датчиков и методов комплексирования» 27–28 мая 2004 г. СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор».
12. Емельянцеv Г. И., Моисеев Э. С., Солнцеv А. Н. Современные требования и облик навигационного комплекса для боевых надводных кораблей начала XXI века // Навигация и гидрография.– 1995. – №1.– С. 35–39.
13. Шебашевич Б. В., Гапионок А. В., Катенин В. А., Резниченко В. И. Реализация информационных возможностей СНС Глонасс в условиях сокращенной орбитальной группировки космических аппаратов // Морская радиоэлектроника. – 2003. –№1(4). – С.35–39.

### Prospects for Development of Shipboard Integrated Navigation Systems

**S. V. Yatsenko,**

**V. A. Titlyanov,**

**G. I. Yemelyantsev,**

**G. A. Levit**

**(GNINGI, RF MoD)**

*The analytical review of the development trends for the marine integrated navigation systems is presented.*

ГРНТИ 78.21.41.19

### **ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАИБОЛЬШЕГО И НАИМЕНЬШЕГО МОДУЛЕЙ ПОГРЕШНОСТИ**

**Б. Е. ИВАНОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье выведены формулы для оценки статистических характеристик наибольшего и наименьшего модулей погрешности навигационного или океанографического параметра. Получены зависимости этих характеристик от числа погрешностей в серии измерений. Достоверность полученных зависимостей подтверждена методом статистического моделирования.*

Решение многих задач навигации и океанографии основывается на теории погрешностей измерений [1–3]. В этой теории подробно исследованы обычные, неэкстремальные погрешности. Впервые экстремальные погрешности в навигации рассмотрены в работе [4]. В статьях [5, 6] представлены выражения для оценки статистических характеристик наибольшей и наименьшей (в алгебраическом смысле) погрешностей и

зависимости между этими характеристиками и числом погрешностей в серии измерений. В статье [6] получены статистические характеристики наибольшего модуля погрешности только для числа погрешностей в серии измерений, равном 50. Наименьший модуль погрешности вообще не рассматривался. В связи с изложенным представляется целесообразным оценить статистические характеристики наибольшего и наименьшего модулей погрешности измерения навигационного или океанографического параметра.

Пусть погрешность измерения навигационного или океанографического параметра подчиняется нормальному распределению с функцией  $F(x)$  и плотностью  $f(x)$  распределения, выражения которых приведены в работе [7]. Не уменьшая общности решения задачи, для определенности примем математическое ожидание, равным нулю, а среднее квадратическое отклонение (СКО), равным единице. Тогда в соответствии с работой [7] функция  $F_m(x)$  и плотность  $f_m(x)$  распределения модуля погрешности  $x$  измерения навигационного или океанографического параметра будут равны

$$\left. \begin{aligned} F_m(x) &= 2[F(x) - 0,5]; \\ f_m(x) &= 2f(x). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Следует иметь в виду, что в формулах (1), которые представляют исходное распределение, и в последующих формулах величина  $x$  изменяется от 0 до  $+\infty$ .

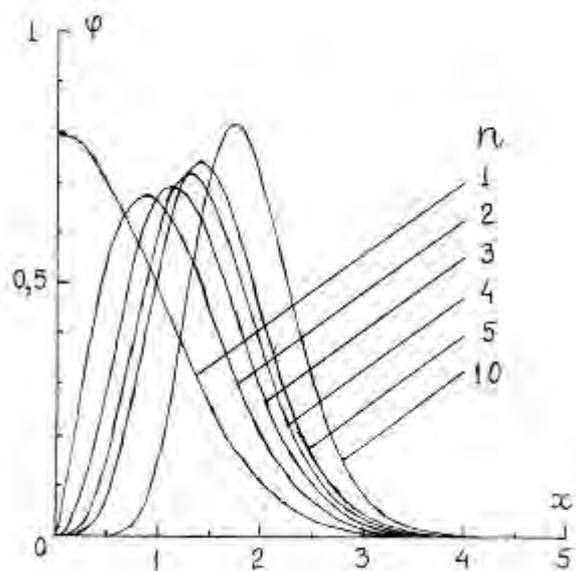
На основании формул для функций распределения наибольшего и наименьшего значений случайной величин из работы [8] и формул (1) можно получить функцию распределения  $\Phi(x)$  наибольшего модуля погрешности и функцию распределения  $\Phi^*(x)$  наименьшего модуля погрешности при числе независимых погрешностей в серии измерений, равном  $n$ :

$$\left. \begin{aligned} \Phi(x) &= 2^n [F(x) - 0,5]^n; \\ \Phi^*(x) &= 1 - 2^n [1 - F(x)]^n. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Дифференцируя формулы (2) по  $x$ , получим плотность распределения  $\varphi(x)$  наибольшего модуля погрешности и плотность распределения  $\varphi^*(x)$  наименьшего модуля погрешности:

$$\left. \begin{aligned} \varphi(x) &= 2^n n [F(x) - 0,5]^{n-1} f(x); \\ \varphi^*(x) &= 2^n n [1 - F(x)]^{n-1} f(x). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

По формулам (3) выполнены вычисления плотностей распределения наибольшего и наименьшего модулей погрешности при различных значениях  $x$  и  $n$ . Изменение плотности распределения в зависимости от  $x$  при заданном  $n$  показано на рис. 1 для наибольшего модуля погрешности и на рис. 2 для наименьшего модуля погрешности.



**Рис. 1. Плотность распределения  $\varphi$  наибольшего модуля погрешности  $x$  при заданном числе  $n$  погрешностей в серии измерений**

Анализ формул (3), рис. 1 и рис. 2 показал, что при  $n=1$  плотности распределения  $\varphi(x)$  и  $\varphi^*(x)$  равны друг другу, при увеличении  $n$  кривая плотности распределения  $\varphi(x)$  наибольшего модуля погрешности смещается в сторону возрастания  $x$  и сжимается, а кривая плотности распределения  $\varphi^*(x)$  наименьшего модуля погрешности смещается в сторону уменьшения  $x$ . Плотность распределения наибольшего модуля погрешности имеет максимум при любом значении  $n$ , а плотность распределения наименьшего модуля погрешности – только при  $n=1$ . При  $n>1$  производная плотности распределения наименьшего модуля погрешности имеет отрицательное значение при любых значениях  $x$ .

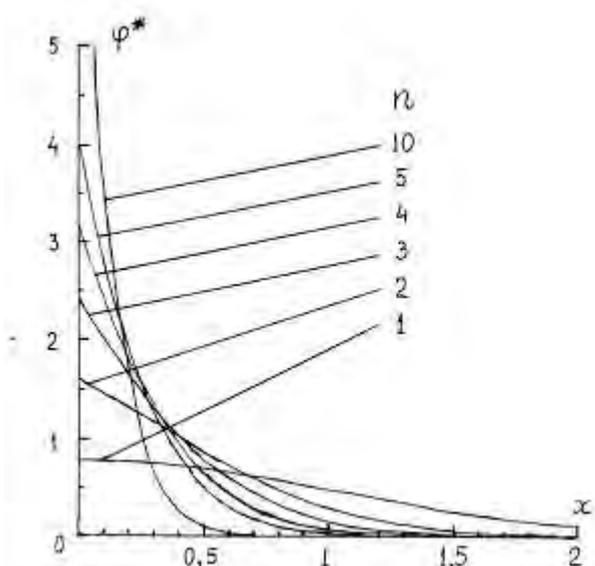


Рис. 2. Плотность распределения  $\varphi^*$  наименьшего модуля погрешности  $x$  при заданном числе  $n$  погрешностей в серии измерений

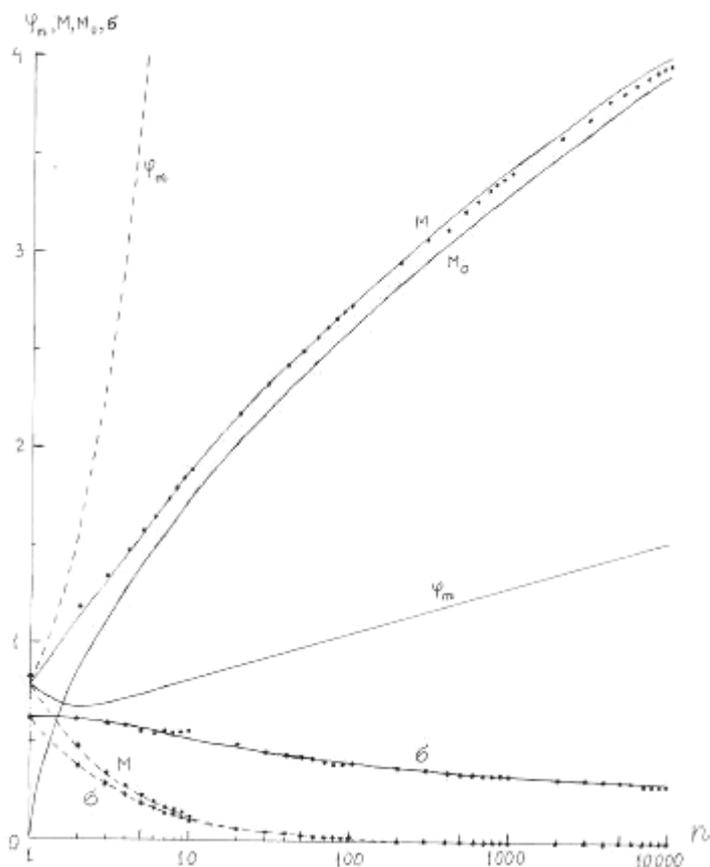
Путем численного интегрирования по формулам из работы [7] с использованием выражений (3) вычислены математическое ожидание и СКО наибольшего и наименьшего модулей погрешности. Изменение математического ожидания  $M$  и СКО  $\sigma$  в зависимости от числа  $n$  погрешностей в серии измерений показано на рис. 3. При этом для наглядности отображения величин ось абсцисс  $n$  представлена в виде шкалы десятичных логарифмов.

Определим моду  $M_0$  наибольшего модуля погрешности. Для этого возьмем производную плотности распределения  $\varphi(x)$ , выраженной первой формулой (3), по  $x$  и приравняем ее нулю. Тогда получим уравнение

$$(n-1)f(M_0) - M_0[F(M_0) - 0,5] = 0. \quad (4)$$

Поскольку в уравнении (4) мода выражена в неявном виде, то ее необходимо определять методом последовательных приближений. Применяя этот метод к уравнению (4), найдем искомую величину. Изменение моды наибольшего модуля погрешности в зависимости от  $n$  показано на рис. 3.

Наибольшее значение плотности распределения  $\varphi_m$  можно определить по формулам (3) при подстановке в них  $x=M_0$  для наибольшего модуля погрешности и  $x=0$  для наименьшего модуля погрешности. Изменение  $\varphi_m$  в зависимости от  $n$  показано на рис. 3.



**Рис. 3. Статистические характеристики наибольшего модуля погрешности (сплошные линии) и наименьшего модуля погрешности (штриховые линии)**

Из рис. 3 видно, что при  $n=1$  математическое ожидание  $M=0,798$ , мода  $M_0=0$ , СКО  $\sigma=0,603$  и наибольшее значение плотности распределения  $\varphi_m=0,798$  для наибольшего и наименьшего модулей погрешности. С увеличением  $n$  математическое ожидание и мода наибольшего модуля погрешности существенно возрастают, а наибольшее значение плотности распределения этого модуля сначала уменьшается, достигает минимума и затем почти линейно увеличивается. СКО наибольшего модуля погрешности монотонно уменьшается с увеличением  $n$ .

Для наименьшего модуля погрешности характерно быстрое уменьшение математического ожидания и СКО и асимптотическое приближение их к нулю при возрастании  $n$ . Напротив, наибольшее значение плотности распределения этого модуля значительно возрастает с увеличением  $n$ . Данные, приведенные на рис. 2 и рис. 3, свидетельствуют о том, что при увеличении  $n$  наиболее вероятные значения наименьшего модуля погрешности относятся к  $x \approx 0$ .

Оценка достоверности полученных зависимостей выполнена методом статистического моделирования. Для этого на электронно-вычислительной

машине генерировались 10000 серий нормально распределенных погрешностей с нулевым математическим ожиданием и СКО, равным единице, при фиксированном значении  $n$ . Из каждой серии погрешностей выбирались наибольшей и наименьшей модули. На основе 10000 значений каждого модуля вычислялись математическое ожидание и СКО. Полученные значения математического ожидания и СКО наибольшего и наименьшего модулей погрешности обозначены точками на рис. 3 для ряда значений  $n$ . Значения математического ожидания и СКО, полученные теоретическим путем с использованием формул (3) и методом статистического моделирования, достаточно близки друг другу, что подтверждает достоверность предложенных зависимостей.

Полученные в данной статье зависимости относятся к теории погрешностей измерений в навигации и океанографии. Если распределение флюктуаций навигационного или океанографического параметра описывается выражениями  $F(x)$  и  $f(x)$ , то предложенные зависимости могут использоваться для определения статистических характеристик наибольшего и наименьшего модулей этих параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В. Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
2. Чеботарев А. С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей. – М.: Геодезиздат, 1958. – 606 с.
3. Сорокин А. И. Теоретические основы гидрографических исследований. – Л.: ГУНиО МО СССР, 1972. – 196 с.
4. Молоканов Г. Ф. Точность и надежность навигации летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1967. – 215 с.
5. Иванов Б. Е. Использование статистики экстремальных значений в навигации и океанографии // Записки по гидрографии. – 1999. – № 247. – С. 21–29.
6. Иванов Б. Е. Об использовании статистики экстремальных значений при оценке вероятности навигационной безопасности плавания // Записки по гидрографии. – 2002. – № 254. – С. 24–34.
7. Справочник по вероятностным расчетам. 2-е изд., доп. и испр./ Г. Г. Абезгауз, А. П. Тронь, Ю. Н. Копенкин, И. А. Коровина. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.
8. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1965. – 450 с.

Evaluation of Statistical Characteristics for the Largest and Smallest Error Modules

**B. E. Ivanov**  
(GNINGI, RF MoD)

*The formulas used to evaluate the statistical characteristics for the largest and smallest error modules of navigation or oceanographic parameter are deduced. The dependence of these characteristics on the number of errors in the measurement series is obtained. The validity of the obtained dependencies has been confirmed by the statistical modeling method.*

**ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ НАВИГАЦИОННО-МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ МОРСКОГО МОНИТОРИНГА НЕФТЕГАЗОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**А. Н. ДОБРОТВОРСКИЙ,  
П. И. МАЛЕЕВ**  
(ГНИНГИ МО РФ),  
**А. А. ХРЕБТОВ**  
(ОАО «НТП «Нави-Далс»)

*Рассмотрены возможные пути решения ряда проблем морского мониторинга топливно-энергетического комплекса за счет создания и совместного использования бортовых магнитометрических систем, способных измерять магнитные поля, источники которых находятся вне объекта и средств навигации, определяющих местоположение этих источников.*

Интенсивное освоение морских нефтегазовых месторождений России требует решения ряда актуальных задач, включенных в Морскую доктрину Российской Федерации на период до 2020 г. Практическая реализация этих задач ведет к необходимости совершенствования существующих и создания принципиально новых средств контроля систем транспортировки нефтегазовых продуктов, в том числе трубопроводов, для:

- обследования предполагаемой трассы прокладки трубопроводов на предмет обнаружения мин и других затонувших объектов;
- обследования районов баз, портов и других районов акваторий, по которым планируется перемещение нефтегазовых танкеров и судов, на предмет обеспечения безопасности их плавания от затонувших объектов;
- обследования затонувших объектов;
- остроения магнитной карты в районах установки буровых скважин и платформ для последующего использования ее в интересах определения их местоположения, а также местоположения водолазов, подводных аппаратов и т. п. относительно скважины и платформы в период обследования и ремонта этого оборудования;
- обеспечения контроля углового положения буровых скважин и платформ в период их обустройства;
- поиска мест установки буровых скважин в море после их временного оставления и в аварийных ситуациях;
- осуществления (совместно с традиционными методами) поиска углеводородных и железистых месторождений на шельфе;
- уточнения границ районов месторождений железистых и других полезных ископаемых на шельфе;
- контроля качества трубопроводов перед их прокладкой на предмет обнаружения коррозии, нарушения целостности и т. п.;

- обеспечения периодической диагностики трубопроводов в период их эксплуатации с целью определения их целостности и экологической безопасности эксплуатации;
- контроля за прохождением очистных устройств внутри трубопроводов.

Как показывают исследования, для эффективного решения этих и подобных задач морского мониторинга трубопроводов топливно-энергетического комплекса (ТЭК), целесообразно использовать магнитометрические средства и средства навигации.

Из всех проблем, связанных с эксплуатацией нефтегазовых трубопроводов ТЭК, наиболее серьезной является возможность аварии трубопроводов. На ликвидацию последствий аварий трубопроводов, проложенных в земле, расходуются миллионы долларов в год. Борьба с авариями трубопроводов в морских условиях значительно сложнее и дороже. Ситуация усугубляется и тем, что в период прокладки трубопроводной сети, как правило, не предусматривалась в будущем их диагностика, а тем более реконструкция.

Статистические исследования показывают, что около 40% всех аварий трубопроводов происходит из-за коррозии металлических труб. Вместо установленного срока службы в 15–20 лет многие трубопроводы разрушаются вследствие коррозии и эрозии уже в течение 2–5 лет [1].

Несвоевременное обнаружение и ликвидация возможных нарушений целостности трубопроводов ведет не только к значительным экономическим потерям, но и к нарушению экологической безопасности. Отсюда следует, что без решения проблемы качественной и своевременной диагностики нефтегазовых трубопроводов их эксплуатация практически невозможна. Диагностика является составной частью системы обслуживания нефтетранспортной системы. Задача контроля технического состояния трубопроводов вышла на первое место [1].

В настоящее время существует значительное число средств и методов диагностики трубопроводов (зондовые, радиоактивные, гидравлические и др.). Возможность их использования, однако, ограничена в основном контролем трубопроводов перед их прокладкой. Средств и методов диагностики трубопроводов в период их эксплуатации практически нет.

Учитывая, что нефтегазовые трубопроводы изготавливаются из ферромагнитных материалов, из всех существующих методов диагностики наибольшие возможности открываются перед использованием магнитометрических средств. Нарушение целостности трубы и ее коррозия ведут к существенному изменению ее намагниченности в этих местах. Эти изменения могут быть обнаружены магнитометрическими методами, а их местоположение может быть определено с помощью средств навигации.

Для подтверждения этих положений проведены расчеты магнитного поля магнитных тел различной конфигурации. На рис. 1, 2 в качестве примера приведены результаты расчета компоненты  $B_x$  для двух тел: точечного и

протяженного в виде длинного стержня. Аналогичные кривые характеризуют и другие компоненты поля, а также их модуль. Расчет проводился для условия, когда намагниченное тело находилось на глубине  $Z_0=100$  м ( $2a$  – длина стержня). Из результатов расчета следует, что как модуль индукции намагниченных тел, так и его компоненты имеют четко выраженные максимумы. Это позволяет с большой точностью и определенностью осуществлять их обнаружение и координирование.

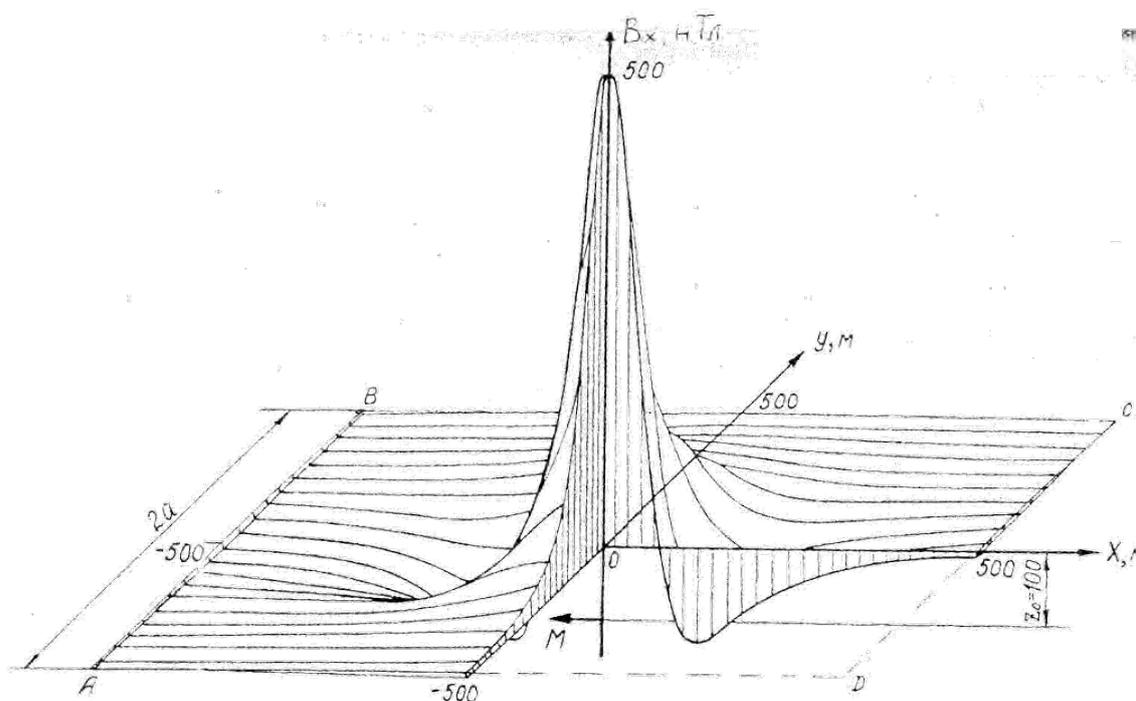
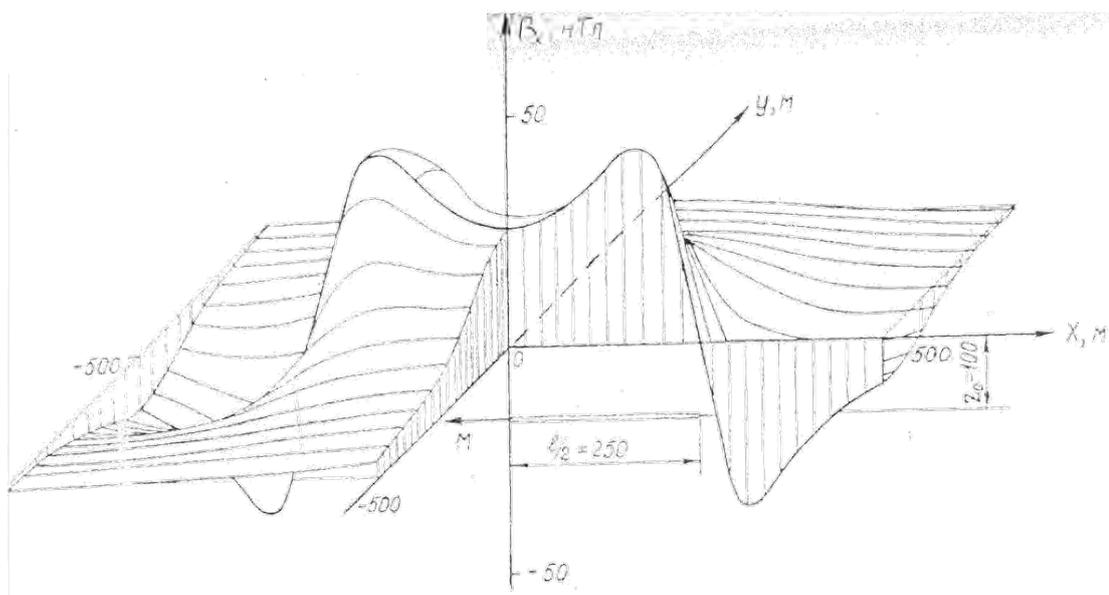


Рис. 1. Распределение магнитной индукции компоненты  $B_x$  точечного репера

Остановимся более подробно на рассмотрении возможных путей решения магнитометрическими методами перечисленных выше задач. Решение некоторых из них до последнего времени осуществлялось (или в принципе могло осуществляться) с помощью магнитометров, буксируемых за судном на расстоянии 100–200 м (с целью исключения влияния намагниченности судна на показания магнитометра). Такое использование магнитометров, однако, в значительной степени ограничивает потенциальные возможности магнитометрических методов обследования морских акваторий, затонувших объектов, трубопроводов и т. п. Для эффективного решения перечисленных выше задач магнитометры необходимо размещать непосредственно на объекте.



**Рис. 2. Распределение магнитной индукции компоненты  $B_x$  стержневого репера**

Известно два метода борьбы с магнитными помехами, препятствующими такому использованию магнитометров на подвижных объектах – прямой и косвенный. Для реализации прямого метода в месте установки чувствительного элемента измерительного магнитометрического датчика устанавливается также компенсационный датчик. Задача последнего – создать магнитное поле, вектор которого равен по модулю и противоположен по направлению вектору магнитных помех. Косвенный метод борьбы с магнитными помехами объекта заключается в выполнении математических операций, обеспечивающих ввод необходимых поправок в результаты измерений.

При выборе типа магнитометрического датчика как в том, так и в другом методе, помимо точностных характеристик, большое значение имеют и его динамические характеристики. Из существующих наиболее точных магнитометрических датчиков квантовые обладают более высокими точностными параметрами, чем феррозондовые, но они более сложны, менее надежны и более инерционны. Интервал между измерениями у них составляет 1–2 с, что ограничивает их использование на подвижных объектах. Феррозондовые обладают меньшей постоянной времени (0,1–0,5 с) и позволяют непрерывно регистрировать измеряемые магнитные поля.

Важно также, в какой системе координат осуществляется измерение магнитного поля, источники которого находятся вне объекта. Для измерения в географической системе координат магнитометрические датчики необходимо размещать на стабилизируемой платформе. В системе координат, связанной с объектом, датчики жестко закрепляются на объекте.

Недостатками первого способа размещения являются угловые погрешности системы стабилизации и усложнение задачи компенсации помех, поскольку датчик меняет свое положение относительно объекта, кроме того, имеют место и помехи от системы стабилизации.

Во втором способе конструкция проще, но требуется выполнение определенных вычислительных операций, выбор мест размещения датчиков для обеспечения минимальных магнитных помех и данные об угловых положениях объекта (датчика).

К настоящему времени предложен ряд способов снижения влияния на работу бортовых магнитометров магнитных помех самих подвижных объектов [2–8]. Наибольший интерес для решения указанных выше задач, по нашему мнению, представляет способ, предложенный нами и реализованный в электронном феррозондовом компасе типа КФ-1, разработанном в НИОКР «Магнит», и модернизированный в НИР «Щит-АЕН», «Щецин-АЕН» и «Маглаг». Блок-схема бортовой магнитометрической системы, реализующей этот способ, представлена на рис. 3.

Схема включает измерительный блок (ИБ) с магниточувствительным элементом на основе трехкомпонентного феррозонда, жестко закрепляемый на объекте, блок компенсации (БК) магнитных помех, блок управления (БУ), блок электроники (БЭ), измеритель углового положения объекта (ИУ), интерфейс (ИФ), блок стабилизированного источника питания (БСП) и персональную ЭВМ (ПЭВМ).

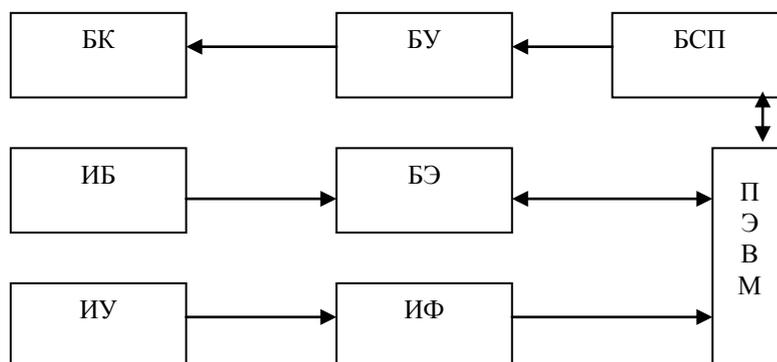


Рис. 3. Блок-схема бортовой магнитометрической системы (объяснения в тексте)

Измерительный блок связан кабелем с блоком электроники, задача которого – преобразовывать сигналы с чувствительного элемента ИБ в цифровую форму. С блока электроники выходные сигналы поступают на ПЭВМ, где по программе производится их расшифровка и вывод значений компонент магнитной индукции и другой служебной информации на экран в удобной для восприятия форме.

Блок компенсации БК представляет собой трехкомпонентные компенсационные катушки. Он через блок управления также связан с ПЭВМ. Магниточувствительный элемент ИБ установлен внутри катушек

компенсации. Его оси и оси катушек ориентированы таким образом, чтобы при горизонтальном положении феррозонда они были параллельны строительным осям объекта.

Основными источниками помех для бортовых магнитометрических датчиков являются ферромагнитные массы, воздействующее поле которых подразделяется на жесткое (постоянное) и индуктивное. Индуктивное изменяется при изменении угловых положений объекта. Компенсация жестких составляющих намагниченности объектов обеспечивается от БСП с дипольным выходным напряжением  $\pm 6$  В подбором необходимой силы тока в катушках компенсации. Благодаря жесткому закреплению катушек компенсация сохраняется и при эволюциях объекта.

Индуктивная намагниченность объекта определяется с помощью уравнений Пуассона, имеющих вид:

$$\begin{aligned} B_x &= (1+a)B_{x_{bn}} + bB_{y_{bn}} + cB_{z_{bn}} + B_{xp} ; \\ B_y &= dB_{x_{bn}} + (1+e)B_{y_{bn}} + fB_{z_{bn}} + B_{yp} ; \\ B_z &= gB_{x_{bn}} + hB_{y_{bn}} + (1+k)B_{z_{bn}} + B_{zp} , \end{aligned}$$

где

$x, y, z$  – продольная, поперечная и вертикальная оси объекта;

$B_x, B_y, B_z$  – компоненты магнитной индукции Земли, искаженные влиянием ферромагнитного объекта;

$a, b, c, d, e, f, g, h, k$  – коэффициенты Пуассона (коэффициенты пропорциональности между компонентами внешнего магнитного поля и составляющими вызываемой ими индуктивной намагниченности объекта);

$B_{xp}, B_{yp}, B_{zp}$  – проекции вектора «жесткой» намагниченности объекта на координатные оси  $x, y, z$ ;

$B_{x_{bn}}, B_{y_{bn}}, B_{z_{bn}}$  – компоненты магнитной индукции магнитного поля Земли (МПЗ).

Для определения параметров Пуассона необходимо измерение  $B_x, B_y, B_z$  при разных (не менее четырех) угловых положениях объекта [7]. При стендовых испытаниях эти измерения проводились с помощью установочной платформы, на которой, помимо магнитометрического датчика, размещались имитатор судового железа и предназначенное для определения углового положения «объекта» угломерное устройство на основе акселерометров. В морских условиях изменение значений компонент индукции МПЗ относительно объекта обеспечивалось маневрированием объекта на главных магнитных курсах  $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  и  $270^\circ$ .

Стендовые испытания магнитометрического датчика проводились на немагнитном стенде. Результаты испытаний подтвердили возможность определения параметров Пуассона и проекций вектора магнитной индукции от жесткой намагниченности имитатора судового железа. Относительная погрешность определения индукции МПЗ на фоне магнитных помех находилась в пределах от 0,006% до 0,23%.

Морские испытания макетного образца бортовой магнитометрической системы проводились на гидрографическом судне ГС-403 по специально разработанной методике. К сожалению, на этом судне отсутствуют системы, позволяющие определять угловые положения судна (курс, крен, дифферент) с требуемыми точностями (не хуже 0,7 угл. мин.), что ограничивало точность системы.

Испытания проводились как по искусственному источнику магнитной аномалии, так и по естественным аномалиям МПЗ.

Математическое моделирование показало, что при средней квадратической погрешности результатов измерений не более 1 нТл средняя квадратическая погрешность результатов измерений магнитной индукции магнитной аномалии составила около 0,1%. По результатам морских испытаний бортовой магнитометрической системы (при измерении углового положения объекта с точностью около 6 угл. мин.) оказалось, что погрешность определения координат магнитных аномалий относительно объекта не превышала 6% по компонентам  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , а по определению расстояния  $R$  от объекта до аномалии – 3%.

$$(R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}).$$

Необходимо отметить, что параметры Пуассона со временем могут изменяться, что может привести к увеличению погрешности измерения. Один из способов коррекции параметров Пуассона в период нахождения объекта в море рассмотрен в работе [9].

Наличие подобной бортовой магнитометрической системы и средств навигации (спутниковая навигационная система, инерциальная навигационная система и др.) позволит с надводного или подводного объекта обследовать предполагаемые трассы прокладки трубопроводов, районы баз, затонувшие объекты и т. п., а также осуществлять не только обнаружение смещения трубопровода и мест нарушения его целостности и коррозии, но и их привязку к географическим координатам. Наиболее приемлемым путем решения этой задачи является предварительная съемка магнитного поля трубопровода и внесение этих данных в ЭВМ с целью последующего сравнения данных о поле при очередном контроле трубопровода.

Магнитометрические системы, в принципе, позволяют эффективно решать и другие задачи морского мониторинга ТЭК. В частности, один из путей решения с помощью магнитометров задачи обеспечения периодической диагностики трубопроводов, проложенных в земле, в период их эксплуатации рассмотрен в публикациях [10, 11]. Сущность решения состоит в следующем: внутри трубы помещается подвижный объект, на котором устанавливаются трехкомпонентный магнитометр, малогабаритная инерциальная навигационная система ориентации и навигации, приемник спутниковой навигационной системы (СНС) и вычислительное устройство. А на трубе в

особо выделенных местах через определенные расстояния размещаются специальные окна прозрачности для регистрации сигналов СНС.

Такая система обеспечивает обнаружение мест нарушения трубопровода и определяет их геодезические координаты. Использование такой системы для диагностики трубопроводов, проложенных на глубине в морской воде, к сожалению, не представляется возможным, поскольку в этих условиях невозможно осуществлять связь приемника СНС со спутником. Решение задачи диагностики трубопроводов в этих условиях, по нашему мнению, возможно с помощью использования магнитометров, движущихся не внутри, а вне трубы. Магнитометры в этом случае могут быть установлены на подводном аппарате, движущемся над трубой на минимальном от нее расстоянии.

Аналогичным образом, по-видимому, могут быть решены и другие задачи диагностики трубопроводов.

Таким образом, современные достижения магнитометрии, навигации и вычислительной техники открывают широкие возможности создания автоматизированных систем морского мониторинга нефтегазовых трубопроводов.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Эксплуатация магистральных нефтепроводов. Справочное издание под редакцией Ю. Д. Земенкова. Тюмень, 2000. – 534с.
2. Лысенко А. П. Теория и методы компенсации магнитных помех // Геофизическое приборостроение Л.: Минералогия и охрана недр СССР, ОКБ, 1960. – Вып. 7. – С. 44–58.
3. Резник Э. Е., Канторович В. Л. Некоторые вопросы компенсации магнитных помех самолета // Геофизическое приборостроение. – Л.: Недра, 1964. – Вып. 18. – С. 26–28.
4. Бледнов В. А. Основные принципы определения магнитного поля Земли на движущихся ферромагнитных объектах (основы разделения полей) // УФН. – 1977. – Т. 167. – № 10. – С. 113–118.
5. Малеев П. И., Смирнов Б. М. Методы определения составляющих вектора магнитной индукции магнитного поля Земли с ферромагнитного объекта // Навигация и гидрография. – 1999. – № 8. – С. 82–86.
6. Малеев П. И., Смирнов Б. М., Хасиев И. С. Определение местоположения подвижного объекта по магнитному реперу // Навигация и гидрография. – 1998. – № 6. – С. 75–80.
7. Малеев П. И., Смирнов Б. М., Хасиев И. С., Шерemet В. И. К вопросу определения индукции геомагнитного поля с подвижного ферромагнитного объекта // Навигация и гидрография. – 2001. – В. 13. – С. 113–117.
8. Гидаспов Д. Д., Кошкарев В. Н., Малеев П. И. и др. Электронный компас феррозондовый типа КФ-1 // Труды 4-й Российской научно-технической конференции «Современное состояние проблемы навигации и океанографии», 6–9 июня 2001 г. СПб. – Т. I. – С. 135–138.
9. Малеев П. И., Смирнов Б. М. Коррекция параметров Пуассона и проекций вектора магнитной индукции от постоянной намагниченности подвижного ферромагнитного объекта // Навигация и гидрография. – 2004. – № 19. – С. 73–76.
10. Плотников П. К., Никишин В. Б. и др. Теория и применение бесплатформенных систем ориентации и навигации подземных объектов // Труды X Международной конференции по интегрированным навигационным системам. 26–28 мая 2003 г. СПб. – С. 101–103.
11. Плотников П. К., Синев А. И. и др. Применение БИСОН и GPS для позиционирования трассы подземного трубопровода // Труды XI Международной конференции по интегрированным навигационным системам. 27–29 мая 2004 г. СПб. – С. 62–64.

Prospects for Creating the Automated Navigation-Magnetometric Systems for the Marine Monitoring of Oil and Gas Pipelines

**A. N. Dobrotvorsky,**

**P. I. Maleyev**

**(GNINGI, RF MoD),**

**A. A. Khrebtov**

**(STE «NAVI-DALS» JSC)**

*The possible ways to solve a number of problems of the marine monitoring of the fuel-energy complex by creating and joint employment of the shipborne magnetometric systems that are able to measure the magnetic fields whose sources are outside the object and navigation means fixing the position of those sources, are considered.*

ГРНТИ 86.93

**УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЁТА ВРЕМЕНИ ВХОДА/ВЫХОДА ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ В ЗОНУ/ИЗ ЗОНЫ ВИДИМОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЯ**

**В. М. ПАНТЕЛЕЕВ**

**(ГНИНГИ МО РФ)**

*Рассмотрен упрощенный метод расчета времени входа/выхода искусственного спутника Земли (ИСЗ) в зону/из зоны видимости потребителя. Метод применим к низкоорбитным и среднеорбитным ИСЗ.*

В ряде случаев при расчёте моментов времени входа/выхода ИСЗ в зону/из зоны видимости потребителя высокая точность расчётов не требуется, но требуется высокая оперативность получения результатов расчётов.

В настоящей статье предлагается простая и экономичная процедура расчёта времени входа/выхода ИСЗ в зону/из зоны видимости потребителя. Ее простота и экономичность основаны на трех следующих допущениях:

1. Земля – шар радиуса  $R_3$ .
2. Орбита ИСЗ – круговая, невозмущённая.
3. Потребитель неподвижен, расположен на поверхности Земли.

Обратимся к рис. 1. Примем за основу инерциальную прямоугольную геоцентрическую систему координат OXYZ [1]. Эта система координат хороша тем, что описываемая в ней плоскость орбиты ИСЗ неподвижна. Угол  $\Omega$ , характеризующий положение восходящего узла орбиты ИСЗ относительно оси OX, в этой системе координат остаётся постоянным.

Пусть ИСЗ С и потребитель П в начальный момент времени  $t_0$  находятся, соответственно, в точках  $C_0$  и  $P_0$ , а на некоторый текущий момент времени  $t$  – в точках С и П. Их положение опишем векторами  $\vec{R}_П$  и  $\vec{R}_С$ , и углами  $U_C$  и  $U_P$ , которые опишем так:

$$U_C = \omega_C \cdot (t - t_0);$$

$$U_P = \omega_P \cdot (t - t_0),$$

где

$\omega_c$  – угловая скорость вращения ИСЗ вокруг центра масс Земли,

$$\omega_c = \sqrt{\frac{M}{(R_3 + H)^3}}, \quad \omega_{\Pi} = \omega_3 = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1},$$

$H$  – высота ИСЗ,

$M = 3,98600 \cdot 10^5 \text{ км}^3 \cdot \text{c}^{-1}$  – гравитационная постоянная;

$R_3$  – радиус Земли ( $R_3 \sim 6371 \text{ км.}$ ).

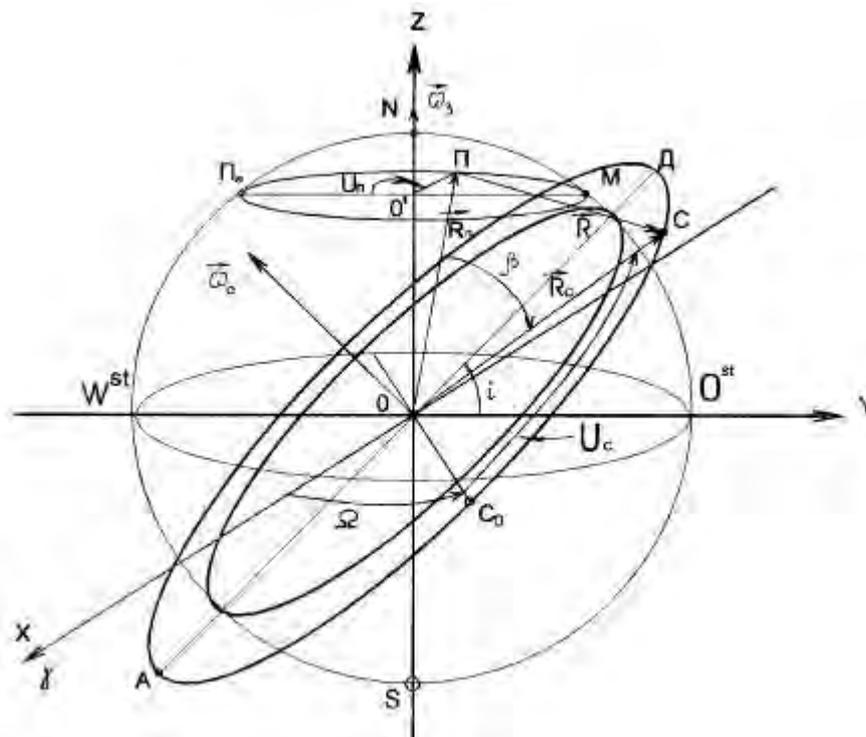


Рис. 1. Схема взаимного расположения ИСЗ и потребителя

Заметим, что так как мы условились орбиту ИСЗ принимать круговой и невозмущённой, то угловая скорость вращения ИСЗ  $\omega_c$  в этих условиях оказывается постоянной:

$$\omega_c = \text{const},$$

впрочем, как и угловая скорость вращения Земли:

$$\omega_3 = \omega_{\Pi} = \text{const}.$$

Так как потребитель находится на поверхности Земли и относительно её неподвижен, то в системе координат OXYZ он оказывается перемещающимся по параллели  $\phi$  с угловой скоростью вращения  $\omega_{\Pi}$ , равной угловой скорости

вращения Земли,  $\omega_{\Pi} = \omega_3$ . За звёздные сутки  $T_{зв}$  конец радиуса – вектора потребителя  $\vec{R}_{\Pi}$  совершит полный оборот по окружности  $\Pi_0\Pi\Pi\Pi_0$ . В то же время радиус-вектор ИСЗ  $\vec{R}_c$ , совершая один оборот в плоскости орбиты за один виток, за звёздные сутки  $T_{зв}$  может совершить даже более десятка витков (при соответствующей высоте полёта ИСЗ).

Таким образом, в принятой нами системе координат OXYZ потребитель П вращается (вместе с Землёй) по окружности радиуса

$$z_{\Pi} = R_{\Pi} \cdot \cos\varphi$$

с постоянной угловой скоростью  $\vec{\omega}_{\Pi}$ , а ИСЗ – по окружности радиуса  $R_c$  с постоянной угловой скоростью  $\vec{\omega}_c$ . Центры этих окружностей расположены в точках O и O соответственно. Точки O и O отстоят друг от друга на величину  $R_c \sin\varphi$ . Пусть текущее отстояние потребителя от ИСЗ характеризуется радиусом-вектором  $\vec{R}$ . При определённом относительном расположении потребителя и ИСЗ они становятся взаимно видимыми. Такое их взаимное расположение наступает тогда, когда выполняется условие:

$$\cos\beta_b \leq \frac{R_{\Pi}}{R_c}, \quad (1)$$

где  $R_{\Pi}$  и  $R_c$  – модули векторов  $\vec{R}_{\Pi}$  и  $\vec{R}_c$ , соответственно,

а  $\beta_b$  – угловой радиус зоны видимости потребителя.

И пока угол  $\beta$ , характеризующий текущее угловое отстояние потребителя от ИСЗ, будет меньше угла  $\beta_b$ , характеризующего угловой радиус зоны видимости потребителя, ИСЗ будет находиться в зоне видимости потребителя (и наоборот). Следовательно, углы  $\beta$  и  $\beta_b$  могут играть роль некоторых параметров, с помощью которых можно определять моменты времени входа/выхода ИСЗ в зону/из зоны видимости потребителя, а соотношение  $\cos\beta \leq \cos\beta_b$  может служить индикатором этих моментов.

Текущее значение угла  $\beta$  определяется известным соотношением [2],

$$\cos\beta = \frac{\vec{R}_{\Pi}^T \cdot \vec{R}_c}{R_{\Pi} \cdot R_c}, \quad (2)$$

где T – значок транспонирования.

Расчёт текущего значения угла  $\beta$  по соотношению (2) непосредственно – задача несложная, но довольно громоздкая, так как требует расчёта текущих координат потребителя и спутника  $X_{\Pi}, Y_{\Pi}, Z_{\Pi}, X_c, Y_c, Z_c$ .

Оказывается, эту процедуру можно существенно упростить. Сделаем это. Координаты ИСЗ  $X_c, Y_c, Z_c$  и потребителя  $X_{\Pi}, Y_{\Pi}, Z_{\Pi}$  в принятой нами системе координат записываются так [1]:

$$X_c = R_c (\cos U_c \cdot \cos \Omega - \sin U_c \cdot \sin \Omega \cdot \cos i);$$

$$\begin{aligned} Y_c &= R_c (\cos U_c \cdot \sin \Omega + \sin U_c \cdot \cos \Omega \cdot \cos i); \\ Z_c &= R_c (\sin U_c \cdot \sin i), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $i$  – наклонение плоскости орбиты,  
а  $\Omega$  – долгота восходящего узла орбиты,

$$\begin{aligned} X_n &= R_n (\cos \varphi \cdot \cos U_n); \\ Y_n &= R_n (\cos \varphi \cdot \sin U_n); \\ Z_n &= R_n (\sin \varphi). \end{aligned} \quad (4)$$

В векторной форме записи уравнения (3) и (4) запишутся следующим образом:

$$\vec{R}_c = R_c \cdot \vec{C}, \quad (5)$$

где  $\vec{C}$  – матрица – столбец направляющих косинусов радиуса – вектора ИСЗ  $\vec{R}_c$ ,

$$\begin{bmatrix} \cos U_c \cdot \cos \Omega - \sin U_c \cdot \sin \Omega \cdot \cos i \\ \cos U_c \cdot \sin \Omega + \sin U_c \cdot \cos \Omega \cdot \cos i \\ \sin U_c \cdot \sin i \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\vec{R}_n = R_n \cdot \vec{\Pi}, \quad (7)$$

где  $\vec{\Pi}$  – матрица-столбец направляющих косинусов радиуса-вектора потребителя  $\vec{R}_n$ ,

$$\vec{\Pi} = \begin{bmatrix} \cos U_n \cdot \cos \varphi \\ \sin U_n \cdot \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Подставим (5) и (7) в уравнение (2) и в итоге получим

$$\cos \beta = \frac{R_c \cdot \vec{C}^T \cdot R_n \cdot \vec{\Pi}}{R_n \cdot R_c} = \vec{C}^T \cdot \vec{\Pi}. \quad (9)$$

Видно, что выражение (9) означает перемножение выражений (6) и (8). Выполнив умножение (6) на (8), имеем

$$\begin{aligned} \cos \beta &= (\cos U_c \cdot \cos \Omega - \cos \varphi \cdot \cos U_n - \sin U_c \cdot \sin \Omega \cdot \cos i \cdot \cos \varphi \cdot \\ &\cdot \cos U_n) + (\cos U_c \sin \Omega \cdot \cos \varphi \cdot \cos U_n + \sin U_c \cdot \cos \Omega \cdot \cos i \cdot \\ &\cdot \cos \varphi \cdot \sin U_n) + (\sin U_c \cdot \sin i \sin \varphi). \end{aligned} \quad (10)$$

Произведя некоторые упрощения, получим следующее выражение:

$$\cos \beta = (A \cdot \cos U_n + C \cdot \sin U_n) \cdot \cos U_c -$$

$$-(B \cdot \cos U_{\text{п}} - D \cdot \sin U_{\text{п}} - E) \cdot \sin U_{\text{с}}, \quad (11)$$

где  $A = \cos \Omega \cdot \cos \varphi$ ;  
 $B = \sin \Omega \cdot \cos i \cdot \cos \varphi$ ;  
 $C = \sin \Omega \cdot \cos i$ ;  
 $D = \cos \Omega \cdot \cos i \cdot \cos \varphi$ ;  
 $E = \sin i \cdot \sin \varphi$ .

Задав величины  $t_0$ ,  $\Omega$ ,  $\beta_{\text{в}}$ ,  $i$ ,  $\varphi$ ,  $\omega_{\text{с}}$  и выбрав требуемый шаг расчёта величин  $U_{\text{с}}$  и  $U_{\text{п}}$  по времени  $\Delta t$ , организуем расчёт угла  $\beta$  по формуле

$$\beta = \arccos[(A \cdot \cos U_{\text{п}} + C \cdot \sin U_{\text{п}}) \cos U_{\text{с}} - (B \cdot \cos U_{\text{п}} - D \cdot \sin U_{\text{п}} - E) \cdot \sin U_{\text{с}}].$$

При выполнении условия  $\beta \leq \beta_{\text{в}}$  получаем моменты входа/выхода ИСЗ в зону/из зоны видимости потребителя.

В качестве примера на рис. 2 приведён график изменения угла  $\beta$  для следующих исходных данных:  $\omega_{\text{с}} = \pi \frac{\text{рад}}{\text{час}}$  (период обращения ИСЗ  $T_{\text{с}} = 2$  часа),

$$\Omega = 0, \quad i = \varphi = 60^\circ, \quad \Delta t = 1 \text{ мин}, \quad \beta_{\text{в}} = 25^\circ.$$

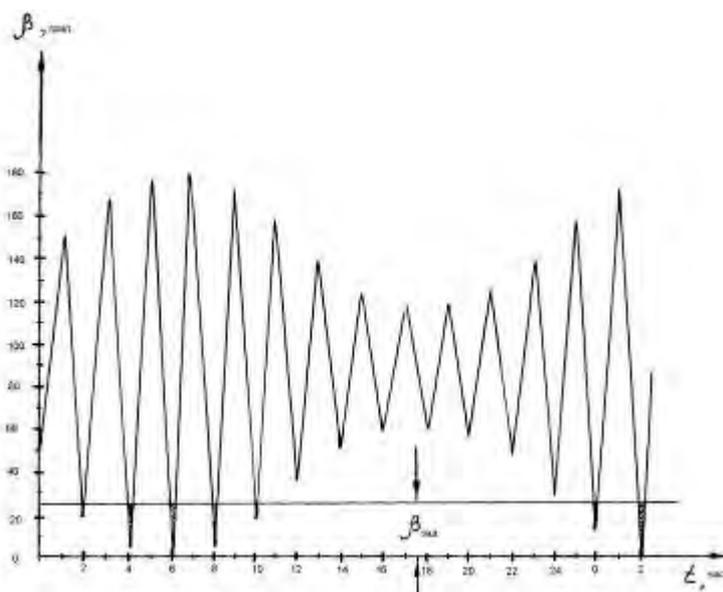


Рис. 2. График изменения углового состояния ИСЗ от потребителя

Таблица моментов времени входа/выхода ИСЗ в зону/из зоны видимости потребителя опущена ввиду её очевидности.

Описанный упрощенный метод расчета времени входа/выхода ИСЗ в зону/из зоны видимости потребителя может быть использован при моделировании процессов взаимной видимости ИСЗ и потребителя при решении ряда задач навигации (при расчете угловой высоты и азимута ИСЗ в момент кульминации в зоне видимости потребителя и т. п.).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. Под ред. Г. Н. Дубошина. – М.: Наука, 1976. – 864 с.
2. И. Н. Бронштейн, К. Н. Семендяев. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

**Simplified Method for Calculation of the Satellite Entry/Exit Time Into/Out of the User Visibility Zone**

**V. M. Panteleyev**  
**(GNINGI, RF MoD)**

*The simplified method used to calculate the entry/exit time for a satellite in/out of the user visibility zone is considered. The method can be applied to low-altitude and medium-altitude satellites.*

---

# ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

---

ГРНТИ 37.25

**СОВМЕСТНАЯ РОССИЙСКО-АМЕРИКАНСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ «РУСАЛКА-2004».  
ЦЕЛИ, ОПИСАНИЕ РАБОТ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

**Н. П. ЛАВЕРОВ**

(Российская Академия Наук),

**В. П. КЕОНДЖАН, М. А. ЖДАНОВ, А. А. ОСТРОВСКИЙ**

(Группа «Альянс»),

**И. В. ЛАВРЕНОВ**

(ГНИГНИ МО РФ; Государственный научный центр РФ Арктический и Антарктический  
Научно-исследовательский институт Росгидромета),

**А. Н. ДОБРОТВОРСКИЙ, В. М. СМОЛИН**

(ГНИГНИ МО РФ),

**А. А. ФЕДОРОВ**

(ГУНИО МО РФ),

**Б. И. СИРЕНКО**

(Зоологический институт РАН),

**ДЖ. КОЛДЕР, К. КРЭЙН**

(Отдел Арктических исследований NOAA Arctic Research Office),

**Т. ВИТЛЕДЖ**

(Университет Штата Аляска, Фэрбенкс)

*Приводится описание экспедиционных работ и предварительных результатов, полученных в российско-американской экспедиции в Беринговом и Чукотском морях в период с 23 июля по 5 сентября 2004 г. по программе «РУСАЛКА» (THE JOINT RUSSIAN-AMERICAN LONG-TERM CENSUS OF THE ARCTIC (RUSALCA)).*

Арктика является частью глобальной климатической системы, где развиваются наиболее сильные естественные флуктуации характеристик климата как следствие межширотного адвективного обмена, внутреннего взаимодействия между компонентами арктической климатической системы (АКС) и глобальных изменений. Этот факт обуславливает значительный уровень исследовательской активности в этом направлении.

В последнее десятилетие в Арктике был проведен ряд международных натуральных экспериментов по исследованию процессов, протекающих в Северном Ледовитом океане (СЛО). Вместе с тем международное научное общество пришло к мнению, что необходимо организовать мониторинг состояния СЛО, прежде всего потому что в последние десятилетия в Арктике отмечалось значительное увеличение частоты прохождения и интенсивности циклонов, приведшее к повышению температуры воздуха и появлению тенденции к сокращению площади и толщины арктических льдов, а также существенным изменениям в

состоянии вод СЛО. С 1987–1989 гг. началось повышение температуры атлантических вод в СЛО, которое для отдельных районов превысило максимальные значения за весь исторический период наблюдений (с 1887 г.).

Для Арктического бассейна СЛО существуют две особо значимые зоны: Берингов пролив и пролив Фрама. Колебание уровня моря в этих районах, особенности циркуляции через проливы в сезонном цикле, структура и характеристики вод в этих районах во многом являются определяющими для понимания особенностей структуры вод и их циркуляции в Арктическом бассейне, арктических морях и, в конечном итоге, влияют на климатическую систему Северной полярной области в целом.

Берингов пролив и примыкающие к нему акватории являются районом значительно более доступным по сравнению с проливом Фрама для проведения исследований экспериментального характера. Отметим, что, несмотря на значительное количество проведенных экспедиционных работ в данном районе, автоколебательная система водообмена через Берингов пролив и, соответственно, влияние Тихого океана на СЛО и наоборот изучена недостаточно полно.

Важно отметить, что в последние годы вопрос о климатических изменениях в Арктике приобрел особую актуальность в связи с наблюдающимися климатическими сигналами, свидетельствующими об устойчивых трендах повышения температуры и сокращения поверхности Северного Ледовитого океана, покрытой льдом. Имеются свидетельства об изменении характера атмосферной циркуляции в Арктике, на основании чего можно предполагать возможное изменение водообмена между Тихим и Северным Ледовитым океанами. В этой связи большой научный интерес представляют продолжительные измерения скоростей и направлений течений через Берингов пролив, в западной части которого измерения течений не проводились уже более двенадцати лет.

В 1995 г. был подготовлен совместный российско-американский проект «Арктический эксперимент», в котором предполагалось продолжить крупномасштабные исследования СЛО, включая слежение за его состоянием. Однако финансовые трудности в России не позволили организовать выполнение этой программы. Решение поставленных задач удалось реализовать в рамках данного эксперимента «РУСАЛКА» в 2004 г.

Начальником экспедиции «Русалка-2004» являлся В. М. Смолин (Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Министерства обороны РФ, ГНИНГИ МО РФ), научным руководителем с американской стороны – др. Т. Витледж (Университет Штата Аляска, США), с российской – докт. физ.-мат. наук. И. В. Лавренов (Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт).

**Цели и задачи экспедиции.** Совместные российско-американские экспедиционные исследования, проводимые на взаимовыгодной основе в рамках проекта «РУСАЛКА» (THE JOINT RUSSIAN-AMERICAN LONG-TERM CENSUS OF THE ARCTIC (RUSALCA), направлены на долговременное изучение Арктики, включая

изучение процессов водообмена Берингова и Чукотского морей и влияние арктических вод на структуру океанологических полей севера Берингова моря, а тихоокеанских – на структуру вод морей Чукотского и Бофорта. При этом, наряду с исследованием гидрофизических и гидрохимических характеристик, программа включала изучение характера донных осадков и особенностей биоценозов. Это особенно важно, поскольку в последнее десятилетие в ряде районов моря Лаптевых и приполюсном районе Арктического бассейна были обнаружены отдельные виды морских организмов, которые ранее здесь не наблюдались и имеют определенно тихоокеанское происхождение. Перенос морскими льдами и водами осадочного материала, выносимого речными водами, во многом определяет состав рыхлого осадка в районах, прилегающих к Берингову проливу, что открывает возможность оценки и реконструкции процессов палеоциркуляции вод в этих районах и в Арктическом бассейне в целом. Отдельным вопросом стоит исследование экосистемы региона. Это связано с тем, что предполагаемые для исследования районы богаты биогенами, что всегда определяло здесь высокую биологическую активность, а планируемые разработки полезных ископаемых на шельфе Чукотского и Берингова морей могут нарушить складывающийся веками баланс в морских экосистемах, поскольку из-за особенностей своего географического положения местные экосистемы оказываются особенно уязвимыми.

Долгосрочной целью программы является выполнение продолжительного и детального исследования Арктики, включая мониторинг Берингова пролива. Сбор гидрологических, биохимических и гидробиологических данных из американских и российских баз данных послужит основой для совместной оценки изменений климата, водообмена и состава биоценозов в Арктике.

Экспедиционные исследования в 2004 г. были выполнены на научно-исследовательском судне (НИС) «Профессор Хромов» ДВНИИГМИ Росгидромета (рис. 1).

Они были направлены на получение комплексной информации о состоянии природной системы Берингова и Чукотского морей взаимодействии ее основных компонент и их влиянии на формирование климатических сигналов в северных полярных районах. Экспедиционные работы являются продолжением цикла исследований, выполненных в 1990–1995 гг. в рамках российско-американского межправительственного соглашения по сотрудничеству в исследовании Мирового океана (проект «Циркуляция Берингова и Чукотского морей»).

Выполнение экспериментальных исследований 2004 г. позволяет решить следующие научные задачи:

- оценить изменчивость температуры и солености поверхностных, промежуточных, глубинных и донных вод;
- оценить интенсивность процессов трансформации вод при взаимодействии шельфовой области и глубокого океана;



**Рис. 1. НИС «Профессор Хромов» , 24 августа 2004 г , г. Ном, Аляска, США**

- оценить изменчивость теплозапаса арктических вод, ее влияния на ледяной покров и поверхностный слой океана;
- описать механизмы образования промежуточных (холодного галоклина) и донных вод, тонкой и мезомасштабной структуры океана;
- получить количественные оценки и параметризации потоков тепла, соли и импульса в различных слоях океана от поверхности до дна;
- получить временные серии наблюдений за скоростями течений, температурой и соленостью на различных горизонтах для валидации моделей циркуляции льдов и вод Арктического и Тихоокеанского бассейнов;
- изучить процессы гидротермальной активности и связанных с ней геологических и биологических процессов;
- исследовать скопления газовых гидратов, приуроченные к очагам разгрузки флюидов в Беринговом и Чукотском морях.



**Рис. 2. Участники экспедиции «РУСАЛКА –2004», 24 августа 2004 года, г. Ном, Аляска, США**

Ниже приведен состав участников экспедиции и краткое описание выполнения экспедиционных работ

Члены экспедиции	Организация
Терри Уитледж (Terry Eugene Whitledge)	Университет Аляски
Владимир Максимович Смолин	ГНИНГИ МО РФ
Александр Анатольевич Федоров	ГОСНИНГИ
Александр Александрович Чемин	Министерство обороны РФ
Катлин Крейн (Kathleen Crane)	Национальное управление по океану и атмосфере NOAA (США)
Михаил Александрович Жданов	Группа «Альянс»
Кевин Рэй Вуд (Kevin Ray Wood)	Национальное управление по океану и атмосфере NOAA (США)
Борис Иванович Сиренко	Зоологический институт РАН
Сергей Юрьевич Гагаев	
Борис Анатольевич Шейко	
Игорь Викторович Лавренов	Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ) Росгидромета
Александр Юрьевич Ипатов	

Александр Сергеевич Саввичев	Институт микробиологии РАН (ИНМИ РАН)
Игорь Иванович Русанов	
Вячеслав Анатольевич Гладыш	Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана (ВНИИ Океангеология)
Борис Николаевич Смирнов	
Виталий Валерьевич Каулио	
Алексей Федорович Щербинин	ДВНИГМИ Росгидромета
Евгений Николаевич Вехов	
Игорь Николаевич Титов	
Игорь Юрьевич Филиппов	
Ярош Сергей Владимирович	
Ксения Николаевна Кособокова	Институт Океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии Наук (ИОРАН)
Арианна Лин Балсон (Arianne Lynn Balsom)	Университет Теннесси
Катрин Барбара Айкен (Katrin Barbara Iken)	Университет Аляски
Бодил Анники Блум (Bodil Anniky Blum)	
Расселл Росс Хопкрофт (Russell Ross Hopcroft)	
Катерин Уимсатт Мекленберг (Catherine Wimsatt Mecklenburg)	
Бренда Анн Холладей (Brenda Ann Holladay)	
Санг Хеон Ли (Sang Heon. Lee)	
Сара Джейн Тортон (Sarah Jane Thornton)	
Джеффри Джонс (Jeffrey Jones)	Информационное агентство «Рейтер»
Дэвид Лисли Стейн (David Leslie Stein)	Национальное управление по океану и атмосфере NOAA (США)
Маршалл Швартц (Marshall Swartz)	Вудсхольский океанографический институт
Марк Денет (Mark Dennett)	
Анатолий Сергеевич Астахов	Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН
Борис Яковлевич Ли	
Максим Владимирович Иванов	

**Навигационная характеристика рейса.** Работы в 52-м экспедиционном рейсе проводились в юго-западной части Берингова моря в районе Командорских островов и в центральной части Чукотского моря (рис. 3).

23 июля 2004 г. в 12 час. 5 мин. (время судовое) судно вышло из порта Владивосток и последовало в район работ в Беринговом море к северовостоку от Командорских островов (подводный вулкан Пийпа).

По окончании исследований в полигоне судно последовало в порт Ном (США), для погрузки оборудования и приема на борт американских ученых.

09 августа судно вышло из порта последовало в район работ в Беринговом проливе.

В период с 10 по 11 августа выполнялись работы на разрезе в Беринговом проливе, а 11–16 августа – на двух разрезах в Чукотском море (рис. 4).

По окончании работ на разрезах судно возвратилось в Берингов пролив, где 17 августа были установлены две автономные буйковые станции.

В период с 18 по 22 августа выполнялись работы на разрезах в районе каньона Геральда в Чукотском море, после чего судно последовало в порт Ном для выгрузки научного оборудования и высадки американских участников экспедиции. 6 сентября судно прибыло в порт Владивосток.

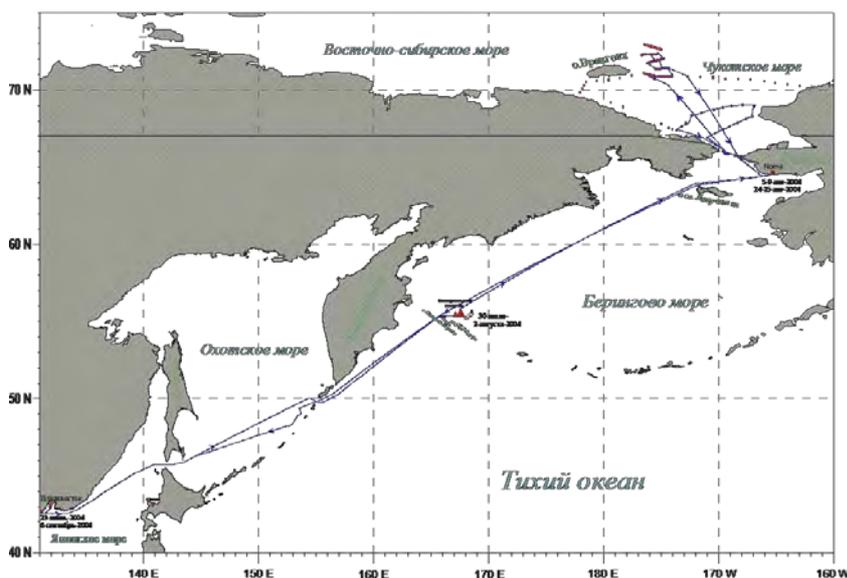


Рис. 3. Генеральная схема маршрута в 52-м рейсе (RUSALCA).  
НИС «Пр. Хромов» (22 июля – 6 сентября)

**Особенности проведения экспедиционных работ.** В целях обеспечения необходимой точности отбора проб донных отложений, а также проведения STD-измерений и исследований морского дна с помощью видеокамеры некоторые станции выполнялись с постановкой судна на якорь.

На выполнение работ на акватории Чукотского моря существенное влияние оказали ледовые условия, ограничившие плавание и выполнение экспедиционных наблюдений (рис. 5). В остальном же погодные условия в течение рейса в основном благоприятствовали проведению запланированных исследований, и работ за исключением периода стоянки в порту Ном 7–9 августа, когда судно было вынуждено отойти от причала и переждать непогоду на рейде. На переходе во Владивосток в Охотском море в период 1–2 сентября маршрут судна проходил в зоне действия тайфуна «Chaba». Скорость ветра достигала 22 м/сек., высота волн 4,5 м. Умелые действия капитана судна и экипажа обеспечили полное выполнение программы исследований.

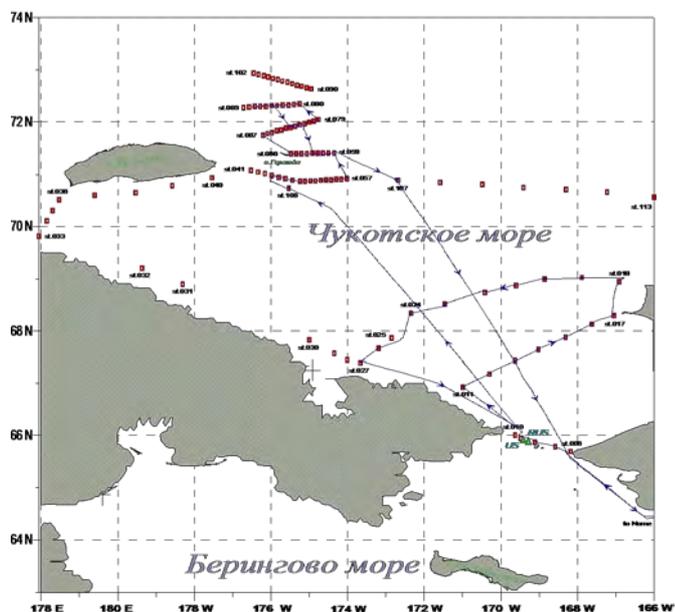


Рис. 4. Детальная схема работ в 52-м экспедиционном рейсе (RUSALCA). НИС «Пр. Хромов» в Чукотском море (22 июля – 6 сентября). Линией показан маршрут, квадратами – координаты станций

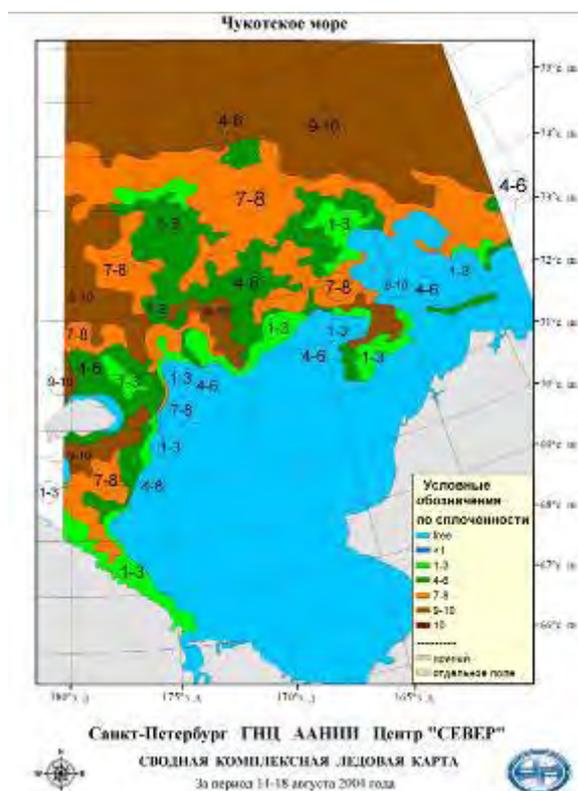


Рис. 5. Карта ледовой обстановки в Чукотском море в период выполнения экспедиции РУСАЛКА-2004, подготовленная в ААНИИ

**Основные результаты экспедиции.** На взаимовыгодной основе проведена российско-американская комплексная экспедиция, позволившая получить уникальные гидрологические, биохимические и гидробиологические и геологические данные о структуре и функционировании экосистемы Берингова пролива и Чукотского моря.

В результате проведения комплекса геолого-геофизических исследований на подводном вулкане Пийпа были получены данные, подтверждающие наличие современных подводных газовых и гидротермальных выходов на вершинах вулкана, а также обнаружены структуры вулканического происхождения на склонах вулкана. Дальнейший анализ и обработка большого количества материалов гидроакустических исследований позволяет оценить уровень современной гидротермальной активности вулкана и влияние современных геологических процессов на природную среду.

Собрана коллекция горных пород и донных осадков в двух районах вулкана Пийпа (Берингово море) и Чукотское море, которая в дальнейшем может использоваться как эталонная при мониторинге экологического состояния этих районов.

В результате выполнения 77 комплексных станций получены данные о состоянии гидрологических, биохимических и гидробиологических параметров водной среды включая вертикальное распределение концентрации биогенных элементов, определяющих уровень первичной продукции фотического слоя. Проведен отбор проб для определения концентрации хлорофилла *A*.

На ряде базовых станций российскими и американскими учеными двумя независимыми методами проведено прямое определение первичной продукции фотосинтеза фито- и бактериопланктона. Проведен сбор материала зоопланктона, получены предварительные данные количества, таксономического состава и биоразнообразия зоопланктона исследованной акватории Чукотского моря.

Получены уникальные видеоматериалы состава бентосной фауны, меняющие представление о биоразнообразии донного сообщества Чукотского моря. Проведенные подводные видеонаблюдения позволили найти новые разновидности морской фауны, ранее не наблюдавшихся в акваториях Чукотского и других северных морей.

Впервые обнаруженные в Чукотском море два вида крабов и крупные двухстворчатые моллюски свидетельствуют о потеплении климата.

Впервые в Чукотском море найдены чрезвычайно высокие биомассы донных беспозвоночных, превышающие  $4 \text{ кг/м}^2$ , что превосходит все до сих пор известные данные по сообществам мягкой грунтов не только арктического, но и Тихого океанов. Существование столь богатых донных сообществ в юго-западной части Чукотского моря, по-видимому, возможны в

результате вихревых циркуляций, зарождающихся в Чукотском море к западу от Берингова пролива. Эти циркуляции концентрируют биогенные вещества, фито- и зоопланктон, а донные сообщества, потребляя богатый планктон и сестон, аккумулируют в своей биомассе органику.

В ходе выполнения экспедиции «РУСАЛКА» 17 августа 2004 года была успешно осуществлена постановка сроком на один год погружных буйковых (американской и российской) гидрологических станций в западной части Берингова пролива. Последующая обработка данных даст уникальный материал для оценки пространственных и временных гидрологических характеристик и описания процессов во временных масштабах от часа до года.

Полученные в экспедиции «РУСАЛКА-2004» данные послужат материалом для разработки климатической модели ААНИИ, описывающей взаимодействие между Тихим и Северным ледовитым океанами. Модель позволит оценить влияние Тихого океана на климатические изменения Арктического региона.

Авторы выражают благодарность Национальной океанской и атмосферной администрации США (НОАА), Российской Академии Наук и Росгидромету за финансирование экспедиционных работ.

Мы благодарны также экипажу НИС «Профессор Хромов» и лично капитану Г. И. Петренко за высокопрофессиональную работу и помощь, оказанную при выполнении полевых изысканий, а директору ДВНИГМИ Ю. Н. Волкову за общую организацию работ.

Main Results Obtained by the Rusalca-2004 Expedition and Prospects for Their Employment to Solve the Problems of Climatology and Bioproduction in the Eastern Part of the Arctic

**N. P. Laverov<sup>1,2)</sup>, S. P. Alekseyev<sup>2)</sup>, V. P. Keondjian<sup>3)</sup>, M. A. Zhdanov<sup>3)</sup>, A. A. Osrtovskiy<sup>3)</sup>, I. V. Lavrenov<sup>2,4)</sup>, A. N. Dobrotvorskyy<sup>2)</sup>, A. A. Fedorov<sup>2)</sup>, V. M. Smolin<sup>2)</sup>, B. I. Sirenko<sup>5)</sup>, J. Calder<sup>6)</sup>, K. Crane<sup>6)</sup>, V. Whitley<sup>7)</sup>**

<sup>1)</sup> The Russian Academy of Sciences

<sup>2)</sup> GNINGI, RF MoD

<sup>3)</sup> The «Aliance» Group

<sup>4)</sup> The State Scientific Centre of the Russian Federation «The Arctic and Antarctic Research Institute»

<sup>5)</sup> The Zoological Institute, RAS,

<sup>6)</sup> The Arctic Research Office, NOAA;

<sup>7)</sup> The University of Alaska, Fairbanks

*The expeditionary work and field explorations, as well as the preliminary results of data analysis, obtained in the course of the Russian-American expedition in the Bering and Chukchi Seas from July 23 to September 5, 2004, under the «Rusalka» program (THE JOINT RUSSIAN-AMERICAN LONG-TERM CENSUS OF THE ARCTIC, RUSALCA) are described.*

**ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЧУКОТСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ  
ЭКСПЕДИЦИИ «РУСАЛКА-2004»**

**И. В. ЛАВРЕНОВ**

(Государственный научный центр РФ Арктический и антарктический  
научно-исследовательский институт Росгидромета; ГНИГНИИ МО РФ),

**А. Н. ДОБРОТВОРСКИЙ**

(ГНИГНИИ МО РФ)

*Приводится описание результатов исследований, а также предварительный анализ данных, полученных российско-американской экспедицией на научно-исследовательском судне ДВНИИГМИ «Профессор Хромов» в Беринговом и Чукотском морях с 23 июля по 5 сентября 2004 г. по программе «РУСАЛКА» (THE JOINT RUSSIAN-AMERICAN LONG-TERM CENSUS OF THE ARCTIC (RUSALCA)). Исследования были направлены на получение комплексной информации о состоянии природной системы Берингова и Чукотского морей, взаимодействии ее основных компонент и их влиянии на формирование климатических сигналов в северных полярных районах. Сбор гидрологических, биохимических и гидробиологических данных из американских и российских баз данных является основой для совместной оценки изменения климата, водообмена и состава биоценозов в Арктике.*

**Состояние вопроса.** В последние годы вопрос о климатических изменениях в Арктике приобрел особую актуальность в связи с наблюдающимся климатическими сигналами, свидетельствующими об устойчивых трендах повышения температуры и сокращения поверхности Северного Ледовитого океана, покрытой льдом. Имеются свидетельства об изменении характера атмосферной циркуляции в Арктике, на основании которых можно предполагать возможное изменение водообмена между Тихим и Северным Ледовитым океанами.

Результаты, приведенные в настоящей работе, были получены в российско-американской экспедиции, выполняемой по программе «РУСАЛКА» (THE JOINT RUSSIAN-AMERICAN LONG-TERM CENSUS OF THE ARCTIC (RUSALCA)). Целью программы является продолжительный и детальный мониторинг Северного Ледовитого океана, выполняемый российскими и зарубежными учеными на основе кооперации. Сбор гидрологических, биохимических данных и данных о продуктивности из американских и российских баз данных будет основой совместной оценки изменения климата, водообмена и состава биоценоза в Арктике.

Экспедиция проводилась на научно-исследовательском судне (НИС) ДВНИИГМИ «Профессор Хромов» с 23 июля по 5 сентября 2004 г. в Беринговом и Чукотском морях. Схема работ в 52-м экспедиционном рейсе («RUSALCA») показана на рис. 3–4, статьи [1] в настоящем издании. Работы проводились в ледовых условиях [1, рис. 5], ограничивших возможности плавания и выполнения экспедиционных наблюдений.

### 1. Выполнение гидрологических станций (СТД)

При выполнении экспедиционных исследований была сделана серия гидрологических разрезов с целью получения оценок гидрологических параметров и образцов водных масс в летний период (рис. 1–9). Гидрологические станции были выполнены на разрезах поперек Берингова пролива (рис. 1), в южной акватории Чукотского моря (рис. 3) и районе каньона Геральда (рис. 6).

**Вертикальные профили СТД.** С целью получения информации о вертикальном распределении гидрологических параметров был использован измеритель SeaBird (model SBE911) и профилометр Вудсхольского океанографического института (WHOI, US) оснащенный датчиком прозрачности, флуорометром, альтиметром, SBE43 датчиком измерения растворенного кислорода, двумя ADCP, работающими на частоте 300 КHz, 21-ной розеткой по 10 литров (Niskin bottles) и мини-видеорегистратором планктона.

В результате выполнения измерений были получены вертикальные профили температуры, электропроводности, флуоресценции, прозрачности и содержания биогенных элементов, а также образцы воды вдоль разрезов на станциях в западном и восточном канале Берингова пролива и на ряде разрезов в Чукотском море. Вертикальные профили представлены на рис. 2, 4, 7). Здесь же представлены полученные в результате двумерной интерполяции изменения профилей вдоль разрезов.

Так, данные, показанные на рис. 2, свидетельствуют о значительных изменениях температуры (от +3°C до 13,5°C) и солености (от 28‰ до 33‰), происходящих на расстоянии около 80 км по линии, пересекающей Берингов пролив. Причем у берегов Аляски вода оказывается значительно более теплой и менее соленой, чем у берегов Чукотки, что является результатом стока реки Юкон.

В южной акватории Чукотского моря (рис. 4) температура меняется от – 0,5°C до 11,0°C, а соленость – от 29,5‰ до 33‰, что происходит на расстоянии 350 км между точками. Вертикальное распределение температуры характеризуется явно выраженным термоклинном, а соленость – галоклинном, находящимся на глубине 10–15 м, которые могут формироваться в результате таяния льда и распространения пресных вод в поверхностном слое моря.

Вертикальные профили температуры и солености в районе желоба Геральда (рис. 7) также характеризуются наличием явно выраженных термоклина и галоклина, что связано с наличием талых вод. Достаточно густая сеть станций, выполненных в этом районе, позволила также выявить горизонтальное (пространственное) распределение этих элементов на горизонтах 25 (пикноклин) и 35 метров (под пикноклинном) (рис. 9).

**Регистрация планктона на СТД.** В ходе выполнения полевых изысканий были также выполнены исследования планктона с целью определения потока биогенного материала и зоопланктона из Чукотского

моря. Данные, полученные с помощью настоящих измерений, позволяют оценить, какой биологический индикатор может служить трассером водных масс, проникающих через каньон Геральда, каким образом эти массы оказывают влияние на сообщество зоопланктона, и как зоопланктон может влиять на углеродный цикл через усвоения первичной продукции.

Вертикальные профили и пространственные разрезы распределения кислорода и концентрации фитопланктона, выполненные в районе южной части Чукотского моря по данным STD станций 18–27 (вид с юга), показаны на рис. 5. Концентрация кислорода меняется здесь от 4 до 11 мл/л. Концентрация хлорофилла меняется в очень широких пределах – от нескольких единиц до 60–70 мг/м<sup>3</sup> (получено на одной из станций).

В районе желоба Геральда (рис. 7) диапазон указанных вариаций увеличивается в еще большей степени, причем наибольшей концентрации хлорофилл достигает в районах кромки ледяного покрова, что свидетельствует о весьма интенсивной первичной биологической продуктивности.

Заслуживает внимание и тот факт, что в этом районе отмечается очень высокая взмученность на глубинах 60–80 м (рис. 8). Объяснение этого явления будет дано далее в разделе 3.

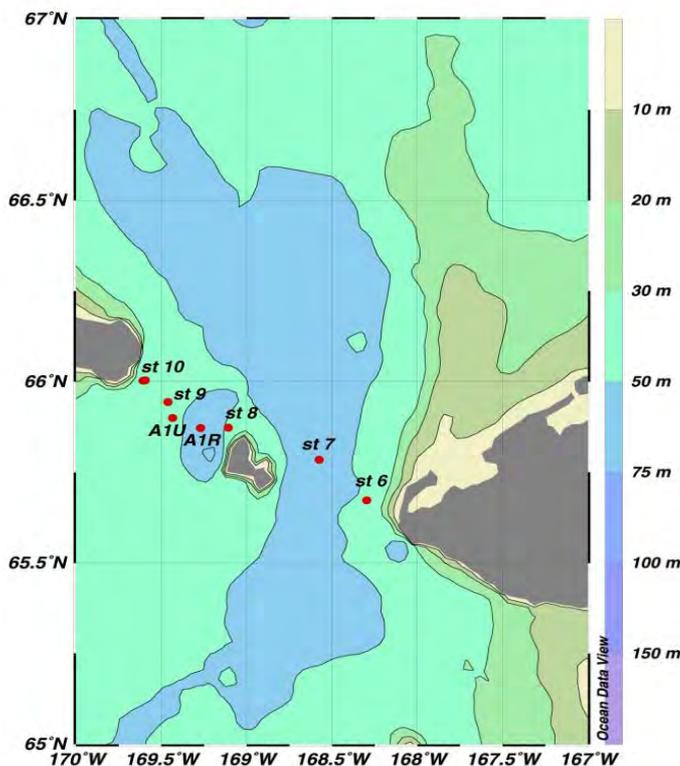


Рис. 1. Положение выполненных в экспедиции «РУСАЛКА-2004» STD станций на батиметрической карте Берингова пролива

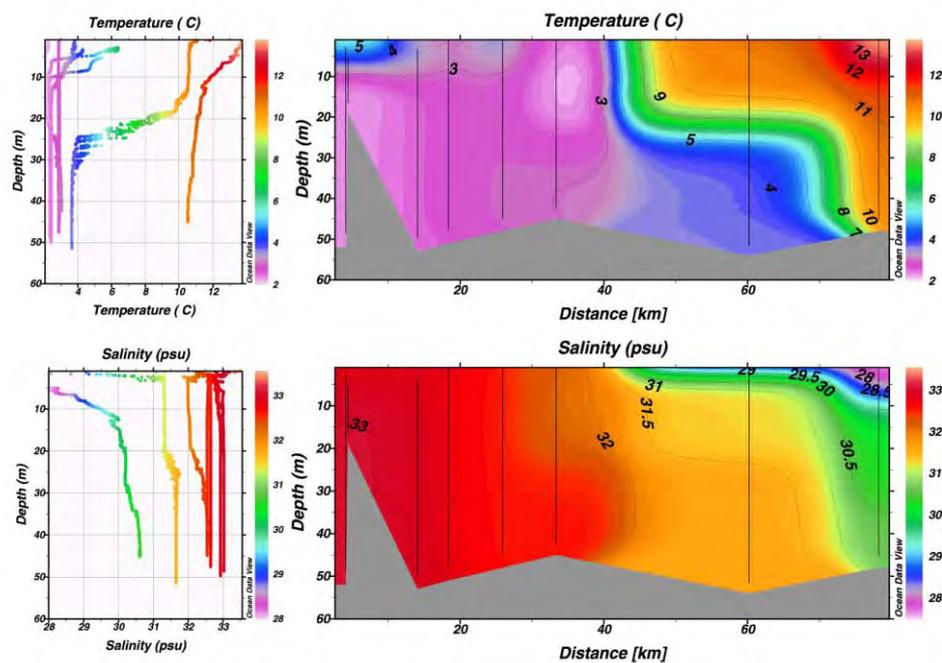


Рис. 2. Вертикальное и горизонтальное распределение температуры (temperature) и солености (salinity) в Беринговом проливе (вид с юга)

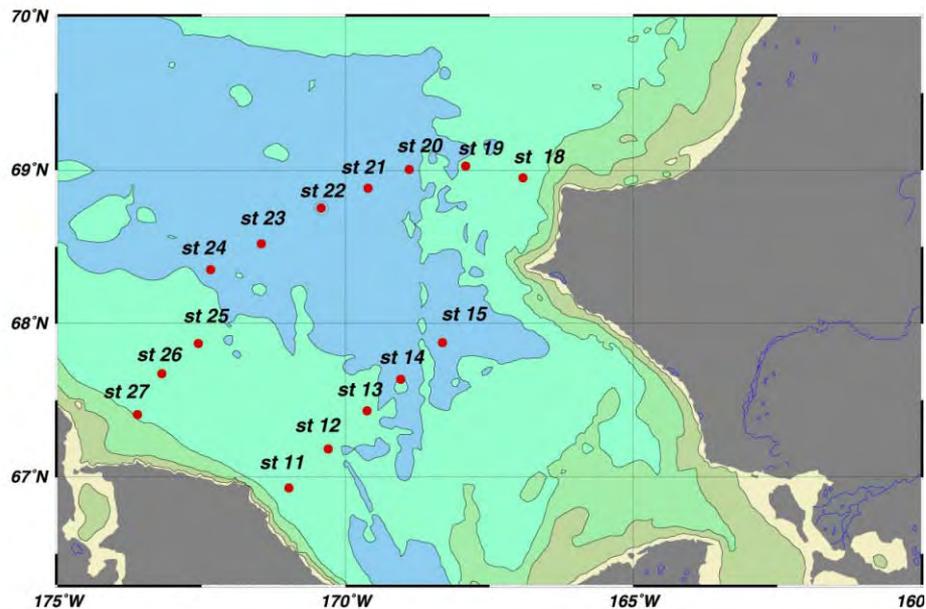


Рис. 3. Положение выполненных в экспедиции «РУСАЛКА-2004» STD станций на батиметрической карте южной части Чукотского моря

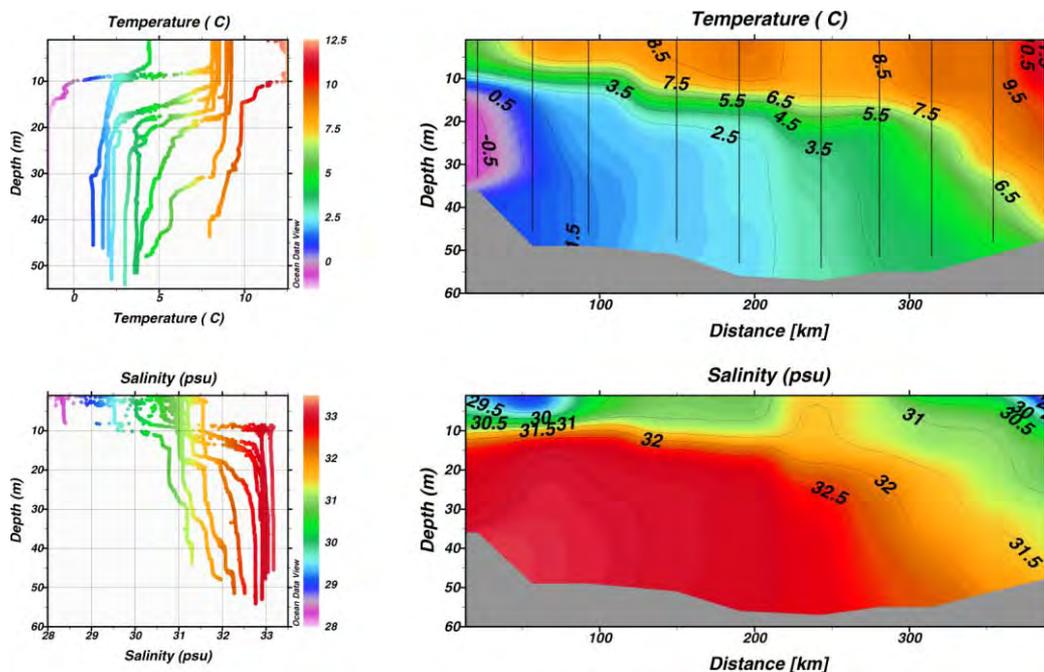


Рис. 4. Вертикальное и горизонтальное распределение температуры (temperature) и солёности (salinity) в южной части Чукотского моря по данным CTD станций 18–27 (вид с юга)

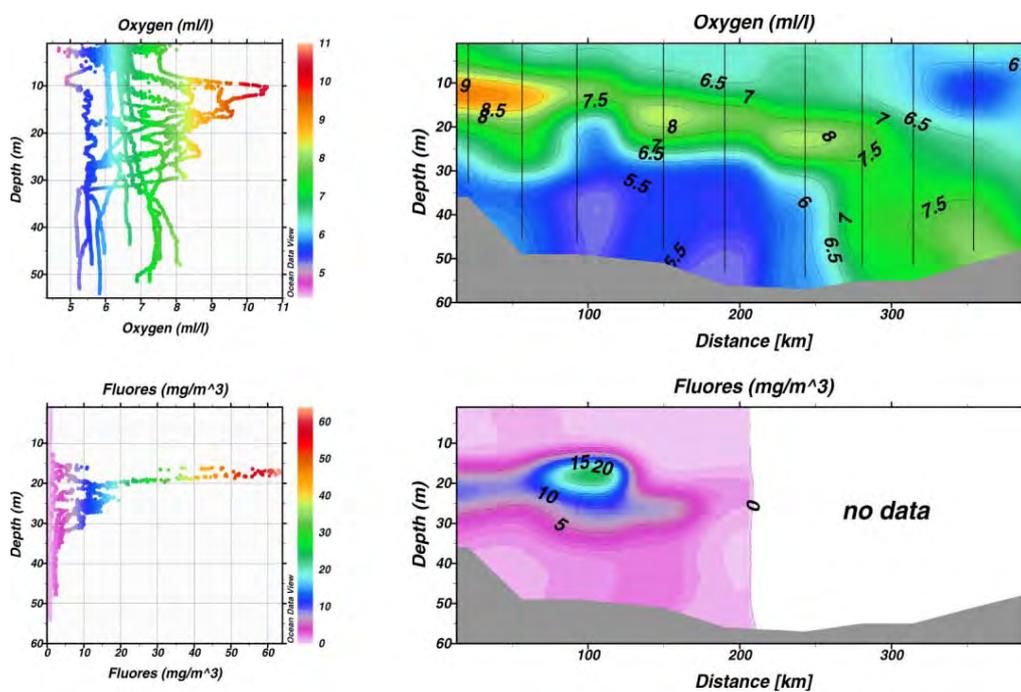


Рис. 5. Вертикальное и горизонтальное распределение кислорода (oxygen) и концентрации фитопланктона (fluores) в южной части Чукотского моря по данным CTD станций 18–27 (вид с юга)

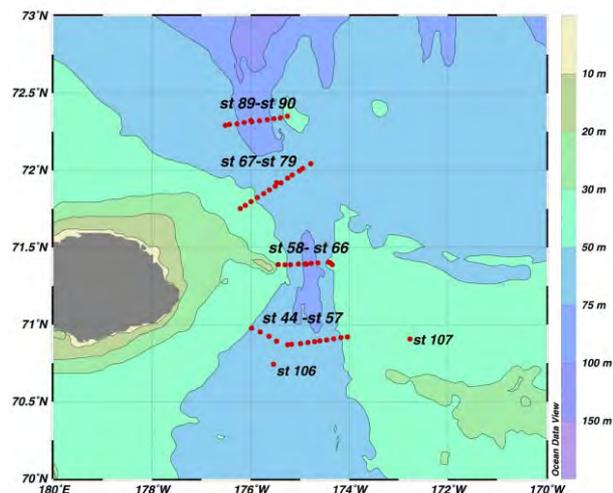


Рис. 6. Положение на батиметрической карте Чукотского моря STD станций, выполненных в экспедиции «РУСАЛКА-2004» в районе островов Врангеля и Геральда (Геральдинский желоб)

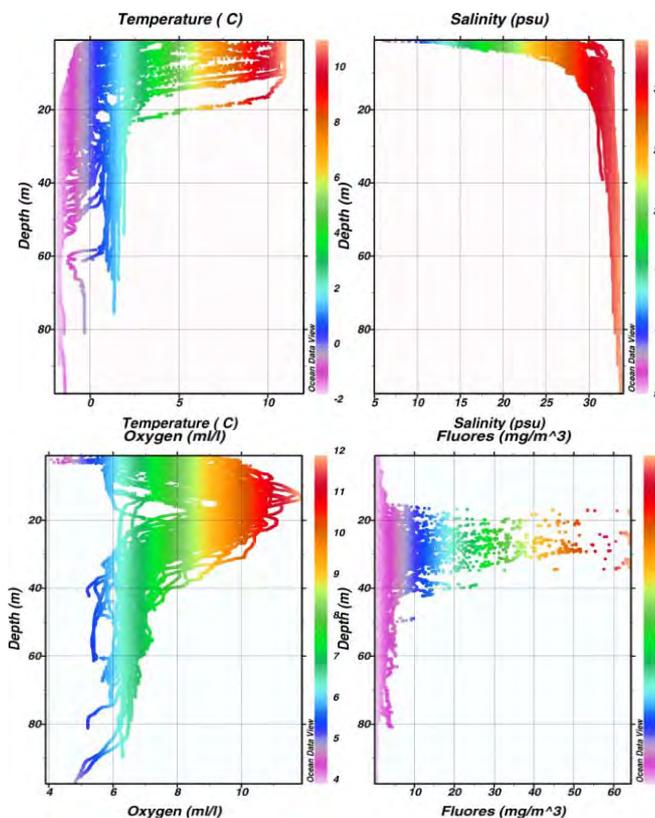


Рис. 7. Вертикальное и горизонтальное распределение температуры (temperature), солености (salinity), кислорода (Oxygen) и концентрации фитопланктона (fluores) в районе островов Врангеля и Геральда

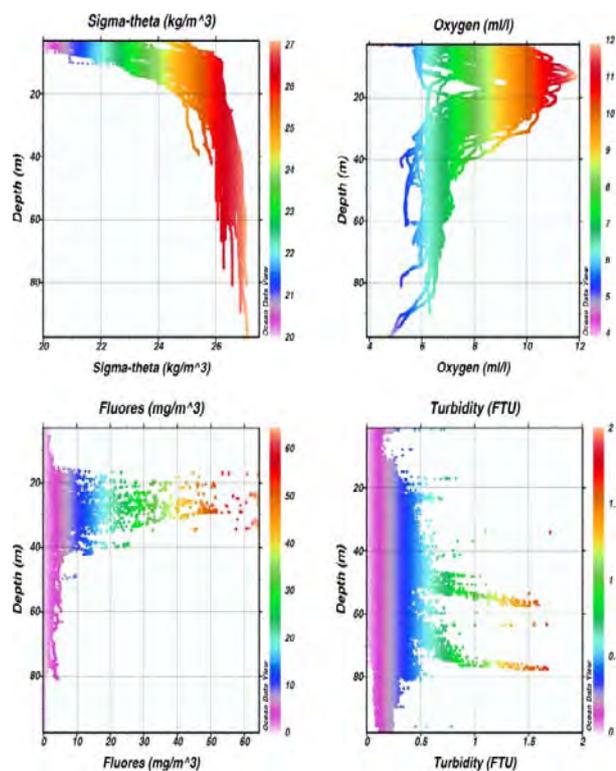


Рис. 8. Вертикальное распределение плотности (sigma-theta), кислорода (Oxygen), концентрации фитопланктона (fluores) и мутности (turbidity) в районе остров Врангеля и Геральда

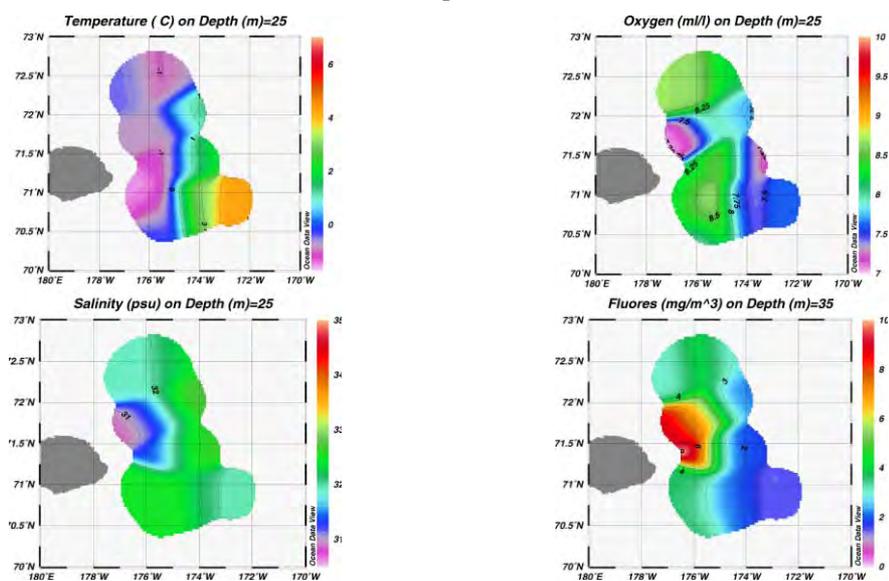


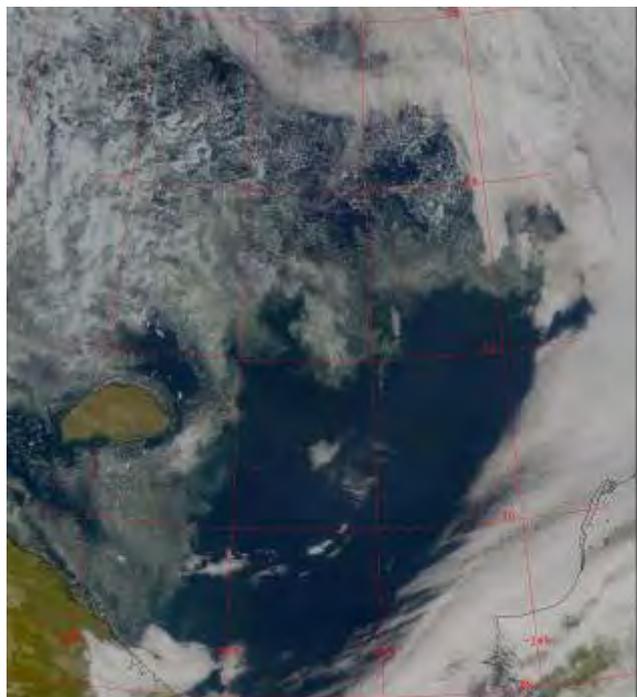
Рис. 9. Поля температуры (temperature), солености (salinity), кислорода (Oxygen), концентрации хлорофилла (fluores) на горизонтах 25 м (пикноклин) и 35 м (под пикноклином), измеренные в районе остров Врангеля и Геральда

**Технология выполнения высокочувствительной оперативной гидрологической и планктонной съемки в каньоне Геральда.** Были выполнены четыре поперечные съемки, покрывающие южную часть каньона в его наиболее узкой части, направленной на север. Подводный микроскоп (VPR) был смонтирован в раму СТД с целью оценки состава и измерения концентрации зоопланктона и взвешенных частиц в воде. Это обеспечивает высокое разрешение данных о таксономическом составе зоопланктона и данных о распределении частиц сестона и их связи с вертикальным и горизонтальным распределением всех параметров водных масс.

Записывающее видеоустройство (Video Plankton Recorder (VPR)) представляет собой систему с подводным микроскопом, предназначенную для выполнения быстрой оценки состава планктона и его обилия. Этот инструмент разработан компанией Seascan, Inc. Falmouth, MA, USA. Он состоит из видеовоспроизводящей головки (CCD камера и стробоскопический источник света), процессора, воспроизводящего импульс, и твердого диска, записывающего изображение в реальном масштабе времени, а также регистрирующего планктон и частицы. Система (VPR) смонтирована как автономный инструмент на СТД розетке и записывает файл сжатого импульса видеоизображения на внутренний диск памяти. Отдельный аппарат Seabird SBE 37 собирает данные о проводимости, температуре и глубине, которые связаны с каждым записанным видеоизображением. После каждого развертывания изображение и СТД данные передаются по связи на персональный компьютер, находящийся на судне. Соответствующее программное обеспечение исследует каждое изображение и определяет существование и количество исследуемых объектов. Автоматическая идентификация планктона совершается один раз, при этом происходит ее запоминание по программе нейронных цепей. Этот процесс требует запоминания ~2000 изображений. Программа нейронных цепей запускается на данном наборе изображений, чтобы получить оценку параметров, необходимых для определения видов планктона. Классификатор используется для автоматической сортировки изображений по морфологическим категориям.

## **2. Анализ спутниковых наблюдений поверхности Берингова и Чукотского морей**

Измерения, выполненные во время экспедиции «РУСАЛКА-2004» с помощью гидрологических станций в различных точках разрезов в Беринговом проливе и Чукотском море, показали их большую изменчивость гидрологических параметров. В связи с этим представляет большой интерес сопоставление их значений с данными, полученными с помощью спутниковых изображений морской поверхности в этом же районе. Так, на рис. 10 дано изображение поверхности Берингова и Чукотского морей, выполненного со спутника NASA 14 августа 2004 г.



**Рис. 10. Изображение поверхности Чукотского моря со спутника NASA 14.08.2004**  
([http://halibut.ims.uaf.edu:8000/~mschmidt/ims\\_summary.html](http://halibut.ims.uaf.edu:8000/~mschmidt/ims_summary.html))

Как видно из представленного изображения, на момент его получения небо над экваторией в большей части было свободно от облачности, что позволило получить четкое представление о состоянии ее поверхности.

На рис. 11 показано пространственное распределение и концентрация хлорофилла на не скрытой облачностью поверхности Чукотского моря. Из рисунка следует, что наибольшая концентрация хлорофилла наблюдается в прикромочных областях северной части экватории, не покрытой льдом, и в юго-западной части Чукотского моря. Эти результаты совпадают с выводами, полученными на основании анализа данных гидрологических станций, и приведенных в предыдущем разделе.

Представляют интерес исследования морской поверхности этого же района на 27 августа 2004 г., когда значительная поверхность моря снова оказалась не скрытой облачностью (рис. 12). Концентрация хлорофилла на поверхности Берингова и Чукотского моря по спутниковым данным 27 августа 2004 г. показана на рис. 13. Здесь прослеживается та же закономерность, а именно наибольшая концентрация хлорофилла наблюдается в прикромочной зоне, в восточной, прибрежной части Чукотского моря, и, главным образом, в юго-западной экватории Чукотского моря. Отметим, что именно это район характеризуется высокой биологической продуктивностью, оценки которой получены в нашей экспедиции.

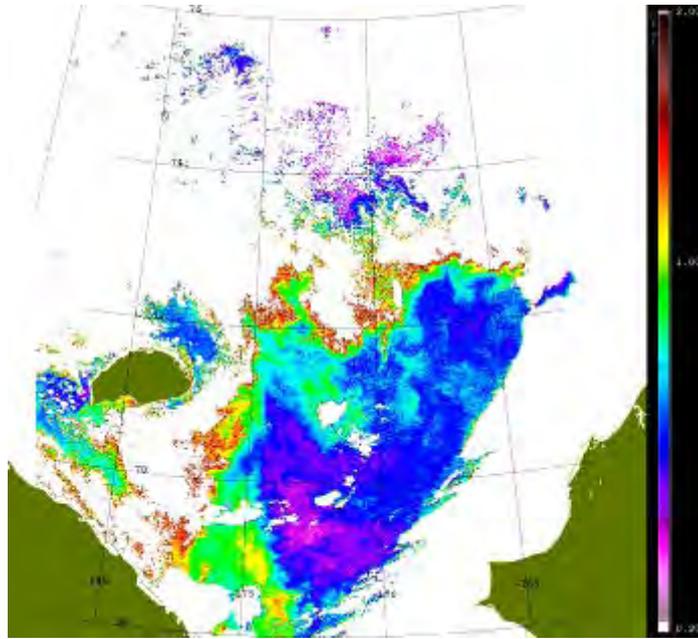


Рис. 11. Концентрация хлорофилла на поверхности Чукотского моря по данным спутника NASA 14.08.2004

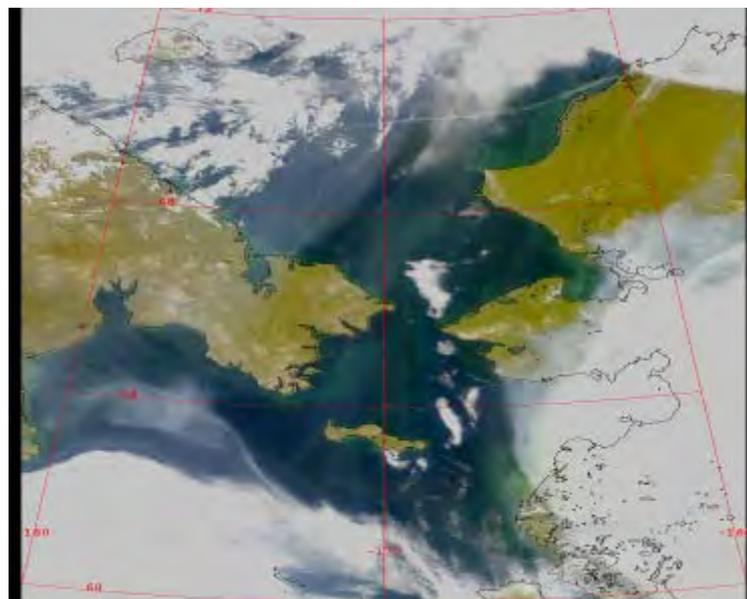
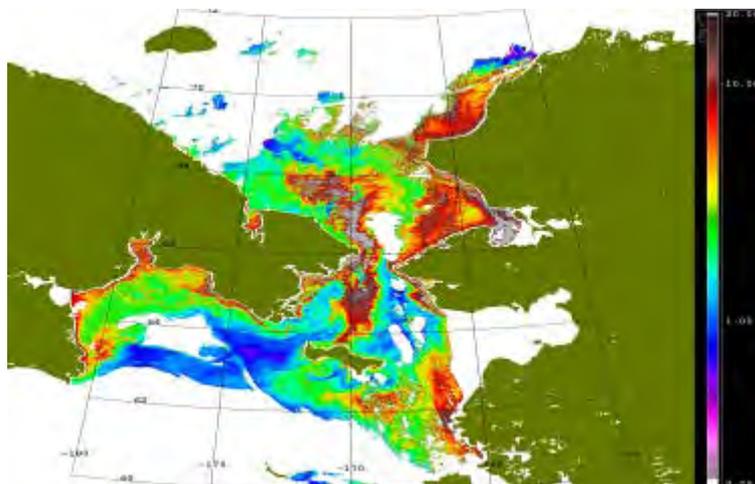
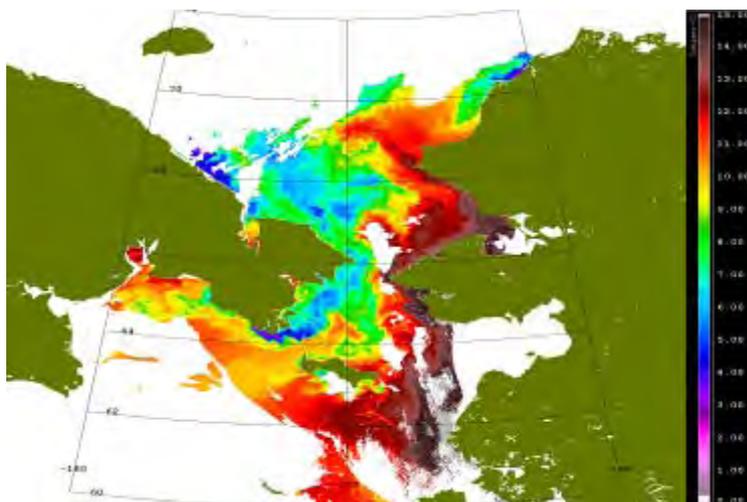


Рис. 12. Изображение поверхности Берингова и Чукотского морей со спутника NASA 27.08.2004



**Рис. 13. Концентрация хлорофилла на поверхности Берингова и Чукотского моря по спутниковым данным 27.08.2004**

27 августа 2004 г. спутниковые измерения в инфракрасном диапазоне позволили также оценить температуру поверхности воды (рис. 14). Как видно, наиболее теплая поверхность Чукотского моря оказывается расположенной в восточной ее части, что, по всей видимости связано с проникновением теплых Тихоокеанских вод и стоком реки Юкон. Юго-западная часть Чукотского моря оказывается более холодной.



**Рис. 14. Температура поверхности Берингова и Чукотского морей по данным спутника NASA, 27.08.2004**

Таким образом, оценки пространственного распределения хлорофилла и температуры поверхности моря, полученные с помощью спутниковой информации, практически совпадают с данными гидрологических станций, приведенными в предыдущем разделе.

### **3. Физическая интерпретация механизма, обуславливающего повышенную концентрацию хлорофилла в арктическом море**

В ходе выполнения экспедиции получены профили вертикального распределения температуры, солености, кислорода и хлорофилла. Типичный пример результатов измерений, полученных в прикромочной зоне, приведен на рис. 5 и 8. Как было показано, профили хлорофилла показывают весьма значительную концентрацию его в определенном слое с максимумом на глубине 15–25 м. На том же уровне расположен локальный минимум температуры верхнего слоя воды. Как правило, такая стратификация наблюдается при пониженной концентрации соли в приповерхностном слое воды. Области повышенной концентрации взвешенных веществ характеризуются повышенной соленостью по сравнению с расположенным выше распресненным слоем воды.

Одним из объяснений высокой концентрации хлорофилла может быть циркуляция воды и воздуха возле кромки льда, общая схема которой представлена на рис. 15. Открытая вода, обладая более высокой температурой, чем лед, создает восходящие воздушные потоки возле кромки. Более низкая температура воздуха у поверхности ледяного покрова обуславливается не только температурой льда, но и поглощением тепла из воздуха за счет таяния. Высотные воздушные потоки над льдом носят нисходящий характер, что в свою очередь создает над водной поверхностью потоки воздуха в направлении ото льда в сторону открытой воды. В результате могут возникать устойчивые приводные воздушные потоки, т. е. квази-постоянный приводный ветер. Подобное явление хорошо известно в прибрежных районах южных морей, когда летними вечерами с моря на берег дует легкий ветер, известный под названием «бриз».

Наличие над водной поверхностью в арктическом море постоянного ветра, величина которого невелика (3–5 м/с), приводит к касательным напряжениям и соответствующему дрейфу пограничного слоя воды. Несмотря на то, что эти дрейфовые течения имеют небольшие скорости (до нескольких см/с), они носят достаточно устойчивый характер. На глубине такие циркуляционные течения имеют обратный, компенсационный характер, т. е. направлены от открытой воды в сторону ледяного покрова. Таким образом, потоки придонных слоев воды, обладающие большей концентрацией взвешенных веществ у дна, на некотором удалении от кромки могут быть направлены вверх от морского дна к поверхности моря. Поток взвешенных веществ, вызванный таким течением, приводит к их концентрации в приповерхностном слое, где он частично растворяется пресными водами тающего льда. В результате этого плотность взвешенных веществ будет иметь максимум на некоторой глубине ниже распресненного слоя. Отметим, что температура этого слоя будет при этом сравнительно низкой, а соленость высокой, поскольку это вода, поднятая со дна. Данный факт также находится в соответствии с полученными нами наблюдениями. Повышенная

концентрация донного материала служит основой для развития планктона и выделения хлорофилла и, соответственно, повышения концентрации кислорода, что наблюдается в эксперименте.

По всей видимости, подобные эффекты могут наблюдаться не только в летнее время в морях, частично покрытых льдом, но и в другое время в районах с обширными полыньями в мелководных арктических морях.

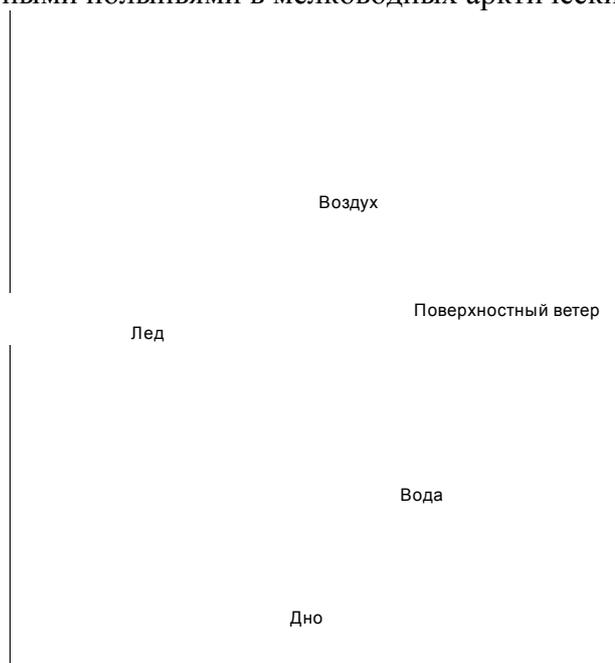


Рис. 15. Схема циркуляции воды и воздуха возле кромки льда в мелком море

### Заключение

Для Арктического бассейна Северного Ледовитого океана существуют две особо значимые зоны – это Берингов пролив и пролив Фрама. Колебание уровня в этих районах, особенности циркуляции воды через проливы в сезонном цикле, структура и характеристики вод в этих районах во многом являются определяющими для понимания особенностей структуры вод и их циркуляции в Арктическом бассейне, арктических морях и, в конечном итоге, влияют на климатическую систему Северной полярной области в целом. Экспедиционные исследования в рамках проекта РУСАЛКА становятся тем ключевым звеном, которое впоследствии может явиться основой создания полномасштабного проекта по изучению процессов водообмена Берингова и Чукотского морей и влияния арктических вод на структуру океанологических полей Берингова моря, а тихоокеанских – на структуру вод морей Чукотского и Бофорта.

В результате успешного выполнения российско-американской комплексной экспедиции удалось получить уникальные гидрологические и гидробиологические данные о структуре и функционировании экосистемы Берингова пролива и Чукотского моря.

Анализ данных, полученных на 77 комплексных станциях, позволил получить вертикальные и горизонтальные распределения температуры, солености, кислорода, концентрации хлорофилла и взвешенных веществ в Беринговом проливе и Чукотском море. Показано существование больших градиентов температуры и солености в южной части моря. Обнаружены большие концентрации хлорофилла и биогенных элементов, определяющих уровень первичной продукции биологической продуктивности. Предложен механизм, объясняющий это явление как результат циркуляции вод в прикромочной зоне мелководного арктического моря.

Данные гидрологических станций подтверждаются спутниковыми наблюдениями, что является дополнительным свидетельством интенсивности и разнообразия океанологических процессов в локальном регионе, определяющим взаимодействие между Тихим и Северным Ледовитым океанами.

Авторы работы выражают благодарность Отделу Арктических исследований NOAA (Arctic Research Office), Российской Академии Наук и Росгидромету за финансирование экспедиционных работ и особую признательность доктору Джону Калдеру (Dr. John Calder), Рене Эппи (Mr. Rene Eppi), доктору Кати Крэйн (Dr. Kathleen Crane), а также В. П. Кеонджану, М. А. Жданову и контр-адмиралу С. П. Алексееву за инициативу, оптимизм и постоянную поддержку, без которых проведение экспедиции было бы невозможным. Авторы работы благодарят экипаж НИС «Профессор Хромов» и лично капитана Г. И. Петренко за высокопрофессиональную работу и помощь, оказанную при выполнении полевых изысканий, а директора ДВНИГМИ Ю. Н. Волкова за общую организацию работ.

Evaluation of Hydrological Conditions in the Chukchi Sea Using the Data of RUSALCA-2004 Expedition

**I. V. Lavrenov**

**(The State Scientific Centre of the Russian Federation «The Arctic and Antarctic Research Institute»; GNINGI, RF MoD),**

**A. N. Dobrotvorsky**

**(GNINGI, RF MoD)**

*The results of expeditionary explorations and preliminary analysis of the data obtained in the course of the Russian-American expedition in the Bering and Chukchi Seas from July 23 to September 5, 2004, under “Rusalka” program (THE JOINT RUSSIAN-AMERICAN LONG-TERM CENSUS OF THE ARCTIC, RUSALCA) are presented. In 2004, the expeditionary explorations were carried out on board the research vessel «Professor Khromov» of the Far East Research Hydrometeorological Institute. Their aim was to obtain the complex information about the state of the natural system of the Bering and Chukchi Seas, the interaction of its main components and their influence on the formation of the climatic signals in the northern polar regions. The collection of hydrological, biochemical, and hydrobiological data from the American and Russian databases is the basis for the joint evaluation of the climate change, water exchange, and biocenosis composition in the Arctic.*

**ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
В ЦИФРОВОЙ КАРТОГРАФИИ**

**С. П. АЛЕКСЕЕВ,  
А. М. АБРАМОВ,  
К. Г. СТАВРОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ),  
**П. П. ШЕРСТЯНКИН**  
(Лимнологический институт СО РАН)

*Описаны результаты создания цифровых батиметрических карт озера Байкал. Показана целесообразность их использования при проектировании гидротехнических сооружений и реализации природоресурсных и природоохранных проектов в регионе.*

Специалисты Гидрографической службы Военно-Морского Флота активно участвуют в изучении и освоении природных богатств озера Байкал.

Озеро Байкал, расположенное на юге Восточной Сибири, протянулось на 630 км при средней ширине около 60 км и глубине, превышающей 1600 м. По площади Байкал (31500 кв. км) занимает восьмое место в мире среди озер и приблизительно равен площади такой страны, как Бельгия. В котловине Байкала сосредоточено около 20% мировых запасов пресных озерных вод планеты (исключая ледники, снежники и льды, где вода находится в твердом состоянии). Благодаря своим уникальным особенностям Байкал в 1996 г. внесен в список «Всемирного наследия» ЮНЕСКО [1].

Байкальский регион имеет высокую сейсмичность – это одна из наиболее сейсмически активных внутриконтинентальных областей планеты. Сильные землетрясения интенсивностью 7 баллов происходят с периодичностью около 1,5 лет; 8 баллов – 5 лет. В 1862 г. при десятибалльном землетрясении в северной части дельты Селенги ушел под воду участок суши площадью 200 кв. км с шестью улусами, в которых проживало 1300 человек, и образовался новый залив Провал. Слабые землетрясения регистрируются практически ежедневно. Ежегодно их количество достигает 2000 и более. В настоящее время впадина Байкала рассматривается как центральное звено Байкальской рифтовой зоны, возникшей и развивающейся одновременно с мировой рифтовой системой. По современным геолого-геофизическим представлениям берега Байкала расходятся со скоростью примерно 2 см/год. Байкальская впадина чуть шире современного озера, но гораздо глубже его. Глубина впадины определяется высотой гор над ней, глубиной озера и толщиной выстилающих его дно донных осадков. «Корни» впадины пересекают всю земную кору и уходят в верхнюю мантию на глубину 50–60 км. Исследования указывают на аномально высокий разогрев недр под Байкалом [2, 3].

Байкал – самое глубоководное озеро на Земле. До 1974 г. считалось, что максимальная глубина Байкала 1620 м [2], что было зафиксировано в 1959 г. в результате замеров тросовым лотом.

Современные задачи изучения и освоения природных ресурсов Байкальского региона и его высокая сейсмичность выдвигают повышенные требования к частоте, подробности и точности гидрографического изучения озера. В 1973–1974 гг. по данным эхолотного промера озера ГУНиО МО были изданы карты, на которых в качестве максимальной указана глубина 1637 м.

В 1979–1985 гг. Гидрографическая служба ВМФ провела новую систематическую съемку озера Байкал. По результатам этой съемки в качестве максимальной определена глубина 1642 м. Впадина озера Байкал в морфологическом отношении представляет три самостоятельных котловины – Южную, Среднюю и Северную. Впадина асимметрична. Западная ее сторона отличается крутым подводным склоном (40–50° крутизны), восточная – более пологим.

Съемки 1979–1985 гг. выполнены с межгалсовым расстоянием от 100 до 250 м в прибрежных районах и 1 км – в глубоководной части. По результатам этих работ в 1992 г. ГУНиО МО издан комплект карт глубин масштаба 1:200 000 [4].

Однако эти карты не свободны от недостатков, к основным из которых относятся:

- при составлении карт использована только часть исходных данных съемки;
- батиметрические данные изображены проинтерпретированными и вручную нарисованными горизонталями;
- сечение изобат составляет 100 м, а для глубин более 1000 м – 500 м;
- выявленные более поздними измерениями существенные расхождения между фактическими глубинами и показаниями эхолота, что связано с особенностями изменения скорости звука по глубине.

В связи с этим в 1999 г. было решено организовать межведомственный коллектив специалистов с привлечением зарубежных экспертов для объединения усилий по созданию новой, более точной батиметрической карты озера Байкал.

Цель проекта состояла в том, чтобы перекомпилировать исходные данные съемок 1992 г., исправить их с введением калибровочных поправок на скорость звука, пополнить интегрированную базу данных всеми доступными материалами современных исследований, выполненных сторонними организациями, и создать на основе наиболее современных компьютерных технологий цифровую электронную версию карты рельефа дна озера Байкал.

Наряду со специалистами ГНИНГИ МО РФ, в работах приняли участие ученые Лимнологического института СО РАН (г. Иркутск), Ренардовского центра морской геологии (RCMG) Гентского университета Гента (г. Гент, Бельгия), Объединенной исследовательской группы по морским геонаукам (CRG-MG) Барселонского университета (г. Барселона, Испания). Проект был поддержан грантом INTAS Project 99-1669.

В ходе работ по созданию цифровых карт озера Байкал использованы результаты батиметрических и топографических измерений объемом 2 275 808 значений. Из них 1 312 788 (57,7 %) – значения глубин в озере,

75 685 (3,3 %) – точки береговой линии, и 887 335 (39 %) – береговые топографические данные. Значения глубин были получены путем перекомпилирования и исправления поправками данных ранее выполненных съемок, и пополнения их новейшей батиметрической информацией, полученной по результатам измерений современными эхолотами и сейсмопрофилографами.

Данные измерений приведены в метрах, округленных до целых значений.

Координаты 1312788 точек глубин и 75685 точек береговой линии приведены в системе координат WGS 1984. Система единиц данных – метры, округленные до ближайшего целого числа. Для построения карт использовалась Меркаторская проекция с истинным масштабом для всех созданных карт по широте 53°00' N, при этом использовалось программное обеспечение EarthVision® software (version 5.1).

Значения были объединены в двумерную сетку (грид), которая представляет объединение двух отдельных сетей с первоначально различными расстояниями между точками (в зависимости от распределения и плотности первоначальных значений). В программном обеспечении EarthVision используется двумерный алгоритм гридирования для вычисления поверхности сглаживания с использованием технологий бикубического сплайна. В результате построен следующий набор карт и наборов морфологических данных для озера Байкал и его окрестностей:

- карта изобат озера Байкал (рис. 1);
- карта уклонов рельефа дна (рис. 2);
- карта рельефа дна с затененными изобатами (рис. 3);
- цветовая карта рельефа дна с затененными изобатами (рис. 4);
- трехмерные изображения (рис. 5).

Следует отметить, что анализ созданных структурных карт показывает наличие остаточных мелких артефактов (то есть, изолированных замкнутых контуров), особенно на гребнях и при резких изменениях уклонов. Их возникновение связано с некоторыми техническими характеристиками использованных алгоритмов гридирования.

Кроме того, новые батиметрические данные позволили уточнить ранее полученную морфометрическую информацию [2] по результатам вычислений поверхностей и объемов для отдельных бассейнов и горизонтов озера.

Приведем основные уточненные морфометрические характеристики.

Максимальное значение глубины озера Байкал 1642 м определено в точке с координатами 53 °14' 59"с. ш., 108 °05'11"в. д. С учетом того, что поверхность озера находится на уровне 455,5 м выше уровня моря (нуля Кронштадтского футштока), самая глубокая точка его дна находится на 1186,5 м. ниже уровня моря.

Максимальная глубина Северной котловины определена равной 904 м, Средней – 1642 м, Южной – 1461 м.

Полный объем воды, содержащейся в озере 23615,39 км<sup>3</sup>. Полная площадь поверхности озера (без островов) 31722 км<sup>2</sup>.

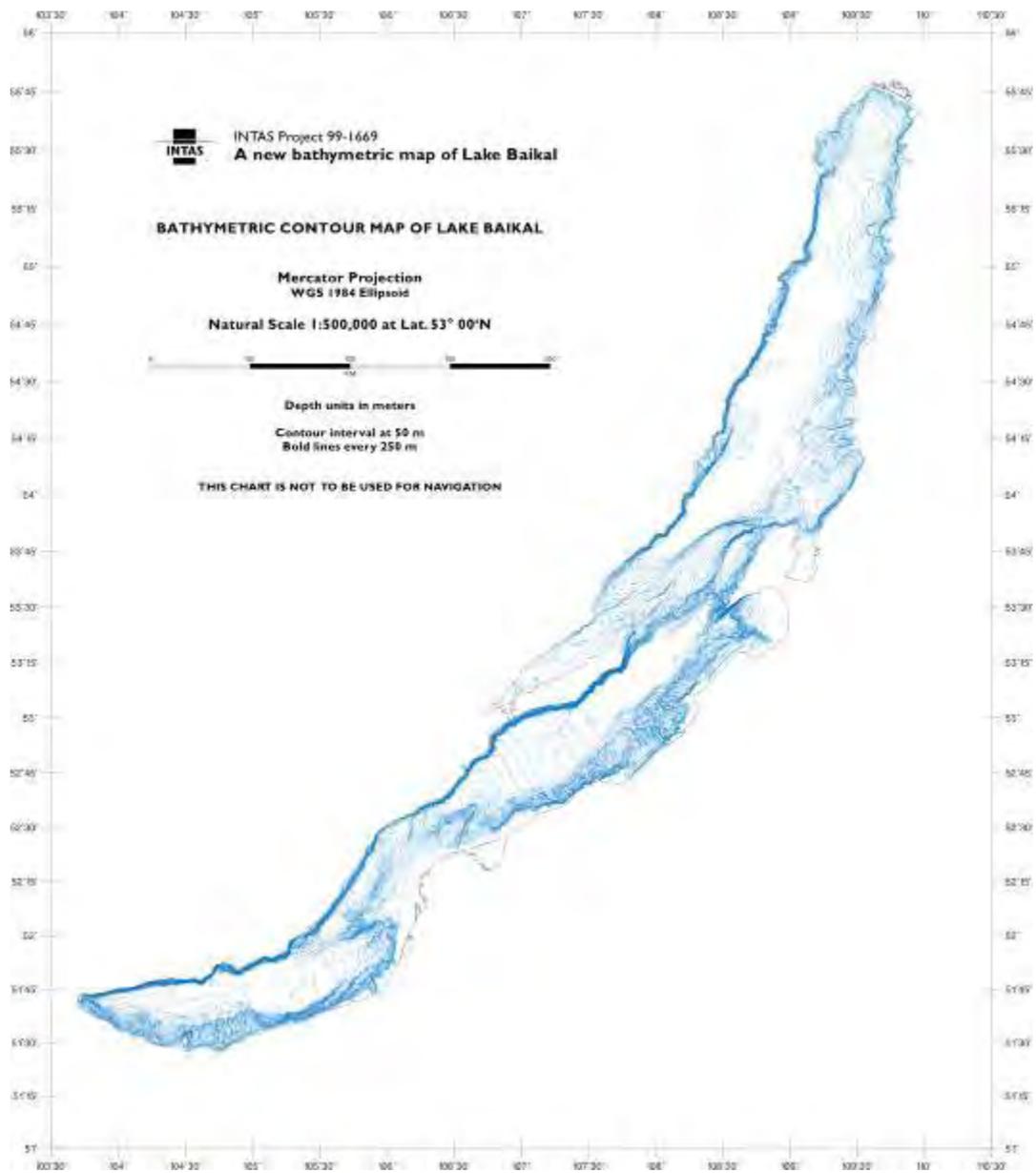


Рис. 1. Карта изобат озера Байкал

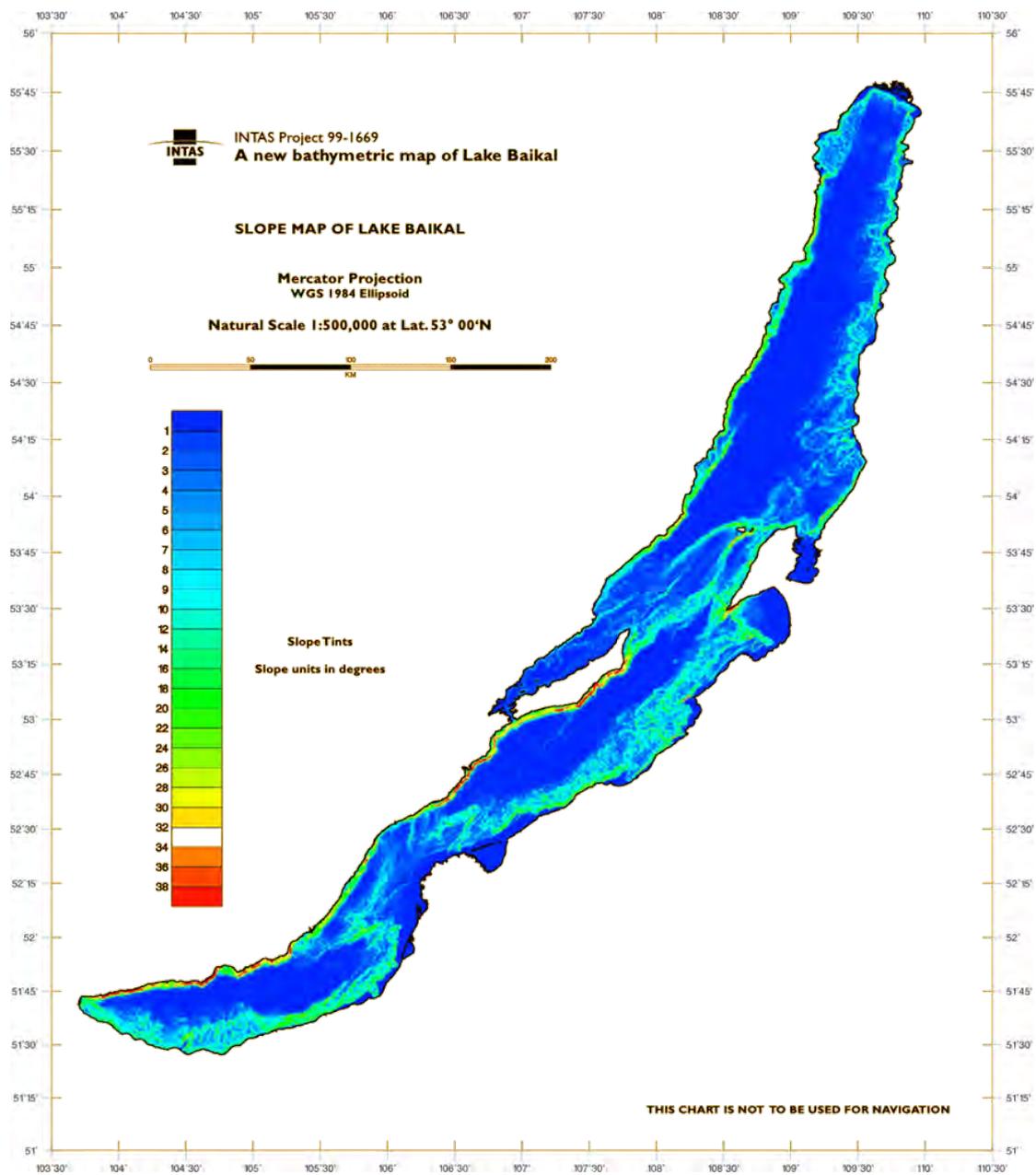


Рис. 2. Карта уклонов рельефа дна озера Байкал



Рис. 3. Карта рельефа дна озера Байкал с затененными изобатами

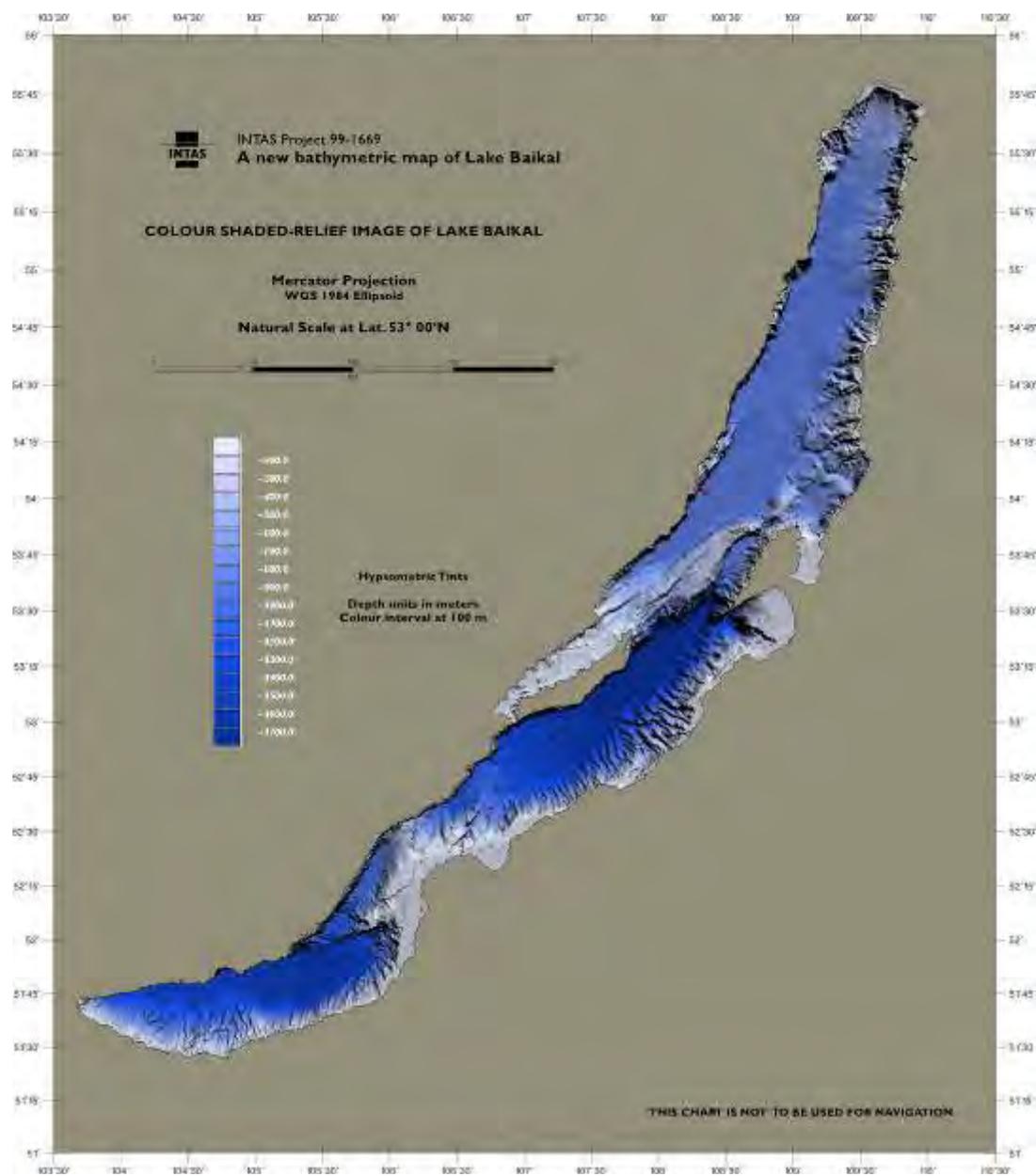
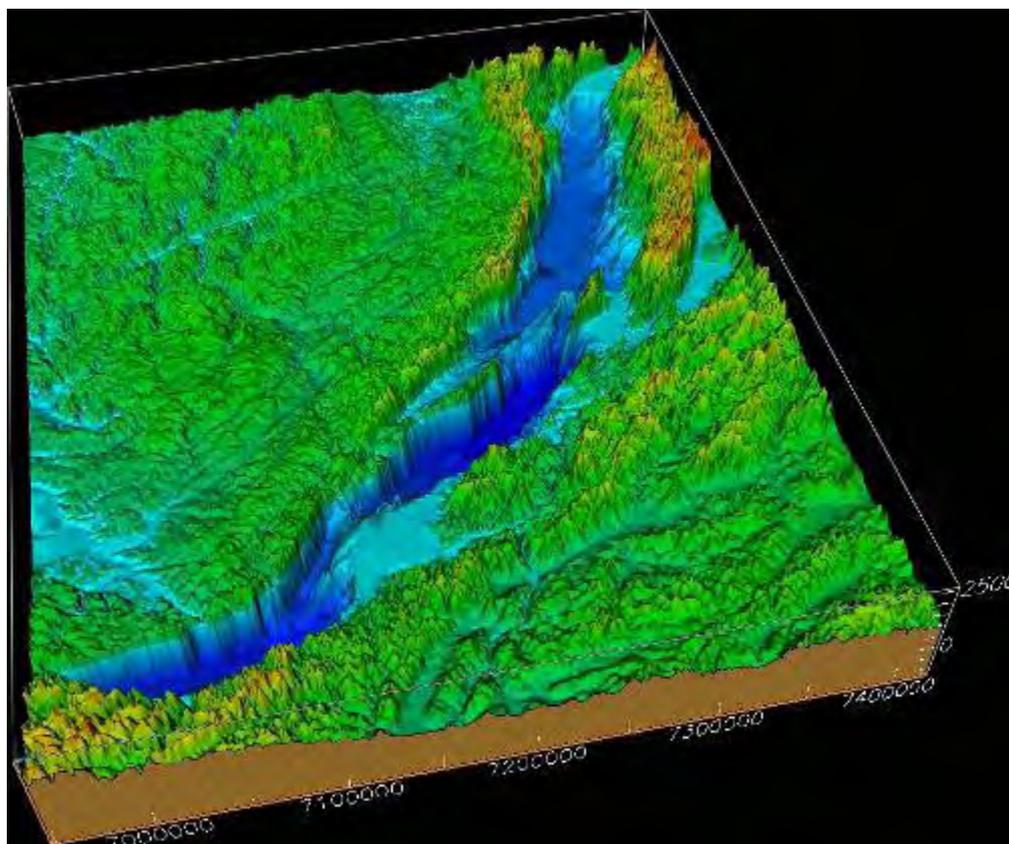


Рис. 4. Цветовая карта рельефа дна озера Байкал с затененными изобатами



**Рис. 5. Трехмерное изображение озера Байкал и прилегающих территорий**

Полный объем картографических и морфометрических материалов, полученных в результате проекта, размещен на компакт-диске [5] с применением Hypertext Markup Language (HTML). Базовая страница представлена файлом «start.html», расположенным в основном каталоге диска. Все текстовые материалы, связанные с набором данных, доступны непосредственно от базовой страницы. Карты и изображения в формате .pdf и .jpg также доступны от базовой страницы с выбором пользователем нужного масштаба.

Опыт работ, выполненных специалистами ГНИНГИ МО РФ в ходе проведения морских инженерных изысканий и разработки комплексной системы обеспечения безопасности на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации морских газопроводов и других подводных объектов [6], указывает на то, что результаты создания новейших цифровых карт озера Байкал должны найти широкое применение при проведении технико-экономических обоснований, разработке и реализации различных научно-технических программ и проектов по совершенствованию водохозяйственной деятельности в Байкальском регионе и при строительстве различных гидротехнических сооружений.

Особую актуальность использование цифровых карт Байкала приобретает в связи с предстоящей реализацией ряда крупных природоресурсных и природоохранных проектов в регионе. Среди таких проектов следует выделить проект газификации Иркутской области на базе Ковыктинского газоконденсатного месторождения, реализуемый Восточно-Сибирской газовой компанией.

В настоящее время общественность придает особое значение проработке экологического блока проекта газификации, содержащего данные предварительной оценки воздействия на окружающую среду и в первую очередь на заповедные богатства Байкальской природной территории и бассейна озера. В связи с этим особое внимание вызвало предложение директора Лимнологического института СО РАН академика Михаила Грачева проложить газопровод из Ковыкты в Китай по дну Байкала, по поводу чего существуют различные мнения [7]. Обоснование выводов о его экологической безопасности или наличии угрозы для окружающей среды требует проведения моделирования с использованием данных цифровой картографии.

В случае если проект газопровода по дну Байкала будет принят к реализации, то в соответствии с требованиями нормативных документов и сложившейся инженерной практикой [8] на предварительных стадиях проектирования подводных трубопроводов потребуются выполнение целого комплекса инженерных изысканий, включающего исследования:

- инженерно-геодезические;
- инженерно-гидрографические;
- инженерно-геофизические;
- инженерно-гидрометеорологические;
- инженерно-геологические;
- литодинамические;
- экологические.

Проведение этих исследований будет невозможно без полномасштабного использования цифровых батиметрических карт Байкала.

Принципиальным вопросом, в частности при анализе распространения в воде примесей (загрязнений), вызванных как природными, так и техногенными источниками, является сопряжение данных топографических съемок и морских батиметрических съемок, опыт которого получен при создании цифровых карт озера Байкал.

Использование этих карт также перспективно при проведении исследований по проблемам прогноза землетрясений на основе изучения геодинамической эволюции литосферы Байкальского региона, изучения характеристик подземных вод, создания цифровых карт и атласов на основе данных о природе, населении, хозяйстве и экологической обстановке региона.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Бухаров А. А., Фиалков В. А. Байкал в цифрах (краткий справочник). – Новосибирск: Наука, 2001. – 72 с.
2. Колокольцева Э. М. Морфометрические характеристики Байкала. Мезозойские и кайнозойские озера Сибири. – М.: Наука, 1968. – С. 183–188.
3. Бухаров А. А., Фиалков В. А. Геологическое строение дна Байкала. Взгляд из «Пайсиса». – Новосибирск: Наука, 1996. – 118 с.
4. Карта озера Байкал на 4-х листах. – ГУНПО МО РФ, 1992.
5. A new bathymetric map of Lake Baikal / CD-ROM/ The INTAS Project 99-1669. – 2002.
6. Алексеев С. П. Предпосылки и основы формирования комплексной системы обеспечения безопасности освоения и эксплуатации нефтегазовых месторождений континентального шельфа РФ // Труды 6-й Межд. конф. RAO-03 «Освоение шельфа арктических морей России». С.-Петербург, 16–19 сентября 2003. – СПб, 2003. – С. 409–413.
7. Иркутский ученый предложил проложить газопровод по дну Байкала/ «Байкальская служба новостей», 24.03.2004 г. - Сервер фонда "Байкал, Третье Тысячелетие". <http://www.3mill.ru/>.
8. Алексеев С. П., Добротворский А. Н., Дружевский С. А. Методы и средства выполнения морских инженерных изысканий на предварительных стадиях проектирования морских трубопроводов / Труды 5-й Межд. конф. RAO-01 «Освоение шельфа арктических морей России». С.-Петербург, 11-14 сентября 2001. – СПб, 2001. – С. 268–274.

Hydrographic Surveys of Lake Baikal and Employment of their Data in Digital Cartography

**S. P. Alekseyev,**

**A. M. Abramov,**

**K. G. Stavrov**

**(GNINGI, RF MoD)**

**P. P. Sherstyankin**

**(The Limnological . Institute, Siberian Branch of RAS)**

*The results of creating the digital bathymetric charts for Lake Baikal are presented. The expedience of their employment when designing the hydrotechnical structures and implementation of the natural-resource and nature-protection projects in the region is shown.*

ГРНТИ 67.21.25

**АНАЛИЗ СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НОВОРОССИЙСКОЙ БОРЫ, КОТОРЫЕ  
ПРИВЕЛИ К АВАРИЙНЫМ ПРОИСШЕСТВИЯМ С СУДАМИ ГС «АРКТИКА»  
И БГК-775 В ДЕКАБРЕ 2002 г.**

**С. И. СУХАНОВ**

(453 ГМЦ Черноморского флота ВМФ),

**С. А. ДРУЖЕВСКИЙ**

(ГНИНГИ Минобороны России)

*Статья посвящена анализу развития синоптической обстановки в районе г. Новороссийска в декабре 2002 г., которая привела к возникновению сильной боры и аварийной ситуации с гидрографическим судном «Арктика» и БГК-775. Рассмотрены вопросы зависимости возникновения различного типа боры от траектории движения антициклонов. Проанализированы причины возникновения гололеда на судах и гидротехнических сооружениях.*

**Введение.** Борой называют ветры, свергающиеся с прибрежных гор в сторону моря. Наиболее известной является бора, наблюдающаяся на Кавказском побережье Черного моря от Анапы до Геленджика. Эту бору называют Новороссийской, т. к. она проявляет себя особенно жестоко в этом городе.

Бора возникает при определенных условиях. Такими условиями являются большие контрасты температур подстилающей водной поверхности и поверхности земли в зимнее время и соответствующее этому барическое поле с градиентами, направленными в сторону моря, невысокие сплошные горные хребты, тянущиеся вдоль побережья и расположенные перпендикулярно к основному ветровому потоку.

Местные особенности рельефа придают Новороссийской боре особенно жестокий и своеобразный характер. Так, например, ветер часто достигает скорости 40 м/с, а в исключительных случаях ветер в Новороссийске достигает 50 м/с. При сильных борах температура падает до  $-20^{\circ}$  и ниже. Холодный воздух, идущий с гор, прежде чем попасть в город, проходит над водной поверхностью Цемесской бухты, поднимает частицы воды и уносит их, после чего они осаждаются на портовых сооружениях и зданиях города в виде слоя льда. Иногда эта ледовая броня доходит до 3–4-х метров. Лед, образовавшийся на судах и кораблях, порой приводит к катастрофическим последствиям.

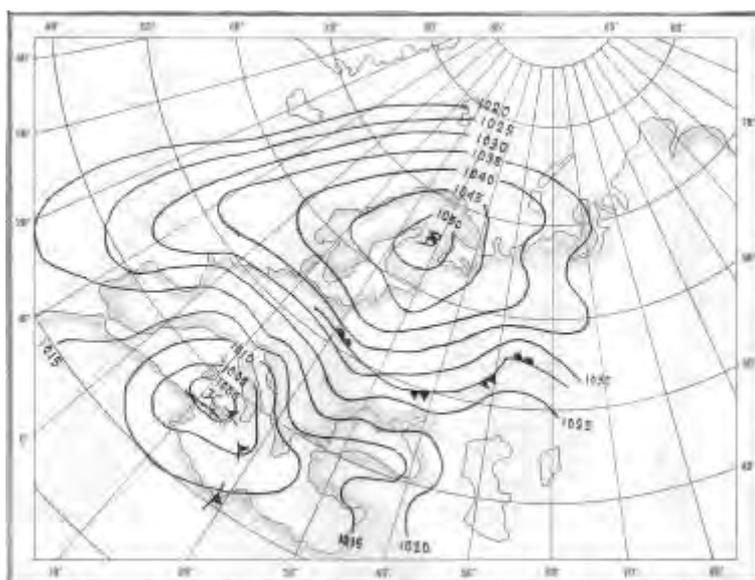
**Анализ гидрометеорологической обстановки 9 декабря 2002 г.** Из-за потери поперечной остойчивости вследствие обледенения и ураганного ветра 9 декабря 2002 г. гидрографическое судно (гс) «Арктика» легло на грунт на глубине 7 м с креном  $30^{\circ}$  на левый борт, при этом большая часть корпуса ушла под воду, а БГК-775 затонул полностью (рис 1).



**Рис. 1. Обледенение ГС «Арктика» и БГК-775.  
За несколько часов до потери устойчивости**

Гидрометеорологические условия на момент аварии: ветер северо-восточный 27–30 м/с, порывы до 37 м/с, волнение моря 4 балла (высота волны 1,5 м), температура воздуха  $-12^{\circ}$ , температура воды  $+9^{\circ}$ .

Усиление северо-восточного ветра проходило постепенно. На синоптической карте погоды на 03.00 6 декабря 2002 года складывалась следующая ситуация (рис. 2): на севере Скандинавии располагался мощный антициклон – 1050 мб, циркуляция которого охватывала всю европейскую территорию России (ЕТР), Белоруссию, Украину и север Западной Европы.



**Рис. 2. Приземная карта погоды на 03.00 6.12.2002 г.**

Над Средиземным морем располагался малоподвижный заполняющийся циклон, центр которого находился над Тирренским морем, глубиной 1000 мб, с ложбиной, направленной на юг Черного моря. Таким образом, погода Черного моря формировалась под влиянием южной периферией антициклона и ложбины от Средиземноморского циклона, которая поддерживала процесс циклогенеза на юго-востоке Черного моря.

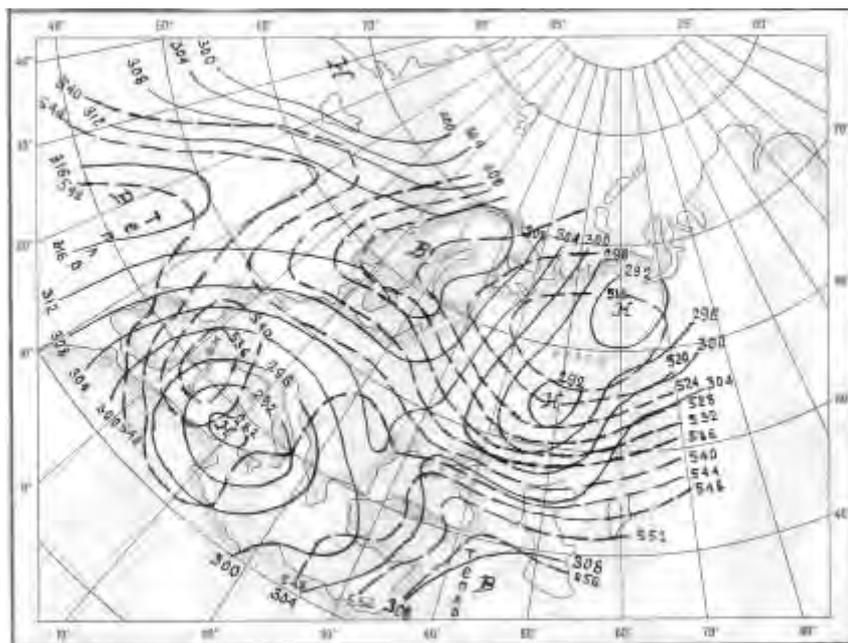


Рис. 3. Карта барической топографии на 03.00 6.12.2002 г (АТ-700 мб, ОТ-500/1000 мб.).

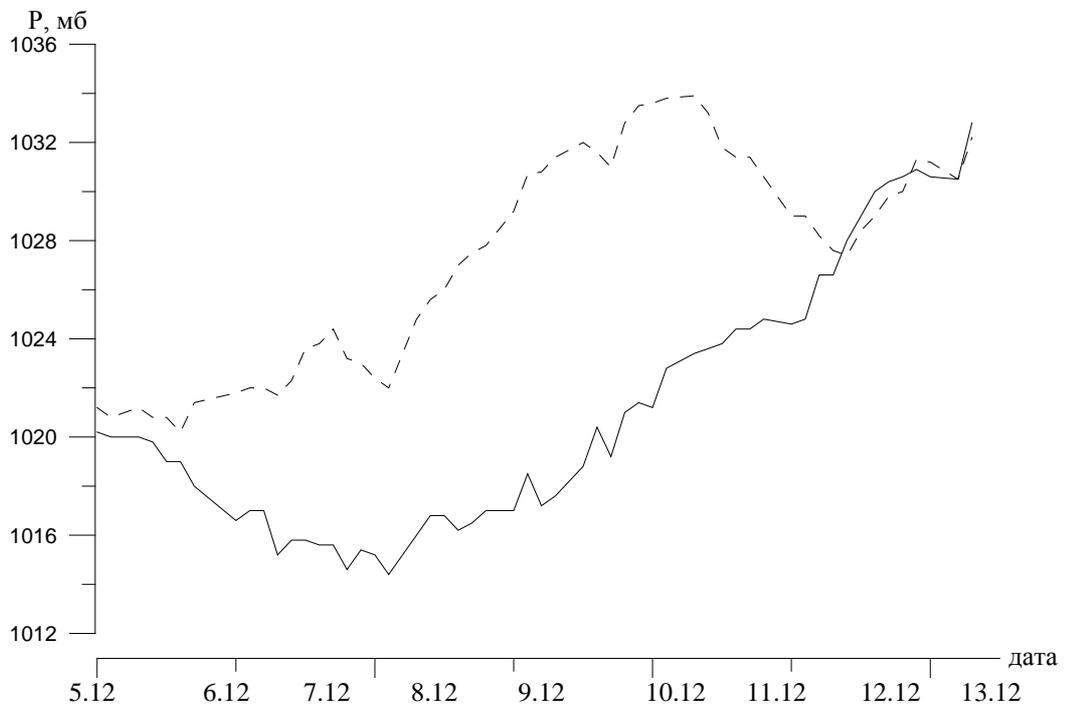
--- изогипсы, — изотермы

На картах барической топографии АТ-700 мб (рис. 3) структура барического поля определялась резко выраженной ультраполярной ориентацией высотной ложбины, направленной с Карского моря на запад Черного моря, а также ложбиной от циклона с Тирренского моря на восток Малой Азии и юг Черного моря. Между этими двумя ложбинами происходило циклоническое преобразование. Антициклону у поверхности земли соответствовал высотный гребень с Атлантики с отрогом на Прибалтику и запад Украины (вдоль 27 меридиана). На ОТ-500/1000 мб над центральными районами ЕТР располагался обширный очаг холода, центр которого очерчивается изотермой 516. Одна ось ложбины холода была направлена на Скандинавию, вторая — на Балтику. Высотная фронтальная зона (ВФЗ) проходила вдоль 49° северной широты и далее поднималась на юг Балтийского моря. С центральных районов Турции на запад Черного моря был направлен разрушающийся гребень тепла.

К 15.00 6 декабря в барическом поле произошло следующее развитие процесса: над Черным морем продолжалось объединение северной и южной ложбины. Ось объединения проходила через север Эгейского моря, Босфор, Азовское море. На АТ-700 мб поверхности на севере Скандинавии оформился антициклон с гребнем, направленным на Балканы.

Над югом ЕТР и Украиной установились северные, северо-восточные потоки, ВФЗ обострялось и опускалось к югу. Происходил заток холода на север и запад Черного моря и Предкавказье, что обусловило рост давления у поверхности земли. Воздушные потоки на АТ-700 мб перпендикулярны изотермам на ОТ-500/1000 мб (угол адвекции холода составляет  $90^\circ$ ). Над Прибалтикой, Белоруссией и Украиной наблюдалась расходимость потоков при антициклональной кривизне изогипс, что тоже привело к росту давления у земли над этими районами. Таким образом, на приземной карте погоды вследствие этих изменений, вызванных динамическим и термическим факторами, с районов Финляндии усиливающийся антициклон (1055 мб) медленно смещался к югу. На юге Черного моря выделился циклон 1012, 5 мб.

Наличие медленно смещающегося к югу антициклона привело к локализации циклонической деятельности над Черным морем.



**Рис. 4. Ход давления с 05.12 по 12.12.2002 года.**  
 - - - - станция Приморско-Ахтарск, — станция Новороссийск

Возникли большие горизонтальные барические градиенты давления и температуры воздуха (рис. 4). Разность давления у поверхности земли между

станциями Приморско-Ахтарск и Новороссийск 6 декабря составила 6,5 мб, что привело к усилению скорости северо-восточного ветра в Новороссийске до 20 м/с.

Наметившаяся направленность процесса к 15.00 6 декабря сохранялась 7 и 8 декабря.

Кроме нарастания барического градиента, происходило понижение температуры воздуха от +13.0 °С 6 декабря до -10.8 °С 8 декабря.

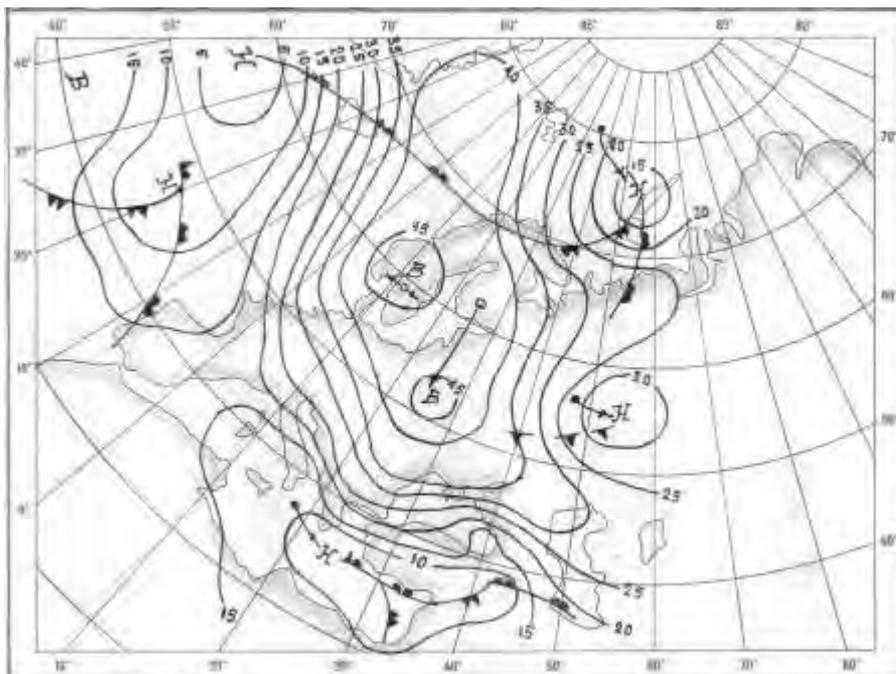
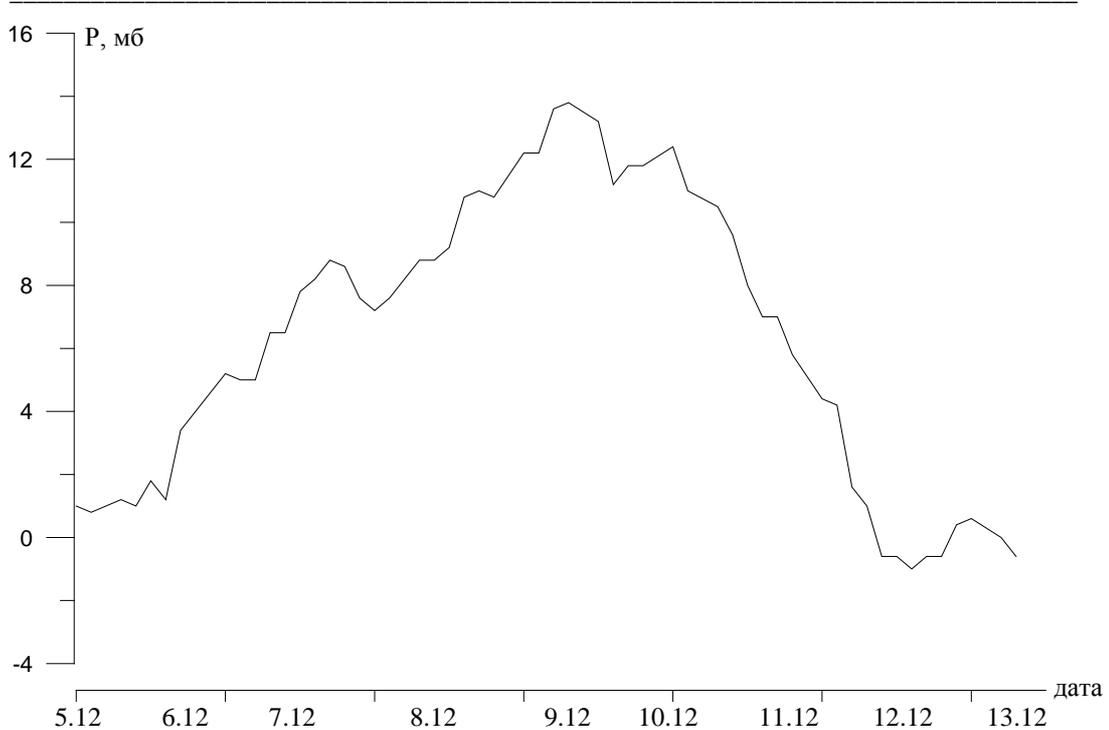


Рис. 5. Приземная карта погоды за 03.00 9.12.2002

К 9 декабря у земли усилился гребень, направленный на Балканский полуостров и Предкавказье (рис. 5). Максимальная разность давления на Черном море составила 13 мб, а на участке между станциями Приморско-Ахтарск – Новороссийск – 11,8 мб.

Температура воздуха в течение дня при сильном северо-восточном ветре скоростью 20–25 м/с порывами 39 м/с сохранялась в пределах -12–14°С.

В работах ГМЦ выведена зависимость скорости ветра от разности давления между станциями Приморско-Ахтарск и Новороссийск: если разность давления у поверхности земли между этими станциями составляет 10 мб, то скорость северо-восточного ветра в Новороссийске может в порывах достигать более 30 м/с, что и наблюдалось при данном процессе (рис. 6).



**Рис. 6. Разность давления между станцией Приморско-Ахтарск и станцией Новороссийск**

При длительном северо-восточном шторме на юго-востоке Черного моря наблюдались значительные колебания давления за счет активизации и ослабления локального циклогенеза. Особо важным фактором режима черноморского локального циклогенеза являются термические условия водной поверхности. Юго-восточная часть Черного моря, как самая глубоководная, в холодное полугодие характеризуется повышенной по сравнению с остальными районами и прилегающими участками суши температурой воды.

Активизация и ослабление локального циклогенеза вызвало пульсацию скорости северо-восточного ветра в Новороссийске от 15 м/с, порывами 24 м/с до 20 м/с, порывами 32 м/с.

Самые опасные северо-восточные штормы наблюдаются в тех случаях, когда при общих барических градиентах циклон располагается несколько юго-восточнее Новороссийска.

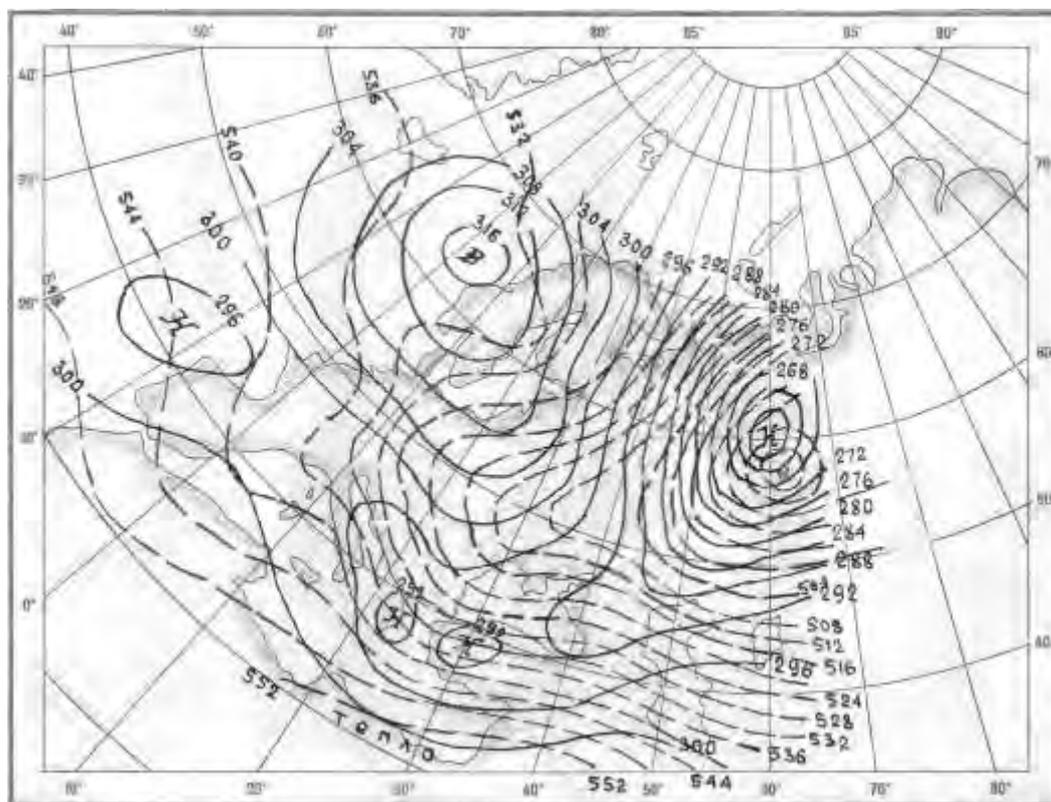


Рис. 7. Карта барической топографии на 03.00 09.12.2002 г. (АТ-700 мб, ОТ-500/1000 мб.)

На карте АТ-700 мб (рис. 7) поверхности произошло заполнение Средиземноморского циклона, который вошел в систему углубляющейся северной ложбины.

Центр циклона глубиной 1012,5 мб (центре 1010,8 мб) располагался в точке 43,3° с. ш. и 40° в. д. Ось ложбины проходит по линии Турция – юго-восток Черного моря – север Каспия. На севере Черного и Азовского морей сохранились северные, северо-восточные потоки, а на юге Черного моря – юго-западные, что привело к еще большему обострению ВФЗ и к дополнительному орографическому циклогенезу.

С верховья Волги на Москву, Рижский залив сформировалась новая высотная ложбина.

На ОТ-500/1000 мб ВФЗ проходит по югу Черного моря. Интенсивность ВФЗ составила 14–16 дкм на 100 км. К 10 декабря центр разрушающегося (1040 мб) антициклона сместился в район Львова.

На Черном море (рис. 8) происходил рост давления. Барические градиенты постепенно уменьшались. На севере ЕТР активизировался циклон, сместившийся с севера Скандинавии.

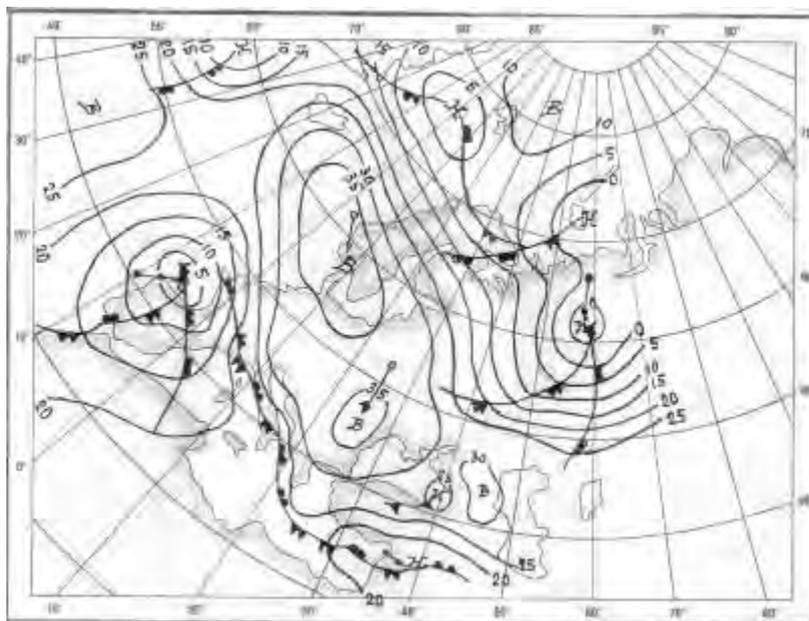


Рис. 8. Приземная карта погоды на 03.00 11.12.2002г.

Этому циклону на АТ-700 мб (рис. 9) соответствовал высотный циклон с системой ложбин, смещающихся с севера на юг, которые к 11 декабря привели к повороту направления ветра на высотах к северо-западным, западным. Адвекция холода прекратилась.

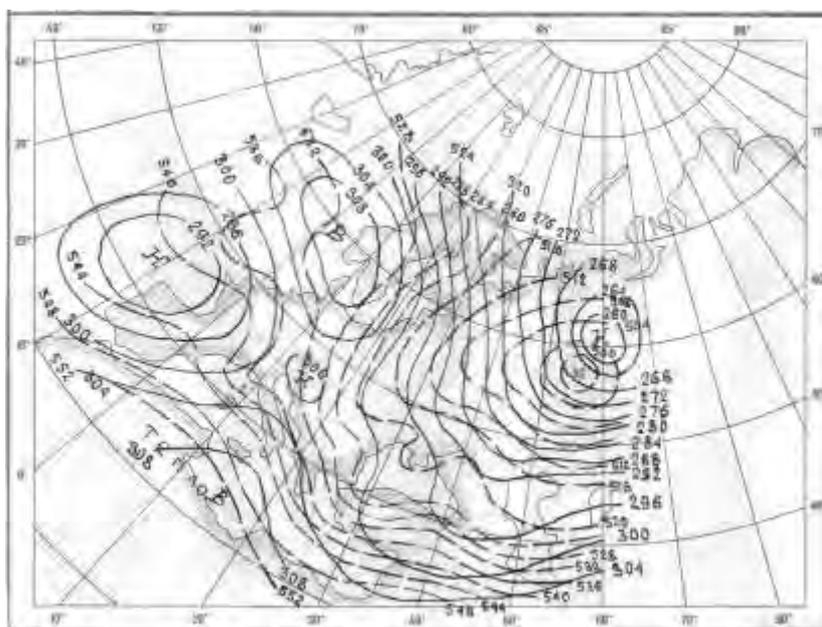


Рис. 9. Карта барической топографии на 03.00 11.12.2002 г. (АТ-700 мб, ОТ-500/1000 мб.)

Наметившийся новый процесс привел к дальнейшему разрушению антициклона и ослаблению барических градиентов. Разность давления между станциями Приморско-Ахтарск и Новороссийск к 15.00 11 декабря составила 1 мб. Орографический циклон на юго-востоке Черного моря заполнился на 12–14 мб, и сохранялась слабовыраженная ложбина. Северо-восточный ветер ослабел до 5 м/с.

При исследовании причины возникновения сильного северо-восточного ветра в декабре 2002 г., были проанализированы траектории центров антициклонов при борах различной силы. Анализ синоптических условий показал, что все боры можно разделить на две группы. Первая группа – боры, вызванные быстро движущимися с северо-запада антициклонами, приходящими в южные районы без особого изменения интенсивности при небольшом сравнительном росте горизонтального барического градиента фона; эти антициклоны вызывают кратковременные (обычно однодневные) боры со скоростями ветра около 15 м/с. Вторая группа – боры, вызванные антициклонами, приходящими с севера, северо-запада в районы 60-й параллели в центральные и западные районы при значительном, соответственно, росте градиента. Эти антициклоны перемещаются с меньшими скоростями, более мощные и вызывают более длительные и сильные боры. Переход этих антициклонов в южные районы может вызвать в Новороссийске боры ураганной силы.

Таким образом, при прогнозе угрожаемого положения боры необходимо учитывать характер движения антициклона и распределения горизонтальных барических градиентов общего фона боры.

Анализ синоптических условий в период первой декады декабря 2002 г. и других случаях боры в Новороссийске показывает, что Краснодарский край находится на периферии стационарного антициклона с центром над центральными или северо-западными районами России. Развитие гребня над Кубанской низменностью приводит обычно к уменьшению облачности в этом районе и, как следствие, радиационному выхолаживанию воздуха в ночные часы. В период боры осуществляется перетекание выхолаженного в предгорьях воздуха через естественный выход – седловину Мархотского перевала – и обрушение ее на восточные районы Новороссийска. При этом в Новороссийске наблюдается резкое понижение температуры воздуха (на 20–30°) (рис. 10).

Вторжение холодных масс воздуха, сопровождающееся сильными ветрами, отрицательными температурами, осадками в виде дождя и мокрого снега, вызывает обледенение судов. По скорости обледенения судов в 453 ГМЦ ВМФ установлены следующие градации обледенения:

- медленное – скорость отложения льда менее 0,7 см / час;
- интенсивное – скорость отложения льда более 1,0 см / час.

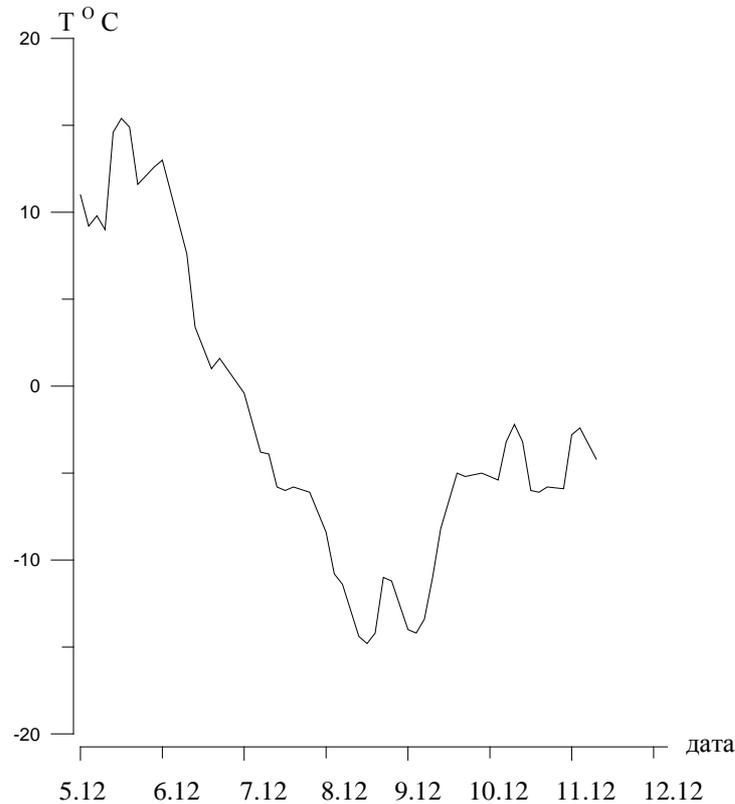


Рис. 10. Изменение температуры в г. Новороссийск, декабрь 2002 г.

В случае с судном ГС «Арктика» отложение льда толщиной 40 см произошло за 6 часов. Скорость отложения льда оказалась на порядок больше чем вышеуказанные значения.

Обледенение ГС «Арктика» и БГК-775 на первом этапе происходило в результате динамического гололеда, образовавшегося при замерзании на палубах и надстройках судна и катера капель воды, заносимых ветром, при ударе волн о причал и борт ГС. На втором этапе при усилении ветра в результате замерзания капель воды, срываемых с вершин волн и заносимых ветром на верхнюю палубу и надстройки, к динамическому добавился ветровой гололед. На третьем этапе, когда верхняя палуба ушла под воду на 40–50 см, начался процесс волнового гололеда, который образуется при заплескивании забортной воды на поверхность судна с последующим замерзанием. Морское обледенение гс «Арктика» привело к нарушению устойчивости судна и его опрокидыванию.

**Заключение.** Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что аварийное происшествие произошло в результате сложного вида морского обледенения, которое возникло в результате сочетания динамического, ветрового и волнового гололеда.

Хроника аварийного происшествия с ГС «Арктика» позволила проследить генезис льда и позволяет разработать методы защиты от обледенения кораблей и судов в Новороссийской бухте.

Для исключения подобных случаев опасного обледенения кораблей и судов, базирующихся в порту Новороссийск, необходимо путем анализа развития синоптической обстановки по приземным и высотным картам прогнозировать возникновение одного из типов боры и проводить адекватные организационно-технические мероприятия.

Analysis of Synoptic Conditions of the Novorossiysk Bora in December 2002

**S. I. Sukhanov**

**(Hydrometeorological Centre 453, the Black Sea Fleet, the Russian Navy)**

**S. A. Druzhevskiy**

**(GNINGI, RF MoD)**

*The development of the synoptic situation in the area of Novorossiysk in the first decade of December 2002 that resulted in the occurrence of a strong bora and disaster for the survey vessel "Arctica" and large hydrographic launch BGK-775, is analysed. The problems of dependence of occurrence of various bora types on the anticyclone movement trajectory are considered. The causes of glaze ice formation on vessels and hydrotechnical structures are analysed.*

ГРНТИ 67.21.23

#### **ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ ЗВУКА В МОРСКОЙ ВОДЕ**

**Н. А. ЖИЛИНА**

**(ГНИНГИ МО РФ),**

**К. И. ПОЛКАНОВ,**

**В. Ю. РОМАНОВ,**

**С. А. ВАСИЛЬЕВ,**

**Д. А. СМЕЛОВ**

**(ФГУП ЦНИИ «Морфизприбор»)**

*Приводятся основные характеристики измерителя скорости звука в морской воде, разработанного ФГУП ЦНИИ «Морфизприбор». На измеритель скорости звука в морской воде получен сертификат средства измерения военного назначения.*

По заданию Главного управления навигации и океанографии МО РФ в ЦНИИ «Морфизприбор» разработан и успешно прошел в 2003 г. государственные испытания новый измеритель скорости звука в морской воде (ИСЗ).

ИСЗ предназначен для определения зависимости скорости звука и температуры морской воды от глубины в диапазоне глубин до 350 м и передачи информации в гидрографический комплекс площадной съемки рельефа дна в прибрежной зоне «Мускат-2», корабельную ЭВМ или ПЭВМ с операционной системой Windows-98 и выше.

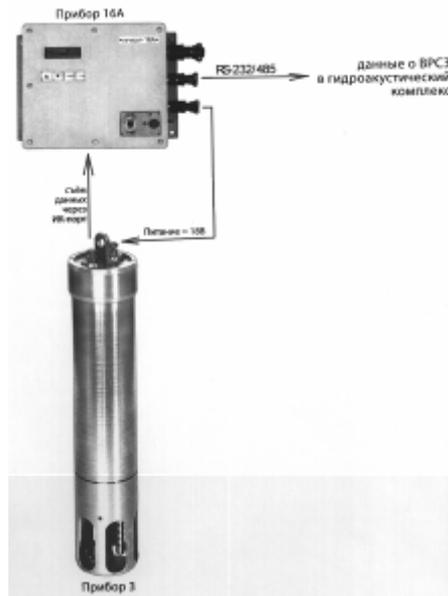
В комплект ИСЗ входят зонд многоразового использования, бортовой прибор, ручная вьюшка с капроновым тросом и стойка для хранения зонда в походном положении. Массогабаритные характеристики ИСЗ приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Массогабаритные характеристики ИСЗ**

Наименование прибора	Ширина, мм	Высота, мм	Глубина, мм	Масса, кг
Зонд (прибор 3)	Ø130	713		15
Бортовой прибор (прибор 16А)	294	224	155	3,5
Вьюшка	420	992	630	46
Стойка	260	345	220	10

Внешний вид бортового прибора (прибор 16А) и зонда (прибор 3) представлен на рисунке ИСЗ обеспечивает определение вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) с помощью погружаемого зонда на стопе судна при скорости дрейфа до 2 уз и волнении моря до 3 баллов.



**Внешний вид бортового прибора и зонда измерителя скорости звука в морской воде (объяснения в тексте)**

Зонд содержит датчики скорости звука, давления, температуры, блок обработки и хранения информации, источник питания (аккумуляторная батарея). Измерение скорости звука производится прямым импульсным методом с использованием базы фиксированной длины между акустическим приемоизлучателем и отражателем. Измерение давления производится тензометрическим датчиком давления. Данные от датчика давления

используются для расчета значения глубины. Температура водной среды определяется с помощью хромель-капелевой термопары.

Зонд погружается в воду со скоростью не более 2 м/с с помощью ручной вьюшки (до 100 метров) или корабельной лебедки (до 350 м) на стопе судна. Измеряемые параметры по мере погружения зонда записываются в блоке накопления информации. Допускается сохранение семи зависимостей скорости звука и температуры от глубины в течение 150 ч без перезаписи. После подъема зонда на борт судна данные по запросу потребителя считываются посредством инфракрасного канала связи в бортовой прибор и транслируются потребителю.

Для связи бортового прибора с комплексом «Мускат-2» применен интерфейс RS485, а для связи с ПЭВМ – интерфейс RS232. Посредством бортового прибора производится зарядка аккумуляторной батареи зонда.

ИСЗ поставляется вместе с программным обеспечением для внешней ПЭВМ, позволяющим:

- управлять работой ИСЗ;
- считывать данные с блока накопления зонда в память компьютера потребителя;
- сохранять данные на жестком магнитном диске компьютера потребителя;
- выводить данные в табличном или графическом виде на монитор компьютера;
- распечатывать данные на принтере потребителя;
- проверять готовность ИСЗ к использованию.

Бортовой прибор ИСЗ снабжен двухстрочным жидкокристаллическим дисплеем и клавиатурой, используемой для управления работой ИСЗ и ввода исходных данных: координат гидрологической станции, даты и времени ее выполнения, требуемой дискретности записи данных по глубине и скорости звука.

В результате потребитель получает следующий перечень данных на каждую гидрологическую станцию:

- широта в градусах, минутах, секундах;
- долгота в градусах, минутах, секундах;
- дата: день, месяц, год;
- время начала и окончания выполнения измерений;
- участок измерения – погружение и (или) всплытие зонда;
- глубина, м;
- скорость звука, м/с;
- температура воды, градусы;
- давление, кг/см<sup>2</sup>.

Основные характеристики ИСЗ приведены в табл. 2.

Основные технические характеристики ИСЗ

Основные характеристики	Значения по ТУ
Измерение скорости звука (С) - в диапазоне - предельное значение основной погрешности - разрешающая способность	1407–1600 м/с не более $\pm 0,65$ м/с не более 0,02 м/с
Измерение давления (Р) - в диапазоне - предельное значение основной приведенной погрешности - разрешающая способность	от 0 до 3,5 МПа не более $\pm 0,5\%$ не более 0,0014 МПа
Измерение температуры (Т) - в диапазоне - средняя квадратическая погрешность при выдержке на горизонте не менее 1 мин. - разрешающая способность	от – 4 до + 35° С  не более $\pm 1,5^\circ$ С не более 0,1° С
Частота получения данных С, Р, Т	10 Гц
Электропитание зонда	встроенная аккумуляторная батарея 10 НКГЦ – 3,5-2 напряжением 18 В постоянного тока
Электропитание бортового прибора	220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	не более 60 Вт

ИСЗ прошел испытания по определению метрологических характеристик каналов измерения скорости звука и давления в ГП «ВНИИФТРИ».

По результатам испытаний погрешность измерения скорости звука при питании от аккумуляторной батареи в течении 8 часов непрерывного использования без подзарядки не превышает 0,10 м/с. Погрешность измерения давления в рабочем диапазоне температур не превышает 0,23% от максимального значения.

ИСЗ является средством измерения военного назначения. Сертификат об утверждении типа средства измерения военного назначения зарегистрирован в Государственном реестре под № 25954-03.

Новый прибор выгодно отличается от принятого на снабжение ВМФ в 1980 г. измерителя скорости звука в воде ИЗМ-2000 точностными характеристиками, подтвержденными сертификатом.

Сравнительные характеристики ИСЗ и ИЗМ-2000 приведены в табл. 3.

Малые массогабаритные характеристики и низкое энергопотребление позволят устанавливать ИСЗ на малых гидрографических судах и катерах.

В 2004 г. начато серийное производство ИСЗ для оснащения судов ВМФ.

Сравнительные характеристики ИСЗ и ИЗМ-2000

Основные ТТХ	ИЗМ-2000	ИСЗ
Разработчик	ЦНИИ «Морфизприбор»	ЦНИИ Морфизприбор»
Диапазон измерения - скорости звука, м/с - глубины, м	1400–1600 2000	1407–1600 350
Предельная погрешность измерения - скорости звука, м/с - глубины, м	0,75 20 м на глубинах менее 600 м 50 м на глубинах более 600 м	0,65 1,75 м во всем диапазоне глубин
Наличие сертификата средства измерения	нет	да
Регистрация информации	- диаграммная лента двухкоординатного регистратора; - рулонный телеграфный аппарат РТА-7Б.	Блок накопления информации
Выдача информации потребителю	В частотном виде	По интерфейсам связи RS485 и RS232
Количество приборов	5	2
Масса приборов, кг	132,5	18,5
Питание	220 В, 400 Гц	220 В, 50 Гц
Потребляемая мощность	400 Вт	60 Вт

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Измеритель скорости звука «Съёмка-ИСЗ». Руководство по эксплуатации. – СПб: ЦНИИ «Морфизприбор», 2003. – 60 с.
2. Сертификат об утверждении типа средства измерений военного назначения №16484. – М.: Госстандарт России, 2003. – 4с.
3. ИЗМ-2000. Инструкция по эксплуатации. – Л.: ЦНИИ «Морфизприбор», 1980. – 36 с.

Meter of Sound in Sea Water

**N. A. Zhilina**

**(GNINGI, RF MoD),**

**K. I. Polkanov,**

**V. Y. Romanov,**

**S. A. Vasilyev,**

**D. A. Smelov**

**(The Federal State Unitary Enterprise «The Central Research Institute «Morphisribor»)**

*The main characteristics of the meter of sound velocity in the sea water designed by the Federal State Unitary Enterprise, the Central Research Institute “Morphisribor” are presented. The meter has been certified as the meter intended for military purposes.*

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ

ГРНТИ 551.508.9

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЛИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПО ТОПОЛОГИЧЕСКОМУ ОСНОВАНИЮ

**Ю. Н. ЖУКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Предложен новый подход к классификации приливных колебаний в суточном и полусуточном диапазоне частот, основанный на анализе синхронизации фаз между приливными колебаниями и суточным движением Луны и Солнца.*

Классификация приливных колебаний является важной характеристикой, используемой как в области теоретического исследования пространственно-временного распределения приливов в Мировом океане, так и в области прикладного информационного обеспечения мореплавателей. В частности, расчет негармонических постоянных приливных колебаний ведется на основе классификации приливов [1].

Принятая к использованию классификация приливных колебаний основана на сравнительном анализе амплитуд основных суточных  $H_{K_1}$ ,  $H_{O_1}$  и полусуточных  $H_{M_2}$  гармонических постоянных. Основанием классификации является величина отношения  $K = (H_{K_1} + H_{O_1}) / H_{M_2}$ . К полусуточным относятся приливы при  $0 \leq K \leq 0,5$ , к неправильным полусуточным – при  $0,5 \leq K \leq 2,0$ , к неправильным суточным – при  $2,0 \leq K \leq 4,0$  и к суточным при  $K > 4$  [1, с. 192]. Следует отметить, что числовые границы интервалов имеют чисто эмпирическое происхождение [2]. Главной особенностью этой классификации является отсутствие однозначности, что, вообще говоря, противоречит определению понятия классификации. Это, в частности, проистекает из того, что гармонические постоянные, рассчитанные для разных серий, дают различные значения гармонических постоянных. К тому же в самой процедуре гармонического метода заранее предполагается обязательное наличие всех главных гармонических постоянных, что приводит к их выявлению даже в любой чистой гармонике. Кроме того, этот метод классификации не позволяет классифицировать приливные колебания отдельно в суточном и полусуточном интервалах частот. Он характеризует приливы по степени преобладания амплитуд колебаний в каком-то из этих двух интервалов. В то же время связь между типом прилива и движениями Луны и Солнца не прямая, а опосредованная гармоническим анализом, в

котором движения Луны и Солнца представляются сложной комбинацией фиктивных светил.

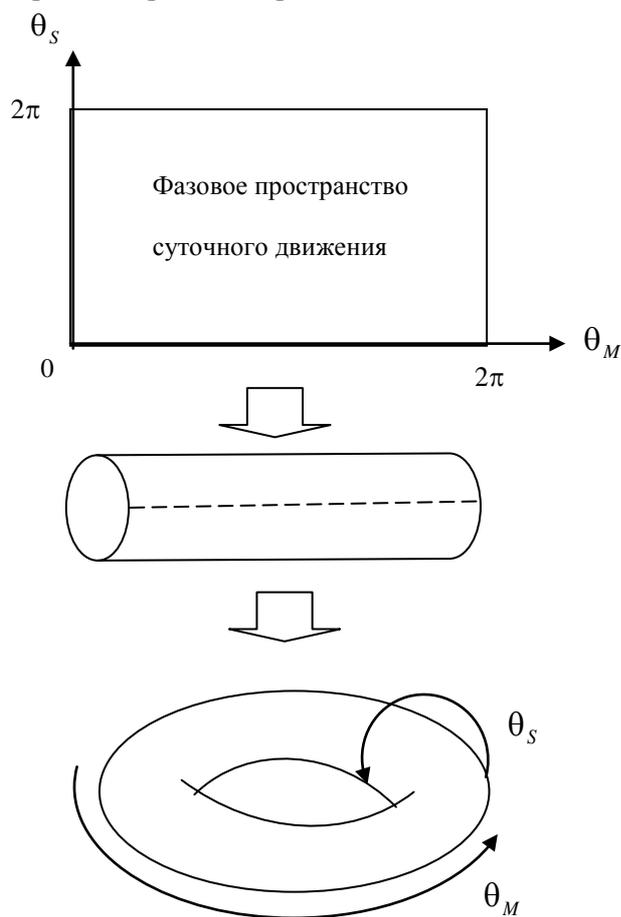
В данной работе предлагается новый способ классификации приливных колебаний, основанный на теории синхронизации [3]. В основе этого подхода лежит анализ соответствия между фазой приливного колебания и фазами движения Луны и Солнца. Следует отметить, что явление синхронизации впервые в анализе приливных колебаний было неявно использовано А. И. Дуваниным при построении метода расчета так называемых постоянных таблиц приливов [2].

Наша задача состоит в определении способа нахождения зависимостей между фазами приливных колебаний и суточными фазами вращения Луны и Солнца отдельно в суточном и полусуточном интервалах частот. Эти зависимости будут определять, какое из этих двух небесных тел формирует приливные колебания в рассматриваемом конкретном диапазоне частот.

В соответствии с этой задачей необходимо выделить приливные колебания для суточного и полусуточного интервала частот из временного ряда наблюдений за уровнем моря. Наиболее эффективно это можно осуществить с помощью дискретного вейвлет-преобразования ряда наблюдений [4]. Применение этого способа к ежечасным наблюдениям за уровнем моря позволяет получить приливные колебания в интересующих нас диапазонах периодов: полусуточные колебания от 8 до 16 часов и суточные от 16 до 32 часов в среднесолнечном времени. Отметим, что в этих интервалах находятся все соответствующие периоды фиктивных светил, используемые в гармоническом анализе приливов.

Для определения искомым зависимостей воспользуемся следующим приемом. В качестве метки фазы приливного колебания в рассматриваемом диапазоне частот возьмем нулевую фазу  $\theta_0$  наступления максимума уровня. Для каждого момента времени  $t_i$  наступления фазы  $\theta_0$  в среднесолнечном времени определим фазы Луны и Солнца в виде значений соответствующих часовых углов  $\theta_M(t_i)$  и  $\theta_S(t_i)$  относительно одного фиксированного меридиана, например, Гринвичского. В прямоугольных координатах с осями  $\theta_M(t_i)$  и  $\theta_S(t_i)$  точки  $p(\theta_M(t_i), \theta_S(t_i))$  будут соответствовать моментам наступления максимума уровня. Последовательное множество этих точек будет случайно заполнять плоскость координат, если зависимости между наступлением фазы прилива и соответствующими фазами Луны и Солнца не существует. В противном случае последовательность точек будет образовывать некоторое компактное множество, которое будем называть «траекторией». Заметим, что в среднесолнечном времени эти зависимости выявить затруднительно, так как суточные движения Луны и Солнца неравномерны, например, относительно среднесолнечных суток продолжительность лунных суток меняется на 25 минут в течение лунного месяца, а солнечных суток – на 15 минут в течение года.

Заметим, что фазы  $\theta_M(t_i)$  и  $\theta_S(t_i)$  являются периодическими функциями времени и изменяются в диапазоне  $(0, 2\pi)$ . Поэтому прямоугольную систему координат, образуемую этими фазами можно представить в виде квадрата. В свою очередь этот квадрат топологически эквивалентен тору. Иллюстрация преобразования квадрата в тор дана на рис. 1.



**Рис. 1. Иллюстрация преобразования фазового пространства плоскости в поверхность тора**

Исключительно важным для целей классификации является конечность всех возможных классов замкнутых траекторий на поверхности тора – их всего четыре. Две траектории принадлежит одному классу, если одну траекторию можно путем малых перемещений без разрывов (топологическая деформация) совместить с другой. На рис. 2 изображены представители траекторий каждого из четырех топологических классов. Таким образом, траектории, образуемые точками  $p(\theta_M(t_i), \theta_S(t_i))$ , всегда можно отнести к одному из этих классов траекторий. Для полноты классификации эти четыре класса мы должны дополнить классом,

соответствующим отсутствию траектории, когда точки  $p(\theta_M(t_i), \theta_S(t_i))$  хаотично заполняют фазовое пространство.

К первому классу траекторий отнесем траектории, обвивающие тор по образующей ( $\theta_S$ ) и направляющей ( $\theta_M$ ) тора (рис. 2). Ко второму – траектории, обвивающие тор только по направляющей, к третьему – траектории, обвивающие тор только по образующей, а к четвертому – траектории, образующие локальную замкнутую окружность, которую можно стянуть в точку. В отличие от последнего класса траектории, образующие первые три, невозможно стянуть в точку малыми деформациями без разрыва. Как видно из иллюстрации, классы траекторий не пересекаются, так как нельзя перевести малыми деформациями траекторию из одного класса в другой без разрывов.

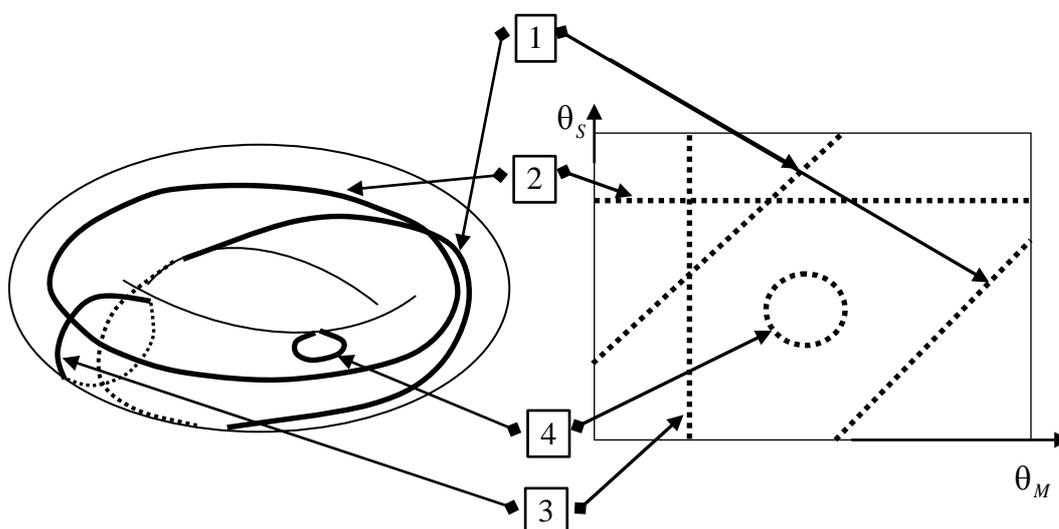


Рис. 2. Траектории – представители различных топологических классов замкнутых траекторий на торе и их эквиваленты на фазовой плоскости

Этим классам траекторий на торе однозначно соответствуют линии на фазовой плоскости  $\{\theta_M, \theta_S\}$ . Первому классу соответствуют прямые линии, проходящие под углом к осям  $\theta_M$  и  $\theta_S$ . Причем в ситуации общего положения одной траектории первого класса будут соответствовать два отрезка прямых (рис. 2). Второму классу траекторий соответствуют прямые, параллельные оси  $\theta_M$ . Четвертому классу траекторий соответствуют окружности, не пересекающие границ фазового квадрата.

Указанным классам траекторий на торе можно легко дать содержательную интерпретацию в понятиях приливного лексикона. Очевидно, что первый класс траекторий соответствует ситуации примерно равного влияния Луны и Солнца в образовании приливных колебаний. Второй класс соответствует ситуации подавляющего влияния Солнца, так как фаза  $\theta_0$  наблюдается только при фиксированном значении фазы Солнца  $\theta_S$  и при

произвольных значениях фазы Луны  $\theta_M$ . Напротив, третий класс соответствует ситуации подавляющего влияния Луны, так как фаза  $\theta_0$  наблюдается только при фиксированном значении фазы Луны  $\theta_M$  и при произвольных значениях фазы Солнца  $\theta_S$ . Четвертый класс соответствует ситуации последовательного переменного влияния Солнца и Луны. Когда траектория приблизительно перпендикулярна фазе  $\theta_S$  (верхняя и нижняя четверти окружности), наблюдается определяющее влияние Солнца. Когда траектория приблизительно перпендикулярна фазе  $\theta_M$  (левая и правая четверти окружности), наблюдается определяющее влияние Луны. Разрушение траекторий будет приводить к хаотическому заполнению фазового пространства точками окружности  $p(\theta_M(t_i), \theta_S(t_i))$ , что будет соответствовать пятому классу приливных колебаний – хаотическому.

Указанная идеальная классификация по топологическому основанию имеет минимально возможное число классов. Дальнейшую детализацию представленной классификации можно осуществить путем детализации рассматриваемых траекторий внутри каждого из указанных классов. Основанием для этого могут служить топологические характеристики, связанные с числом оборотов траектории какого-либо класса вокруг соответствующей направляющей.

Очевидно, что приливные колебания в конкретной точке океана могут быть отнесены либо к одному классу, когда влияние Солнца и Луны на приливы постоянно для данного района, либо класс прилива будет изменяться при изменении определяющего действия этих астрономических тел.

С учетом определенных выше идеальных топологических классов траекторий на торе предлагается классификационная схема приливных колебаний в суточном и полусуточном диапазонах частот, представленная в табл. 1.

Таблица 1

**Классификационная схема приливных колебаний в суточном и полусуточном диапазонах частот**

Тип прилива	Описание	Топологический класс траектории
Лунный	Моменты наступления максимума колебания определяются суточным движением Луны	Класс 3
Солнечный	Моменты наступления максимума колебания определяются суточным движением Солнца	Класс 2
Лунно-Солнечный	Моменты наступления максимума колебания определяются суточным движением Луны и Солнца с преобладающим влиянием Луны	Класс 1, с углом наклона прямых на фазовой плоскости больше $45^\circ$
Солнечно-Лунный	Моменты наступления максимума колебания определяются суточным движением Луны и Солнца с преобладающим влиянием Солнца	Класс 1, с углом наклона прямых на фазовой плоскости меньше или равна $45^\circ$
Хаотический	Моменты наступления максимума колебания хаотичны по отношению к фазам Луны и Солнца	Класс 4

Очевидно, что для лунно-солнечного и солнечно-лунного типов приливов в случае быстрой смены зависимости от Луны и Солнца точки фазовых соотношений будут иметь хаотическое распределение, и тогда следует добавлять прилагательное «хаотический», например, солнечно-лунный хаотический.

Приведем примеры конкретной классификации приливов по представленному топологическому основанию (рис. 3–8). В расчетах для выявления полусуточных и суточных приливных колебаний использовался метод вейвлет-преобразования [4], а часовые углы Луны и Солнца определялись на основе астрономических программ, представленных в работе [5].

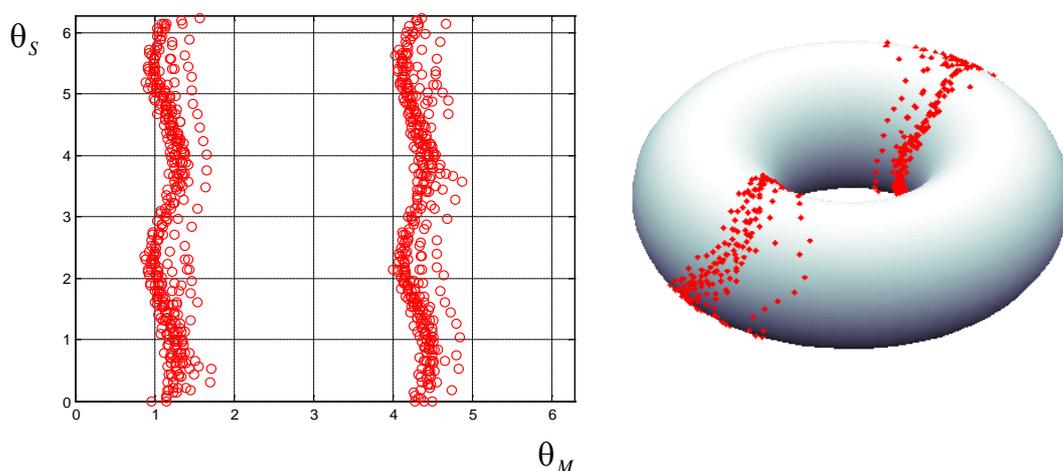


Рис. 3. Фазовые соотношения в полусуточном интервале частот для пункта Мурманск. Годовая серия наблюдений. Тип прилива – лунный

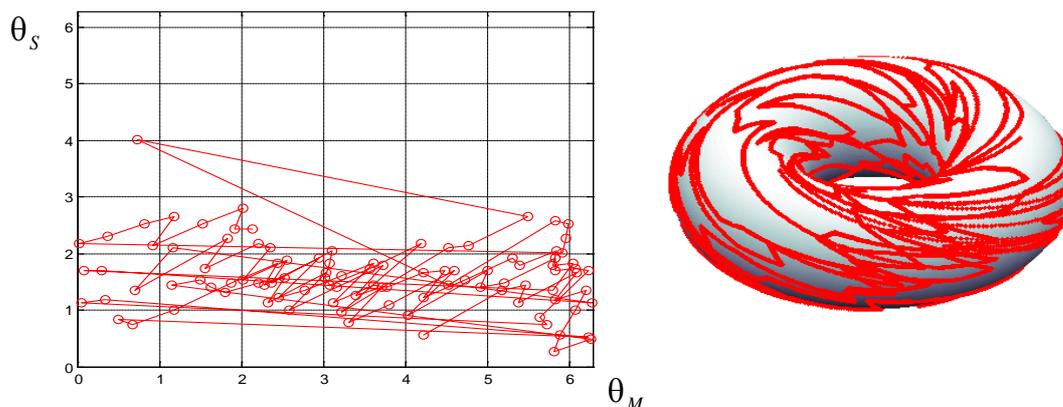
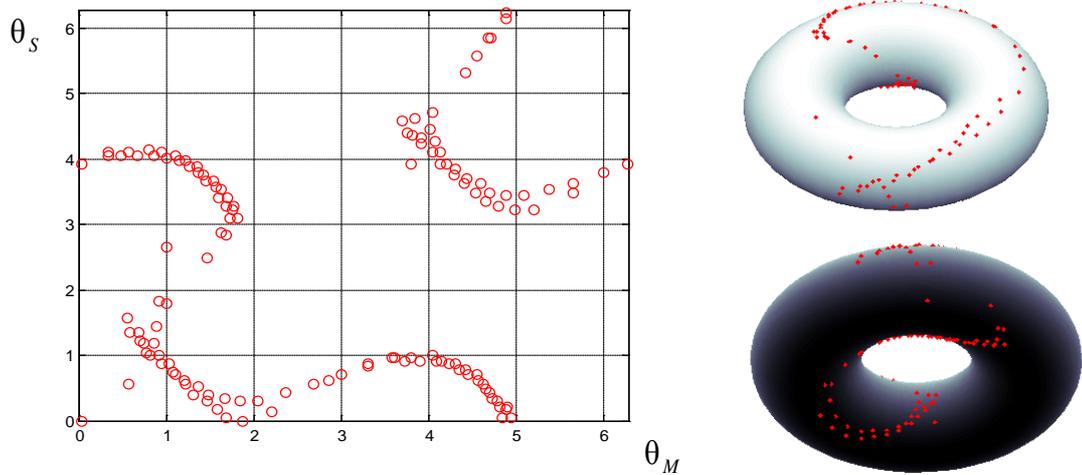
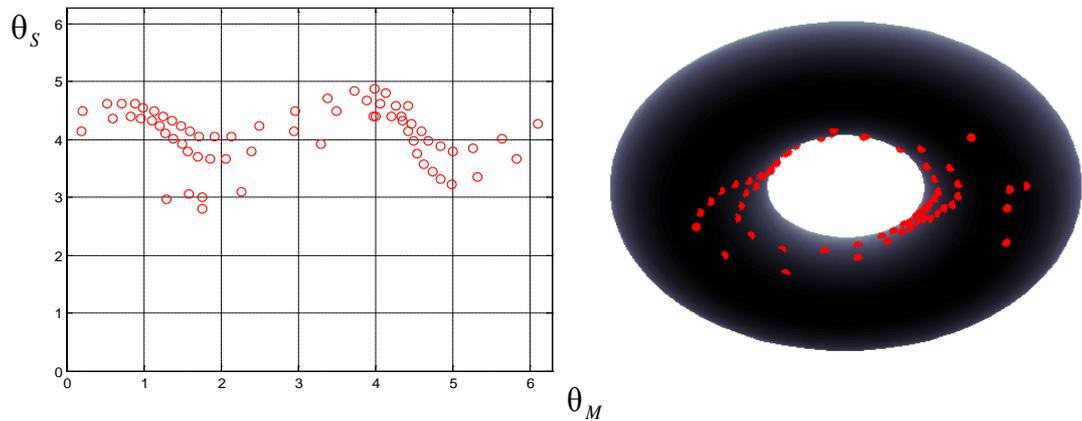


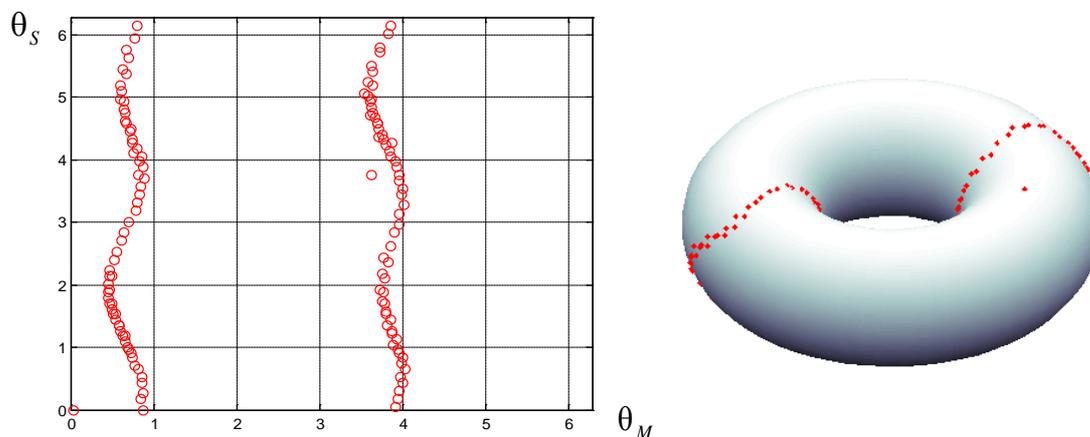
Рис. 4. Фазовые соотношения в суточном интервале частот для пункта Мурманск. Сто последовательных максимумов. Тип прилива – солнечно-лунный хаотический



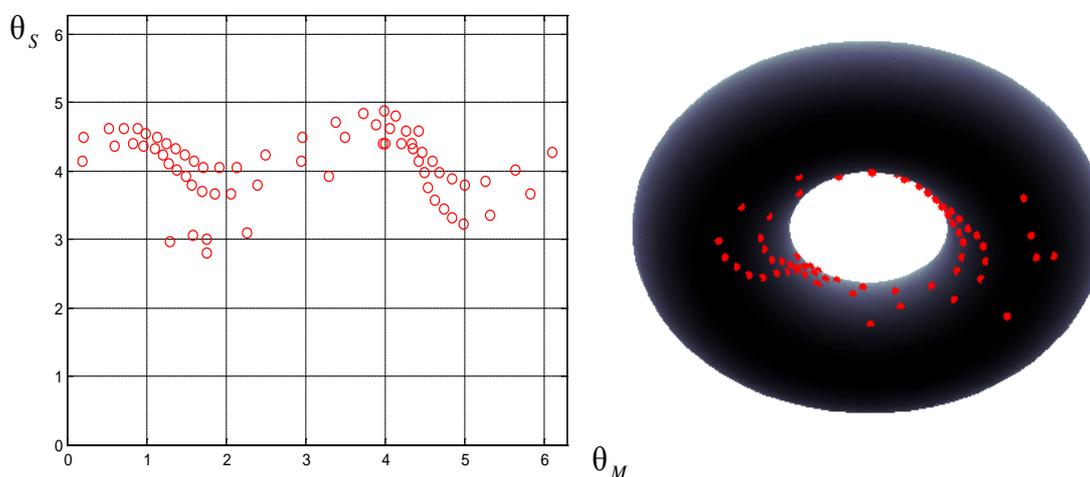
**Рис. 5.** Фазовые соотношения в полусуточном интервале частот для пункта Танджунг, широта  $6^{\circ} 6'$ , долгота  $106^{\circ} 52'$  (Тихий океан, о-ва Бали). Сто последовательных максимумов. Тип прилива – солнечно-лунный



**Рис. 6.** Фазовые соотношения в суточном интервале частот для пункта Танджунг, широта  $6^{\circ} 6' N$ , долгота  $106^{\circ} 52' E$  (Тихий океан, о-ва Бали). Сто последовательных максимумов. Тип прилива – солнечный



**Рис. 7. Фазовые соотношения в полусуточном интервале частот для пункта Матуга, широта 61°41' N, долгота 160°15' E (Охотское море). Сто последовательных максимумов. Тип прилива – лунный**



**Рис. 8. Фазовые соотношения в суточном интервале частот для пункта Матуга, широта 61°41' N, долгота 160°15' E (Охотское море). Сто последовательных максимумов. Тип прилива – солнечный**

В рамках предложенной классификации можно определить пространственно-временное распределение приливов и выявить географические особенности влияния Луны и Солнца на приливы, что важно для разработки теории приливов. Очевидно, что для автоматизации громоздких вычислений следует разработать специализированные алгоритмы программной классификации приливных колебаний и формализации понятия хаотичной зависимости приливных колебаний от фаз Луны и Солнца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Правила гидрографической службы №35 (ПГС №35). – Л.: Изд. ГУ ВМС, 1956. – 193 с.
2. Дуванин А.И. Приливы в море. – Л.: ГИМИЗ, 1960. – 390 с.
3. Пиковский А., Розенблум М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. – М.: Техносфера, 2003. – 496 с.
4. Жуков Ю.Н. Анализ приливных колебаний по временным рядам на основе дискретного вейвлет-преобразования. // Навигация и гидрография. – 2004. – №18. – С. 86–93.
5. Монтенбрук О., Пфлегер Т. Астрономия на персональном компьютере. – СПб.: Питер, 2002. – 320 с.

### Classification of Tidal Variations on Topological Basis

**Y. N. Zhukov**

**(GNINGI, RF MoD)**

*A new approach intended to classify the tidal variations in the diurnal and semidiurnal frequency range, based on the analysis of phase synchronization between the tidal variations and daily motion of the Moon and Sun, is proposed.*

ГРНТИ 37.25

### **ОЦЕНКА ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ВОДЫ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

**С. И. МАСТРЮКОВ,  
В. Г. ЛЯМЗИНА**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Показано, что в южной части Баренцева моря в поверхностном слое наблюдается повышение среднегодовой температуры со скоростью 0,11°C за 10 лет. В глубинных слоях режим не изменяется. Даны рекомендации по организации наблюдений за тенденциями изменения гидрологического режима.*

Проблема изменений климата в последние годы привлекает все большее внимание, т.к. носит не только научный, но и прикладной и даже политический характер. Поскольку климатические изменения могут привести к кардинальным экономическим и социальным последствиям, международные организации и правительства ряда стран последние десятилетия активно финансируют исследования изменений климата [1]. Тем не менее в международном научном сообществе пока не сложилось единого мнения о тенденциях изменения климата. В частности, отечественные специалисты оспаривают выявленную тенденцию глобального потепления, по крайней мере, для арктического региона [2].

Для анализа изменений климата обычно используют данные регулярных метеорологических наблюдений на стационарных станциях или результаты реанализа гидрометеорологических полей.

В первом случае автоматически решается проблема разделения временной и пространственной изменчивости гидрометеорологических полей, однако при анализе результатов возникает проблема учета локальных особенностей. Во втором случае основная проблема связана с точностью восстановления гидрометеорологических полей.

Помимо анализа изменения гидрометеорологических характеристик, широко используется анализ некоторых характеристик состояния среды, являющихся своего рода индикаторами климатических изменений, – площади ледяного покрова на морских акваториях, площади материковых ледников, уровня морей и озер, толщины годового прироста деревьев и т. п.

Ход интегральных показателей климатических изменений и непосредственно измеряемых характеристик гидрометеорологического режима согласован.

Попутно с развитием систем мониторинга состояния природной среды решается проблема выделения естественной и антропогенной изменчивости климата. В этой области согласия между исследователями еще меньше, далеко не все разделяют точку зрения о превалирующей роли антропогенных изменений климата.

При развитии систем мониторинга состояния природной среды возникают проблемы, которым ранее не придавали существенного значения или просто о них не знали. В частности, при создании глобальной системы слежения за уровнем моря (ГЛОСС) выяснилось, что традиционные наблюдения не позволяют надежно контролировать климатические изменения уровня, поскольку ранее пункты уровенных наблюдений не оснащались системами контроля и фиксации вертикальных и горизонтальных смещений измерителей уровня. Выяснилось, что за счет вертикальных и горизонтальных смещений земной коры в ряде районов Земного шара данные уровенных наблюдений не являются представительными.

Помимо выявленной тенденции потепления, с чем все-таки трудно не согласиться, возникает ряд вопросов связанных с последствиями этого потепления и влияния его на всю климатическую систему. Наличие огромного числа как положительных, так и отрицательных обратных связей в этой системе просто не позволяет прогнозировать последствия глобального потепления. Под обратными связями имеются в виду связи, которые усиливают (положительные связи) или уменьшают (отрицательные связи) колебания системы. Например, очевидна отрицательная обратная связь *облачность – радиация*. При прочих равных условиях увеличение радиации приведет к повышению температуры поверхности, увеличению испарения и увеличению облачности, что снизит поступление радиации. Пример положительной обратной связи – *лед – радиация*. Увеличение площади ледяного покрова приводит к увеличению доли отраженной радиации, что приводит к дальнейшему снижению температуры и дальнейшему увеличению площади ледяного покрова.

Наряду с простыми обратными связями, существуют более сложные связи, которые могут привести к быстрым изменениям климата. Так, получила известность теория, в соответствии с которой за счет процессов, вызванных глобальным потеплением, увеличивается распреснение холодных вод, поступающих в Атлантический океан с Восточно-Гренландским и

Лабрадорским течениями. Обычно эти холодные воды, встречаясь у северо-восточного побережья Северной Америки с теплыми водами Гольфстрима (Северо-Атлантического течения), опускаются, и Гольфстрим экранирует их воздействие на атмосферу, что определяет мягкий климат как восточного побережья США, так и всей Западной и Северной Европы. В результате опреснения холодных вод они, становясь более легкими, могут блокировать поступление теплых и соленых вод Гольфстрима или сместить их распространение к югу. Этот процесс может носить и колебательный характер, когда на поверхности будут преобладать попеременно то теплые, то холодные воды. Эта теория в некоторой степени объясняет увеличение амплитуды колебаний климатической системы в умеренных широтах, когда на фоне мягких в целом условий могут отмечаться резкие похолодания и интенсификация циклонической деятельности. С другой стороны приведенная теория или, точнее, гипотеза является примером отрицательной обратной связи, поскольку причина (потепление) инициирует похолодание и в целом должна привести к стабилизации климатической системы.

Из приведенного примера видно, насколько важно изучение не только климатических, но и гидрофизических изменений метеорологических элементов.

С этой точки зрения в настоящей работе сделана попытка оценить климатические тенденции изменения температуры и солености воды в южной части Баренцева моря.

Выбор района вызван с одной стороны относительно хорошим уровнем его освещенности данными наблюдений, а с другой – тем, что этот район находится под влиянием ветви теплого Норвежского течения, являющейся продолжением Северо-Атлантического течения.

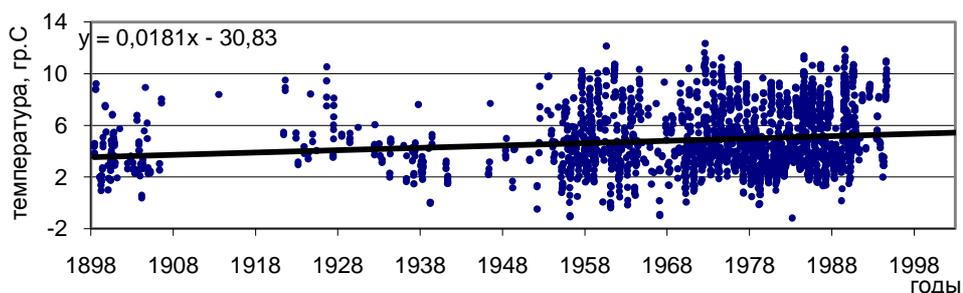
При анализе данных судовых гидрологических наблюдений в отличие от анализа метеорологических наблюдений на береговых метеостанциях возникает задача разделения временной и пространственной изменчивости. В связи с ограниченностью данных наблюдений нужно увеличивать размер района, по которому осуществляется выборка данных, но в связи с неравномерностью покрытия района данными наблюдений возрастает роль пространственной неоднородности гидрофизических полей, что маскирует временную изменчивость параметра.

Поэтому при выборе района для анализа в основу были положены два условия: во-первых, район должен быть минимизирован по площади, а во-вторых, в нем должно быть не менее 10 наблюдений в каждый гидрологический сезон. Второе условие позволяет избежать проблем, связанных с временной неоднородностью наблюдений.

После анализа освещенности Баренцева моря данными наблюдений, хранящимися в интегрированной базе данных НИЦ по Баренцеву морю [3], был выбран район моря, примыкающий к Кольскому заливу с севера. В районе  $69,5-72,0^{\circ}$  с. ш. и  $32-34^{\circ}$  в. д. на выходе из Кольского залива

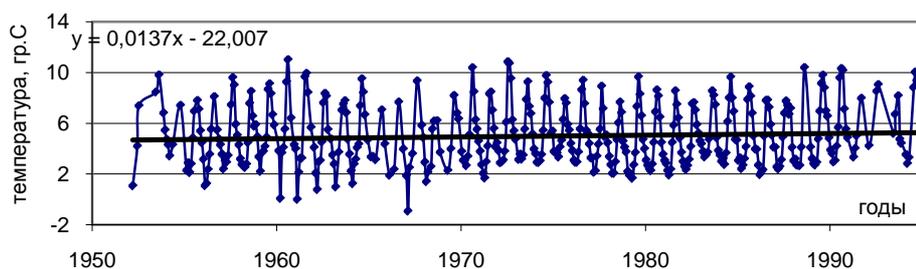
выполнено свыше 100000 океанографических станций за период с 1898 по 2003 гг. Отметим, что данные наблюдений предварительно прошли требуемые процедуры контроля качества и исключения дублей.

Для оценки неравномерности временного распределения данных наблюдений на рис. 1 приведен ход среднесуточной температуры воды в поверхностном слое (0–10 м) в этом районе за весь период наблюдений.



**Рис.1.** Среднесуточная температура за весь период наблюдений в поверхностном слое

На рисунке видно, насколько неравномерно по времени выполнялись наблюдения в районе. Здесь же приведена оценка линейного тренда температуры по этим данным. Таким образом, в районе отмечается повышение температуры в поверхностном слое со скоростью  $0,18^{\circ}\text{C}$  за 10 лет. Наиболее освещен данными наблюдений период после 1953 г. На рис. 2 приведен ход среднемесячной температуры воды в поверхностном слое за период после 1953 г.



**Рис. 2.** Среднемесячная температура поверхностного слоя за период с 1953 г.

Представленные на рисунке данные подтверждают тенденцию повышения температуры в среднем со скоростью  $0,14^{\circ}\text{C}$  за 10 лет.

Для реализации приведенного выше подхода по исключению влияния временной неравномерности наблюдений были рассчитаны средние значения температуры поквартально, и если в отдельные кварталы данные не регистрировались, или их было недостаточно (менее 10), год исключался из рассмотрения. Результаты расчета приведены на рис. 3.

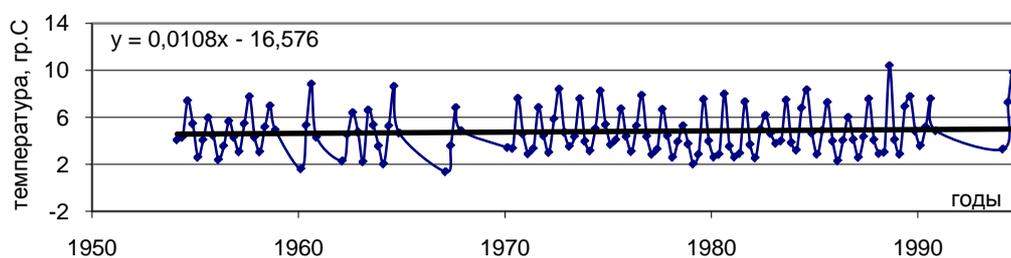


Рис. 3. Среднеквартальная температура поверхностного слоя за период с 1953 г.

Как видим, по этим данным получается, что скорость повышения температуры составляет  $0,11^{\circ}\text{C}$  за 10 лет. То есть за 100 лет температура поверхностного слоя воды в этом районе повысилась на  $1,1^{\circ}\text{C}$ . Именно эта оценка и должна быть признана окончательной, поскольку в этом случае, на наш взгляд, в наибольшей степени исключено влияние временной неравномерности наблюдений.

Аналогичный анализ хода солёности в поверхностном слое не выявил тенденций к ее изменению. В то же время отмечена небольшая (около  $0,1\%$  за 100 лет) тенденция распреснения глубинных вод в районе.

С сожалением следует констатировать, что для более детальной оценки климатических изменений в Баренцевом море, в том числе межгодовой ритмики термического режима, данных наблюдений недостаточно.

Для полноценного анализа климатических изменений гидрофизических характеристик необходимо выполнять регулярные наблюдения на стандартных разрезах в Баренцевом море и в первую очередь по Кольскому меридиану или, что представляется более эффективным, перейти к постановке автономных (1 год) гидрологических станций, оснащенных хотя бы регистраторами температуры воды. Дискретность измерения гидрофизических характеристик достаточно принять равной 1 суткам. Выбор мест установки станций целесообразно согласовать со схемой существующих стандартных разрезов в Баренцевом море.

Таким образом, впервые получены количественные оценки климатических изменений температуры и солёности воды в Баренцевом море за последние 50 лет. Стоит отметить, что полученные оценки не противоречат выявленным тенденциям изменения температуры воздуха и характеристик ледяного покрова в высоких широтах [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глобальный климат. Под ред. Дж. Холтона. Пер. с англ. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 500с.
2. Климатический режим Арктики на рубеже 20 и 21 веков. Под ред. Крутских Б. А. – СПб: Гидрометеоздат, 1991. – 200с.
3. Лямзина В. Г., Мاستрюков С. И. Состояние разработки интегрированных баз океанографических данных в НИЦ ГНИНГИ МО // Навигация и гидрография. – 2004. – № 19. – С. 126–131.

Estimate of Trends for Water Temperature and Salinity Changes in the Southern Part of the Barents Sea

**S. I. Mastryukov,**  
**V. G. Lyamzina**  
**(GNINGI, RF MoD)**

*It is shown that in the southern part of the Barents Sea, the average yearly temperature rise in the surface water layer at a rate of 0.11 °C in 10 years is observed. In the deep-water layers the temperature regime has not changed. The recommendations on provision of observations of hydrological regime change trends are given.*

ГРНТИ 551.508.9

**АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАБОТКИ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ  
ИНФОРМАЦИИ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА**

**Ю. Н. ЖУКОВ.**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Показано, что использование стандартных алгоритмов вычислительной геометрии, применяемых в геоинформационных системах для обработки геопространственной информации большого объема приводят к практически неприемлемым затратам по времени и памяти. Предлагается решить эту проблему путем предварительного рекурсивного дробления геопространственной информации в виде квадродерева.*

В настоящее время одной из отличительных особенностей геопространственной информации является ее большой объем. Это связано как с большим потоком информации, поступающей с искусственных спутников Земли, так и с требованиями пользователей к подробности геопространственной информации. Поэтому создание и эксплуатация геопространственных баз данных необходимым образом связана с редактированием и обработкой большого объема информации. Использование для этих целей геоинформационных систем (ГИС) в качестве систем управления геопространственными данными практически невозможно, ввиду того, что ГИС не поддерживают обработку громадного массива геопространственной информации. В ГИС применяются алгоритмы вычислительной геометрии, решающие наиболее общие вычислительные задачи и в силу их универсальности не предназначенные для массовой обработки информации. Это связано с тем, что ГИС ориентированы на интерактивную технологию обработки, т.е. на ограниченные объемы информации, которые могут визуально контролироваться человеком.

В ЭВМ геопространственная информация представляется в векторном формате и имеет две основные формы: точечную – в виде несвязного набора координат точек, и линейную – упорядоченный набор координат точек. В точечной форме, например, представляются глубины и высоты, а в линейной – острова и материка. В последнем случае линейная форма геометрически

представляет собой простой полигон. В круг разнообразных задач обработки геопространственной информации входит, например, или задача определения пересечения и объединения (булевы операции) с полигонами, задача определения принадлежности точки полигону и т. д. Решение этих задач основано на использовании известных алгоритмов вычислительной геометрии. Эффективность любого из этих алгоритмов определяется требуемой памятью и временем вычисления, которые являются функцией от числа точек во входной информации. Предварительно дадим пояснения и уточним условия. Под массовой обработкой будем понимать численные операции с массивами геопространственных данных содержащими более миллиона точек. Эффективность алгоритма будем оценивать по затратам памяти и времени выполнения для худшего случая, как принято в вычислительной геометрии [1]. Для количественной характеристики эффективности алгоритма используем асимптотическую оценку вида  $O(f(N))$ . Эта оценка обозначает множество всех функций  $g(N)$  таких, что существуют положительные константы  $C$  и  $N_0$ , для которых  $|g(N)| \leq Cf(N)$  при всех  $N \geq N_0$ . Допустимые вычислительные ресурсы по памяти будем оценивать по техническим характеристикам «типичной» ЭВМ типа Pentium-IV с Гб ОЗУ. Для такого типа ЭВМ эффективное решение численной задачи возможно при размере выделяемой оперативной памяти до  $M_{\max} \approx 10$  МГб. Что касается допустимых вычислительных ресурсов по времени, то, очевидно, для практических массовых вычислений степенные зависимости  $f(N)$  недопустимы. Известно [1], что для практических целей необходимы алгоритмы, время выполнения которых не хуже  $O(N \log(N))$ .

Покажем на основе анализа эффективности конкретных алгоритмов вычислительной геометрии невозможность их прямого применения для массовой обработки больших массивов геопространственной информации. В качестве тестовых рассмотрим задачи, наиболее часто применяемые на этапе редактирования геопространственной информации: булевы операции с полигонами и определение принадлежности точки полигону.

Последняя задача формулируется следующим образом: дан простой многоугольник  $P$  и точка  $z$ ; требуется определить, находится ли  $z$  внутри  $P$ . Известны два основных алгоритма ее решения без применения предобработки: лучевой и октантный [2]. Эффективность первого алгоритма равна  $O(N_p \cdot N_z)$  по времени и  $O(N_p + N_z)$  по памяти, а второго  $O(N_p \cdot N_z)$  по времени и памяти. Отсюда следует, что первый требует недопустимых временных затрат, а использование второго алгоритма для массовых расчетов невозможно по требуемой памяти. Существующие алгоритмы сведения простого многоугольника к звездным и/или выпуклым требуют больших затрат на предобработку, что не эффективно для массовых вычислений.

Булевы операции с простыми многоугольниками являются еще более затратными. Известно, что булевы операции даже для звездных многоугольников требуют более чем квадратичных затрат по памяти и по времени [1]. Для простых многоугольников эти операции более сложны, и, следовательно, они не могут иметь практического применения при массовой обработке геопространственной информации.

Разрешение этой проблемной ситуации следует искать в декомпозиции исходной информации на блоки, объем информации которых позволяет использовать стандартные алгоритмы. В качестве метода декомпозиции предлагается использовать структуру квадродерева. Это способ организации ортогональной сетки, состоящей из ячеек, определенных горизонтальными и вертикальными прямыми. Организация квадродерева базируется на принципе рекурсивного разбиения начальной прямоугольной области на четыре равных прямоугольника. В результате образуется рекурсивное дерево со степенями исхода, кратными четырем. На каждом шаге рекурсии размер прямоугольной области уменьшается в четыре раза, и, соответственно, уменьшается число геопространственных объектов, принадлежащих этой области. Рекурсивное разбиение продолжается до тех пор, пока число объектов не уменьшится до величины, которая позволяет практически осуществить необходимые вычисления с использованием стандартных алгоритмов. Более формально этот способ можно представить в виде следующего обобщенного алгоритма:

Function  $X = \text{КВАДРОДЕРЕВО\_ЗАДАЧА}(N_{\max}, S, X)$

Input:  $N_{\max}$  – максимально допустимое число объектов, для алгоритма ЗАДАЧА, выполняющего требуемую задачу;

$S$  – исходная прямоугольная область;

Output:  $X$  – результат применения алгоритма ЗАДАЧА для области  $S$ .

begin  $N = \text{ЧИСЛО\_ОБЪЕКТОВ\_В\_ПРЯМОУГОЛЬНОЙ\_ОБЛАСТИ}(S)$ ;

if  $N_{\max} \leq N$  then  $Y = \text{ЗАДАЧА}(S)$ ; return  $X = X \cup Y$ ;

else

$S_1 :=$  (юго-западный квадрант  $S$ );

$X = \text{КВАДРОДЕРЕВО\_ЗАДАЧА}(N_{\max}, S_1, X)$ ;

$S_2 :=$  (северо-западный квадрант  $S$ );

$X = \text{КВАДРОДЕРЕВО\_ЗАДАЧА}(N_{\max}, S_2, X)$ ;

$S_3 :=$  (северо-восточный квадрант  $S$ );

$X = \text{КВАДРОДЕРЕВО\_ЗАДАЧА}(N_{\max}, S_3, X)$ ;

$S_4 :=$  (юго-восточный квадрант  $S$ );

$X = \text{КВАДРОДЕРЕВО\_ЗАДАЧА}(N_{\max}, S_4, X)$ ;

end

Данный алгоритм осуществляет разбиение области на квадранты методом построения квадродерева в глубину. Оценим эффективность его работы.

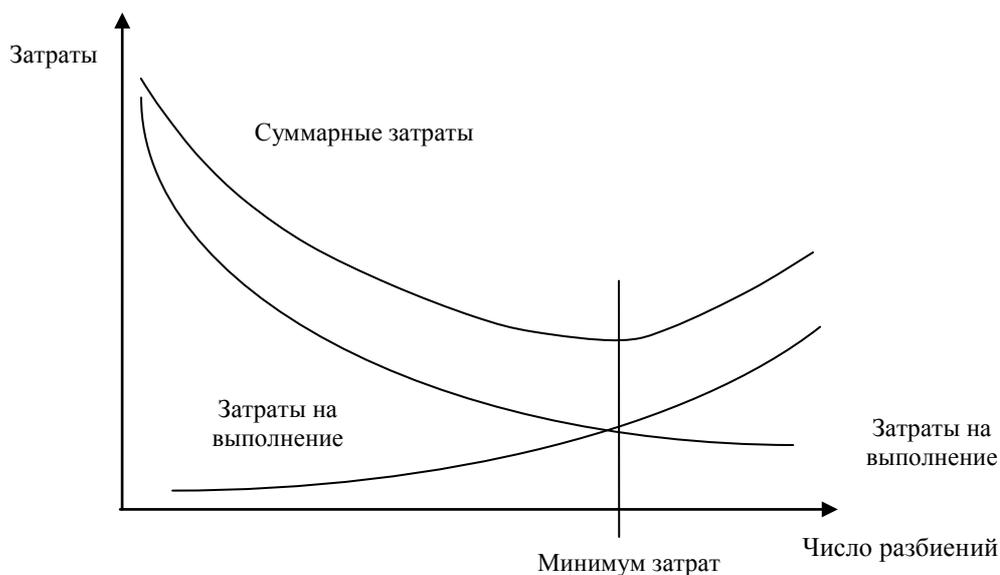
Затраты алгоритма складываются из затрат на выполнение собственно решаемой задачи (вызов процедуры ЗАДАЧА) и затрат на разбиения области на квадранты. Положим, что число точек геопространственных объектов в исходной прямоугольной области равно  $N_0$ . На  $k$ -ом разбиении число квадрантов, в которых находятся точки объекта, равно  $N_k \sim k^B$ ,  $B > 0$ , так как естественные (природные) геопространственные объекты фрактальны [3]. Пусть число  $N_{\max}$  достигается при числе разбиений  $k_{\max}$ . Общее время и память, затрачиваемые алгоритмом на выполнение ЗАДАЧИ, будут равны  $O(N_0^2/k_{\max}^B)$ . Эта оценка зависит как от геометрических свойств геопространственных объектов (параметр  $B$ ), так и от допустимой памяти  $N_{\max}$ , но в любом случае она значительно меньше, чем затраты без разбиения.

Ускорение выполнения ЗАДАЧИ компенсируется затратами времени на процедуры разбиения. В тексте алгоритма процедуре разбиения соответствуют строки типа  $S_1 :=$  (юго-западный квадрант  $S$ ). Рассмотрим наиболее затратный случай процедуры разбиения для полигональных объектов. В этом случае общие булевы алгоритмы применять нельзя. Как показано выше, это требует слишком больших затрат. Выход из этого положения предлагается искать в разработке частного алгоритма, учитывающего специфику задачи. В нашем случае разбиение осуществляется по линиям, параллельным координатным осям, что позволяет использовать прямой алгоритм регионального поиска, на основе которых можно разработать алгоритм разбиения полигонов с оценкой эффективности  $O(N)$  по времени и памяти. Суммарное время на разбиение включает время, затраченное на все разбиения от  $k=1$  до  $k=k_{\max}$ . С учетом этого получим оценку эффективности частного алгоритма разбиения в виде  $O(N_0 \lg N_0)$ .

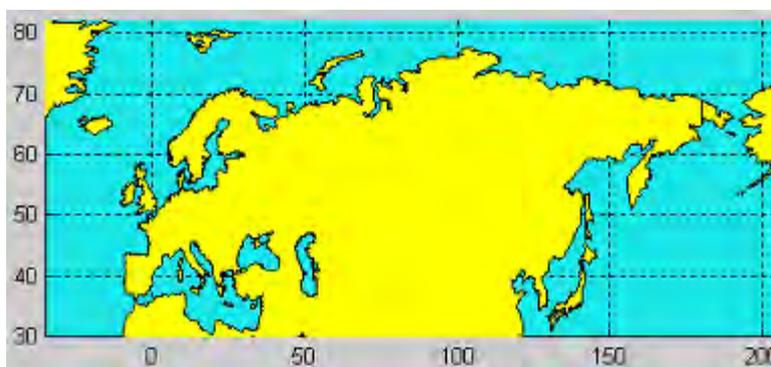
Эффективность алгоритма в целом определяется выражением  $O(N_0 \lg N_0 + N_0^2/k_{\max}^B)$ , что является суммой затрат на решение ЗАДАЧИ и алгоритма разбиения. Схематическое изображение затрат алгоритма дано на рис. 1. Конкретный вид графиков определяется реализацией алгоритма и техническими ресурсами ЭВМ.

Рассмотренный подход к организации массовых вычислений был использован при решении конкретной проблемы, которая встретилась при использовании геопространственной информации GEBCO.

В области ограниченной широтами от 30 до 82 с. ш. и долготами от -35 до 204 (рис. 2) заданы значения глубин и высот на регулярной одноградусной сетке (всего 44758261 точек) и полигоны суши (всего 63 070 полигонов, образованных 2858151 точкой). Задача состояла в нахождении точек глубин, лежащих внутри полигонов.



**Рис. 1. Формирование суммарных затрат алгоритма**

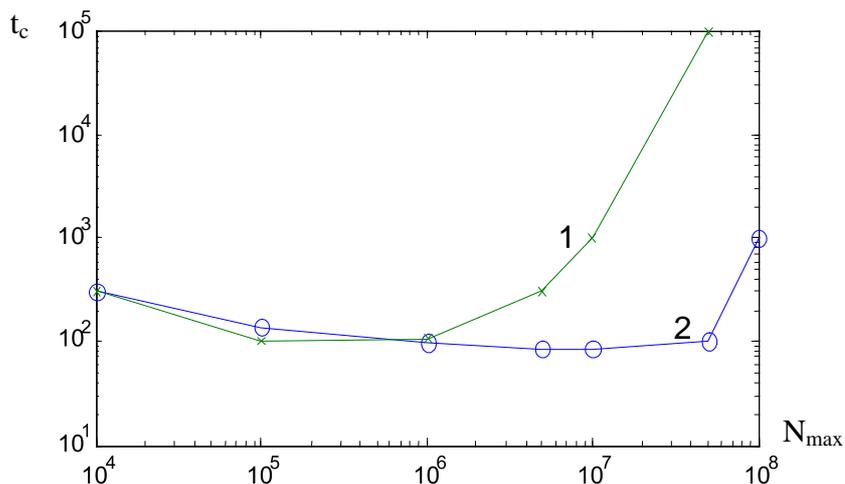


**Рис. 2. Область, рассматриваемая в задаче**

Известные автору ГИС (например, ArcView 3.2) не обеспечивают решение этой задачи при таких объемах данных. Поэтому описанный выше алгоритм был реализован на языке MatLab 6.5. Расчеты проводились на ЭВМ с 1 Гб ОЗУ и процессором Pentium-IV 3 Гц для двух вариантов реализации алгоритма определения принадлежности точки простому многоугольнику. В одном варианте использовался стандартный октантный алгоритм, в другом применялся алгоритм, специально разработанный. В основу последнего была положена модификация стандартного лучевого алгоритма, учитывающая специфику обрабатываемых данных. Время решения задачи с использованием октантного алгоритма составляет 4,3 минуты, с использованием модифицированного лучевого – 3,9 минуты.

Основное время в решении задачи затрачивалось на обработку наибольшего полигона, описывающего береговую черту части Евразийского

материка (рис. 2). Время обработки только этого полигона, содержащего 902708 точек, при различных значениях  $N_{\max}$  графически представлено на рис. 3 (в данной конкретной задаче  $N_{\max}$  равно произведению числа точек глубин на число точек полигона, находящихся в одном октанте). Из графиков следует, что существует значения  $N_{\max}$  при которых достигается минимизация времени вычисления. Для октантного алгоритма  $N_{\max} = 10^5$ , для модифицированного лучевого –  $N_{\max} = 10^7$ . Это различие объясняется тем, что октантный алгоритм требует большей памяти для выполнения.



**Рис. 3. Графики времени обработки наибольшего полигона (Евразийского)**  
 По логарифмической шкале абсцисс – значения  $N_{\max}$ , по логарифмической шкале ординат – время выполнения задачи в секундах. Варианты вычислений: 1 – с применением октантного алгоритма, 2 – с применением модифицированного лучевого алгоритма

Таким образом, использование стандартных алгоритмов для массовой обработки геопространственной информации не эффективно. Единственный путь решения этой проблемы состоит в разработке набора специфических алгоритмов, учитывающих особенности данных и ЭВМ, и позволяющих за приемлемое время осуществить вычислительные операции. Ожидание решения этой проблемы путем совершенствования технических характеристик ЭВМ не оправдано по причине того, что поток геопространственной информации также увеличивается со временем.

Предложенный подход к организации вычислений на основе рекурсивного дробления пространства задания данных применим и в других случаях.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение. – М., Мир, 1989. – 478с.
2. Никулин Е. А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560 с.
3. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 655 с.

**Algorithmic Problems of Processing the Large-Volume Geospatial Information**

**Y. N. Zhukov**  
**(GNINGI, RF MoD)**

*It is shown that employment of the standard algorithms of computational geometry used in geoinformation systems to process the large-volume geospatial information result in practically unacceptable time and memory expenditures. It is proposed to solve this problem by the preliminary recursive splitting of the geospatial information in the form of quadrotree.*

ГРНТИ 78.21.43

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ ПОСТРОЕНИЯ КОРАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
ТЕМПЕРАТУРНО-ВЕТРОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ**

**В. И. ЛАПШИН**  
**(ГНИНГИ МО РФ),**  
**А. А. ФЕДОРОВ**  
**(ГУНиО МО РФ)**

*Показана практическая необходимость использования данных температурно-ветрового зондирования атмосферы для решения различных задач гидрометеорологического обеспечения сил и средств флота. В связи с этим рассмотрены возможные варианты построения систем температурно-ветрового зондирования атмосферы. Предложен наиболее рациональный вариант такой корабельной системы.*

В соответствии с руководящими документами [1, 2, 3] основными задачами гидрометеорологического обеспечения (ГМО) сил флота являются: подготовка и передача в систему управления корабля данных о фактической и ожидаемой гидрометеорологической обстановке, оповещение и предупреждение об опасных и особо опасных метеорологических явлениях. Наиболее жесткие требования предъявляются к обеспечению авианесущих кораблей и соединений, боевая и повседневная деятельность которых существенно зависит от гидрометеорологических условий. Задачи, решаемые метеорологическими средствами в целях ГМО кораблей, можно разделить на четыре группы:

1. ГМО при подготовке к боевым действиям;
2. ГМО полетов корабельной авиации;
3. ГМО стрельб;

4. ГМО навигационной безопасности и повышения эффективности использования корабельной РЛС для обнаружения низколетящих целей.

Анализ требований, предъявляемых к объему, качеству, форме и оперативности предоставления метеорологической информации для ГМО кораблей, показывает, что одним из путей достижения поставленной цели является использование корабельной системы температурно-ветрового зондирования атмосферы. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы содержат необходимую для прогнозиста-синоптика информацию, которая особенно важна при отсутствии других источников получения гидрометеорологической информации (радиометеорологических центров, метеорологических спутников и др.).

В настоящее время на вооружении кораблей основных классов отсутствуют системы температурно-ветрового зондирования атмосферы, которые позволили бы получить распределение по высоте температуры, влажности воздуха, скорости и направления ветра. Термодинамический анализ этих данных радиозондирования позволил бы произвести расчет баллистического ветра для корабельной артиллерии и определить:

- наличие инверсий температуры;
- уровень конденсации (как определение высоты нижней границы облаков);
- уровень конвекции (как определение высоты верхней границы облаков);
- облачные прослойки;
- наличие (отсутствие) обледенения в облаках;
- по значению конвективно неустойчивого слоя определяется возможность развития гроз, осадков, анализ и прогноз болтанки, в том числе турбулентность ясного неба;
- положение значений  $0^{\circ}$ ,  $-12^{\circ}$ ,  $-25^{\circ}$ ;
- наличие фронтальной зоны;
- дневную максимальную температуру воздуха (по данным утреннего зондирования);
- определение положения тропопаузы, струйного течения.

Радиозондирование атмосферы производится с целью определения вертикального профиля метеорологических параметров. В связи с этим в общем случае любая радиотехническая система зондирования атмосферы должна содержать две подсистемы: подсистему измерения координат и подсистему телеметрических измерений [4].

Подсистема телеметрических измерений обычно строится по единому принципу для различных систем зондирования и представляет собой многоканальную радиотелеметрическую систему с временным разделением каналов. Отличительной ее особенностью является небольшое число каналов и относительно малая скорость передачи информации, обусловленная спецификой телеметрируемого объекта и характером решаемых задач при

зондировании атмосферы. В этом плане рассматриваемая подсистема телеметрических измерений является более простой по сравнению со специализированными многоканальными радиотелеметрическими системами с большей информативностью. Однако построение этой подсистемы с требуемыми характеристиками является достаточно сложной задачей из-за следующих ее особенностей [5, 6].

Во-первых, на бортовую аппаратуру подсистемы, размещаемую на радиозонде, накладываются жесткие ограничения по полетной массе и стоимости, так как радиозонд является прибором разового применения.

Во-вторых, подсистема телеметрических измерений обычно имеет общий радиоканал с подсистемой измерений координат зонда, что усложняет структуру сигнала.

В отличие от подсистемы телеметрических измерений подсистемы измерения координат зондируемой точки характеризуются большим разнообразием. Классификацию этих подсистем можно произвести по следующим признакам:

- по организации радиоканалов подсистем телеметрии и измерения координат;
- по типу системы координат, в которой производится измерение координат зондируемой точки;
- по принципу измерения координат зондируемой точки.

По первому признаку различают системы зондирования с отдельными и совмещенными радиоканалами. Достоинством систем с отдельными радиоканалами является простота структуры сигналов, а недостатком – большой объем аппаратуры станции слежения и более широкая полоса занимаемых частот. Примером такой системы является американская система радиозондирования типа MDSS, в которой телеметрическая подсистема работает с радиоканалом на несущей частоте 1680 МГц, а подсистема измерения координат – с радиоканалом сантиметрового диапазона [7]. В системах зондирования с совмещенными радиоканалами подсистемы телеметрических и координатных измерений работают на совпадающих или близких несущих частотах и имеют временное разделение каналов. Совмещение радиоканалов позволяет сократить объем аппаратуры и стоимость станции слежения.

По третьему признаку различают системы радиозондирования, использующие сферическую, прямоугольную и смешанные системы координат. Примерами систем, использующих сферическую систему координат, являются штатные отечественные системы типа «Метеорит-РКЗ» и «Титан-МРЗ», в которых угловые координаты измеряются методом равносигнальной зоны, а наклонная дальность – квазирадиолокационным методом с помощью размещенного на радиозонде сверхрегенеративного приемопередатчика, выполняющего одновременно функции телеметрического передатчика. Достоинствами таких систем являются высокая

помехоустойчивость и большая дальность сопровождения радиозонда при относительно малой излучаемой радиозондом мощности из-за использования на станции антенной системы с высоким коэффициентом усиления. С другой стороны использование такой антенной системы, а также относительно мощного передатчика зондирующих импульсов, приводит к значительным габаритам и весу станции слежения, что является большим недостатком таких систем. Другим их недостатком, связанным с использованием остронаправленной антенны на станции слежения, является необходимость строгой ориентации антенной колонки в пространстве, что, наряду с габаритно-весовыми характеристиками, существенно затрудняет размещение этих систем зондирования на подвижной базе. Существенным недостатком систем рассматриваемого типа является также возрастание погрешности определения высоты зондируемой точки при малых углах места и больших наклонных дальностях [8].

Примером использования смешанной системы координат являются радиотеодолитные системы зондирования, например, отечественная система типа «Малахит А-22». В этих системах измеряются две сферические координаты и одна декартова координата – высота зондируемой точки. Хотя габаритно-весовые характеристики станции слежения в этой системе улучшаются за счет исключения передатчиков зондирующих импульсов, другой недостаток, связанный с необходимостью жесткой ориентации антенной системы относительно горизонта, остается в силе. Для этой системы характерен также и такой недостаток, как возрастание погрешности измерения ветра при малых углах места, обусловленный принципом определения горизонтальной дальности до радиозонда [9].

Другим возможным вариантом использования смешанной системы координат является система зондирования, в которой измеряется азимутальный угол, наклонная дальность и высота зондируемой точки. Этой системе присущи все недостатки рассмотренных выше систем, связанные с габаритно-весовыми характеристиками и необходимостью строгой ориентации антенной системы в пространстве. Достоинством же ее является отсутствие возрастания погрешностей измерения высоты или скорости ветра при малых углах места, поскольку последняя координата не измеряется [10].

Примерами использования декартовой системы координат являются американская система зондирования LOKATE с радиозондами фирмы VIS, а также финские системы micro-CORA и digi-CORA с радиозондами типа RS80-15N и RS80-15. В этих системах координаты  $X$  и  $Y$  проекции зондируемой точки на поверхность Земли определяются путем использования сигналов фазовых навигационных систем типа OMEGS или LORAN-C, а высота  $H$  зондируемой точки определяется по барометрической формуле путем измерения давления. Основным достоинством таких систем являются отсутствие необходимости измерения угловых координат зондируемой точки, что позволяет применять на станции слежения, имеющей малые габариты и вес, ненаправленные или слабонаправленные антенны, а также устанавливать

эти станции на подвижную базу. Важным преимуществом этих систем является отсутствие на станции передатчика зондирующих импульсов, что обуславливает, наряду с применением ненаправленной антенны, исключительно малые габариты и вес станции. В то же время применение ненаправленной антенны обуславливает следующие существенные недостатки этих систем:

- низкую помехоустойчивость из-за слабой пространственной избирательности приема сигналов;
- относительно низкий потенциал радиоканала из-за малого коэффициента усиления антенны;
- значительную зависимость точности определения ветра от условий распространения сверхдлинных волн и уровня шумов, характерных для района наблюдений.

Несмотря на эти недостатки, подобные системы находят применение, поскольку указанные выше преимущества в ряде случаев являются принципиальными. В частности, малые габариты и вес станции слежения позволяют применять эти системы в корабельных условиях.

Что касается недостатков, то ряд из них может быть скомпенсирован путем рационального построения радиоканала. В частности, в указанных выше американских и финских системах использован более низкочастотный диапазон 400–406 МГц. При этом получается 17-кратный выигрыш в потенциале радиоканала по сравнению с традиционно используемым диапазоном 1680 МГц из-за увеличения эффективной площади антенны. Кроме того, излучаемая мощность радиозондов в этих системах составляет около 250 мВт и является практически максимально достижимой исходя из разумно допустимых значений полетной массы радиозонда.

В настоящее время фирмой Vaisala разработаны и используются радиозонды RS 90, использующие для определения координат места точки зондирования сигналы системы GPS. Спутники системы GPS передают навигационные сигналы двух типов:

- навигационный сигнал стандартной точности в диапазоне 1,6 ГГц;
- навигационный сигнал высокой точности в диапазоне 1,2 ГГц.

Горизонтальные координаты определяются с точностью 50–70 м (вероятность 99,7%), вертикальные с точностью до 70 м (вероятность 99,7%) и время с точностью до 1 мкс.

По способу запуска зонда системы аэрологического зондирования делятся на шар-пилотные и ракетно-парашютные. Преимуществом шар-пилотных систем является возможность измерения параметров до высоты 20 км. Недостатками таких систем в корабельных условиях будут следующие:

- необходимость выделения специального помещения для обслуживания оболочек и хранения баллонов с газом;
- относительно высокая скорость подъема на начальном участке зондирования;
- влияние теплового поля корабля на начальные измерения метеорологических параметров.

Учитывая указанные недостатки, можно сделать вывод, что шар-пилотные системы малоэффективны для измерения метеорологических параметров в приводном слое до 1,5 км.

Ракетно-парашютные системы в отличие от шар-пилотных лишены указанных недостатков.

Таким образом, наиболее рациональным вариантом построения корабельной системы аэрологического зондирования является принцип зондирования, использующий радиозонды с определением координат точки зондирования с помощью глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС и системы GPS.

Ракетно-парашютная система должна производить автоматическую обработку навигационной и метеорологической информации, передаваемой радиозондом-ретранслятором во время зондирования в ЭВМ, а также выдавать на экран дисплея автоматизированного рабочего места аэролога оперативную информацию в виде графиков или таблицы расчетных данных распределения метеопараметров по высоте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рукводство по гидрометеорологическому обеспечению ВМФ (РГМО-84) – приказ ГК ВМФ №123, 1984 г.
2. Наставление по метеорологической службе авиации Вооруженных сил СССР (НАМС-86). – М.: Воен. изд., 1987. – 184 с.
3. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации СССР (НМО ГА-90) – Л.: Гидрометиздат, 1990. – 104 с.
4. Тепляков И. М., Рошин Б. В., Фомин А. И., Вейцель В. А. Радиосистемы передачи информации. М.: Радио и связь, 1982. – 263 с.
5. Павлов Н. Ф. Аэрология, радиометеорология и техника безопасности. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 431 с.
6. Маковцев А. П. Основы теории радиотелеметрии. – М.: Энергия, 1973. – 592 с.
7. Siderman J. A. An Army Atmospheric Sounding System //Ieee Trans. Milit. Elektron., 1965. – V. 9. – No 2. – P.153–162.
8. Ермаков В. И., Кузенков А. Ф., Юршаков В. А. Системы зондирования атмосферы. – Л., Гидрометеиздат, 1977. – 303 с.
9. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 4. Аэрологические наблюдения на станциях. Часть 3. Температурно-ветровое зондирование атмосферы системой «Радиозонд А-22» радиотеодолит «Малахит» с дальномерной приставкой. – Л., Гидрометеиздат, 1966. – 450 с.
10. Пеннин П. И. Системы передачи цифровой информации. М., Советское радио, 1979. – 366 с.

Analysis of the Possible Variants of Designing the Shipboard System for the Atmospheric Temperature-Wind Probing

**V. I. Lapshin**  
(GNINGI, RF MoD)

**A. A. Fedorov**  
(HDNO, RF MoD),

*The practical necessity of using the atmospheric temperature-wind probing data in order to solve various problems of hydrometeorological support for the Navy forces and facilities is shown. The possible variants of designing the atmospheric temperature-wind probing systems are considered. The most rational variant of such a shipboard system is proposed.*

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОДВОДНЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ШУМОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПРОГНОЗА ЦУНАМИ**

**К. Г. СТАВРОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*На основе анализа опубликованных работ выполнено сравнение характеристик шумов морской среды различного происхождения. Показана возможность повышения заблаговременности оповещения о возникновении цунами по данным измерений гидроакустических сигналов.*

Современные задачи навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания, освоения морских природных ресурсов, других видов хозяйственной деятельности на шельфе и прибрежных территориях предъявляют все возрастающие требования к знанию параметров физических полей океана и атмосферы, морского дна, разработке моделей учета влияния природной среды на морские объекты, включая, в том числе, опасные и особо опасные гидрометеорологические и геофизические явления.

В число таких явлений входят, в частности, катастрофические волны цунами, одним из основных способов снижения последствий которых является повышение надежности и заблаговременности оповещения об их возникновении.

Таким образом, актуальность разработки методических приемов использования данных наблюдений за параметрами гидрофизических и геофизических полей в морской среде в интересах прогнозирования волн цунами непосредственно связана с задачами обеспечения безопасности жизнедеятельности человека, решения экономических и оборонных задач на море, в особенности в дальневосточных регионах России [1–3].

Известно, что подводные землетрясения, очаги которых расположены близко к поверхности дна и имеют значительные размеры по площади, вызывают вертикальные смещения донных пород, достаточные для возникновения на морской поверхности волн, вызывающих при распространении на мелководье катастрофические волны цунами. При подводных землетрясениях, помимо сейсмических волн в донных породах, возбуждаются низкочастотные акустические колебания в водной толще, которые наблюдаются и регистрируются на значительных расстояниях (от сотен до тысяч километров) от очагов землетрясений [3–6]. Гидроакустические сигналы подводных землетрясений могут использоваться при прогнозировании цунами. В частности, в работе [7] показана возможность использования для оценки цунамигенности подводного землетрясения анализа на наличие характерных признаков временной структуры гидроакустического сигнала.

Однако непосредственное использование таких сигналов в качестве прямых предвестников цунами осложнено наличием помех, создаваемых шумами морской среды (ШМС) от других источников. В связи с этим возникает задача оценки возможных способов выделения подводных сейсмоакустических сигналов на фоне других шумов.

Для оценки возможности решения этой задачи проанализируем результаты ряда экспериментальных и теоретических исследований ШМС [8–13]. В настоящее время принята следующая классификация ШМС:

- динамические, обусловленные приливо-отливными движениями водной толщи, ветровыми волнами, турбулентными потоками в воде и атмосфере, дождями, прибойными движениями и т. п.;
- шумы от морских судов и прибрежных технических сооружений;
- сейсмические, к которым помимо сигналов, вызванных тектоническими сдвигами (землетрясениями), относят также сигналы, обусловленные вулканической деятельностью и распространением цунами;
- подледные, обусловленные процессами образования и динамикой ледового покрова, а также взаимодействием ветра и подводных течений с неровностями ледового покрова;
- биологические;
- тепловые.

На интенсивность помех, вызываемых ШМС, в общем виде влияют:

- гидрометеорологические параметры (сила ветра, состояние поверхности моря, характеристики подводного звукового канала (ПЗК));
- изменчивость параметров морской среды во времени (в частности, наличие ледового покрова);
- близость судоходных трасс к району наблюдений;
- глубины размещения и технические характеристики измерительной аппаратуры (направленность датчиков, разрешающая способность и т. д.).

Известно [8, 13], что интенсивность спектральных характеристик суммарных шумов убывает с ростом частоты. Максимальные значения ШМС регистрируются в инфразвуковом диапазоне ( $f \sim 1\text{--}10$  Гц) и могут достигать 100–120 дБ. В мелководных районах шумы обычно на 10–20 дБ выше, чем в глубоководных.

В диапазоне низких звуковых частот (от 10 до 300 Гц) преобладают относительно когерентные шумы судоходства [10], интенсивность которых может достигать 70 дБ и более, при этом участок спектра с максимальными сигналами может сдвигаться с увеличением глубины (от частот  $f = 50\text{--}100$  Гц для мелководных районов до  $f = 20\text{--}80$  Гц – для глубоководных).

Для более высоких частот суммарная интенсивность ШМС определяется в основном скоростью ветра. В диапазоне 1–10 кГц уровень ШМС может значительно увеличиться (до 55 дБ) за счет шумов интенсивных дождей [11].

В целом характеристики ШМС [12] сохраняют стационарность для реализаций продолжительностью от 10–20 с до 3–5 минут.

Анализ вертикальной изменчивости ШМС [13–15] показывает, что для частот менее 200 Гц наблюдается тенденция повышения интенсивности на 3–5 дБ вблизи оси подводного звукового канала (ПЗК) по сравнению с данными измерений вблизи дна. На более высоких частотах эта зависимость может изменяться на обратную. В частности, в работе [15] отмечено, что при регистрации сигналов на частотах от 200 до 600 Гц в мелком море (глубины менее 120 м) вблизи оси ПЗК наблюдаются минимальные значения интенсивности ШМС.

Суммарные ШМС обладают анизотропией как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. При измерениях направленными гидроакустическими датчиками вариаций шумов [9, 13] в азимутальной плоскости отмечалось повышение уровней интенсивности акустического сигнала на 4–5 дБ по направлениям на удаленные (на расстояние более  $10^3$  км) шторма и районы интенсивного судоходства. Для полей гидродинамических источников, относительно близких к точке наблюдений (до  $10^2$  км), наибольшая интенсивность наблюдалась с направлений, перпендикулярных к распространению волнения моря.

Таким образом, ШМС регистрируются в достаточно широком диапазоне частот, в их спектре могут наблюдаться достаточно длительные сигналы квазикогерентного характера.

Для выявления гидроакустических сигналов сейсмического происхождения важно то, что их источники расположены в толще океанической коры, и в обычных условиях акустические волны, возбуждаемые ими, под любыми углами скольжения должны обязательно многократно отразиться от дна и относительно быстро затухнуть, так как прямой «захват» их волноводом ПЗК маловероятен.

В то же время известно, что сейсмоакустические сигналы в море уверенно регистрируются на расстояниях более 1000 км от очагов землетрясений, что указывает на распространение этих сигналов в ПЗК без потерь энергии в грунт. В работе [5] отмечено, что такое явление возможно только при наличии физических механизмов, обеспечивающих «захват» гидроакустических волн вблизи места их генерации, после чего они распространяются уже волноводным путем.

Возможные механизмы такого захвата связаны с такими явлениями, как:

- трансформация сейсмических волн в акустические на протяженном островном склоне [3];
- рассеяние акустических волн на взволнованной поверхности [5];
- рассеяние акустических волн на случайных объемных неоднородностях водной толщи (флуктуациях показателя преломления) [6] и др.

Наиболее распространенными источниками сейсмоакустического шума являются сейсмические колебания малых амплитуд, которые занимают в

основном спектр частот от 0,1 до 25–30 Гц. Вблизи эпицентра землетрясения (на расстоянии до 15–20 км) основная частота сигналов лежит в диапазоне от 20 до 30 Гц, уменьшаясь до 7–10 Гц с удалением до 100–150 км [12]. В работах [3, 5] отмечается, что сигналы сейсмического происхождения могут регистрироваться и на более высоких частотах (50–80 Гц и выше). В общем случае величина амплитуд давления сейсмоакустических сигналов зависит от величины вызвавшего сигнал вертикального смещения дна, определяемого скоростью смещения и длительностью импульса сейсмического толчка; волнового сопротивления вод, которое определяется произведением плотности воды на скорость звука; углом преломления акустической волны, вышедшей из дна в воду, а также удалением горизонта наблюдений от дна.

В качестве модели источника сейсмоакустических волн в работе [5] принят вертикальный сдвиг кругового участка дна (радиуса  $\sim 1$  км) со скоростью  $v_0 = 1$  м/с за время  $\tau_0 = 0,1$  сек. Расчеты показали, что в этом случае на расстоянии порядка 1000 км от эпицентра сигнал на частоте 105 Гц может достигать на горизонте наблюдений  $z = 100$  м величины 93 дБ, что незначительно превышает средний уровень шумов от других источников в этом диапазоне.

Для оценки возможности уверенного выявления сигналов сейсмического происхождения на фоне других ШМС рассмотрим механизмы взаимодействия звуковых волн в водной среде, подробно описанные в работе [16].

Интенсивные звуковые волны в воде вследствие нелинейных эффектов взаимодействуют между собой. В обычных условиях явление волновой дисперсии практически отсутствует, и волны близких частот в квадратичном приближении эффективно взаимодействуют только при коллинеарном распространении, когда выполняются условия синхронизма. Однако при взаимодействии волн, сильно различающихся по частоте, например, если интенсивный высокочастотный звуковой пучок распространяется в среде, возмущенной низкочастотной волной (например, сейсмического происхождения), возможен эффект модуляции высокочастотного пучка, степень которой будет зависеть от величины нелинейного параметра водной среды и угла между векторами распространения волн. При этом возможно взаимодействие комбинационных тонов с высокочастотной волной, приводящее к генерации рассеянной волны, распространяющейся в направлении низкочастотной волны.

Таким образом, поскольку сильные сейсмические возмущения обычно локализованы во времени и пространстве, то появляется возможность детектирования комбинационных сигналов, связанных с сейсмоактивностью, по модуляционным характеристикам более высокочастотных акустических шумов моря.

В работе [16] исследован механизм рассеяния плоской гармонической волны частоты  $\omega_s$  на ограниченном в пространстве волновом пакете с частотой заполнения  $\omega_0$ . Показано, что частота излучаемой волны  $\omega_D$  зависит

от угла  $\theta$  между направлениями распространения взаимодействующих волн (определяемыми волновыми векторами соответственно  $k_S$  и  $k_o$ ) и угла  $\psi$ , под которым распространяется рассеянная волна. При равенстве (по модулю) скорости распространения волнового пакета и плоской волны частота  $\omega_D = \omega_S (1 - \cos\theta) / (1 - \cos\psi)$ .

Как известно [15], режим резонансного рассеяния осуществляется при коллинеарном распространении взаимодействующих волн ( $\theta = 0$ ,  $\psi = 0$ ), а также при рассеянии под углом  $\psi_R$ , определяемым из выражения  $\cos\psi_R = (k_o + k_S \cos\theta) / (k_o + k_S)$ .

В интересующем нас случае ( $\omega_0 \gg \omega_S$ ) и следовательно  $\psi_R \cong 0$ .

В результате анализа уравнений для амплитуды рассеянной волны, проведенного в работе [15], выявлено, что эта амплитуда возрастает с увеличением радиуса пучка волнового пакета и длины области взаимодействия волн (длины пакета), а также параметра нелинейности среды, например, при повышенном содержании газовой компоненты в воде.

Таким образом, амплитуда рассеянной волны определяется взаимодействием первичных волн на длине пакета, а ее частота зависит от взаимной ориентации волновых векторов рассеиваемой волны и волнового пакета. Последнее обстоятельство открывает возможность определения прихода акустической волны сейсмического происхождения по величине сдвига частоты рассеянного излучения.

В аспекте аппаратной реализации рассмотренных эффектов представляет интерес показанная в работах [17–19] возможность регистрации низкочастотных волн с помощью искусственно возбуждаемых высокочастотных волн накачки. Отметим, что, хотя даже при коллинеарном распространении исследуемой волны и волны накачки интенсивность рассеянной волны в обычных условиях невелика (порядка  $10^{-5}$  от исходной величины), данный эффект успешно реализован при создании параметрических приемников звука и устройств диагностики нелинейного параметра среды [19].

В заключение можно сформулировать следующие методические рекомендации по использованию рассмотренных эффектов в системах предупреждения о возникновении катастрофических волн цунами.

При расположении гидроакустических приемников в ближней зоне (на незначительном удалении от очага землетрясения) целесообразно проводить анализ низкочастотных составляющих рассеянного сигнала, т. к. угол  $\theta$  велик, а в качестве опорных квазигармонических высокочастотных сигналов могут использоваться, например, шумы судоходства, обладающие, как отмечалось выше, направленностью в горизонтальной плоскости.

В дальней зоне, когда сейсмоакустические волны распространяются в ПЗК, возможно их взаимодействие с шумами других источников по коллинеарному типу, и, следовательно, момент их появления и направление

прихода могут быть выявлены путем узкополосной фильтрации и спектрального анализа волн на комбинационных частотах.

В обоих случаях надежность регистрации низкочастотных сигналов сейсмического происхождения, а, следовательно, и оперативность оповещения о возможности возникновения цунами, могут быть значительно повышены при использовании в измерительных системах дополнительных источников высокочастотных сигналов акустической накачки.

При этом возможно значительное увеличение наблюдаемого сигнала при возрастании нелинейности водной среды. Такой эффект может наблюдаться, например, вблизи тектонических разломов при повышении содержания в водной среде газов, выделяющихся в результате сейсмической активности, предшествующей землетрясению.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев С. Л. Проблема цунами и ее значение для Камчатки и Курильских островов // Проблема цунами. – М.: Наука, 1968. – С. 7–50.
2. Oparin A. B., Stavrov K. G. Tsunami – Hazard Influence on Navigation Safety // International Tsunami Workshop «Tsunami Risk Assessment Beyond 2000: Theory, Practice and Plans». Abstracts. – Moscow, 2000. – P. 59.
3. Кадьков И. Ф. Акустика подводных землетрясений. – М.: Наука, 1986. – 125 с.
4. Okal E. A. Seismic parameters controlling far-field tsunami amplitudes: a review // Nat. Hazards. – 1988. – I. – P. 69–96.
5. Лысанов Ю. П. Захват подводным звуковым каналом гидроакустических волн, генерируемых при подводных землетрясениях в глубоком океане // Акуст. журн. – 1997. – Т. 43. – №1. – С. 92–97.
6. Rok V. E. Far propagation of hydroacoustic precursors of underwater earthquake // Proc. of the IUGG/IOC Internat. Tsunami Symposium, – Wakayama, 1993. – P. 237–243.
7. Авилон К. В. О возможном прогнозе цунамигенности подводного землетрясения по временной структуре Т-фазы его сигнала // Материалы VI международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». Ч. 2. – М.: ИО РАН, 2000. – С. 43–9.
8. Сухаревский Ю. М. Статистика основных акустических параметров глубоководных районов океана и вероятная дальность действия гидроакустических систем // Акуст. журн. – 1995. – Т. 41. – №5. – С. 848–864.
9. Шмарфельд Б., Раух Д. Низкочастотные окружающие шумы и шумы, производимые судном, в мелкой воде // Акустика дна– океана / Под ред. У. Купермана и Ф. Енсена, пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 460с.
10. Ильичев В. И. Исследование поля акустического шума океана векторно-фазовыми методами // Акустика океанской среды / Под ред. Л. М. Бреховских. – М.: Наука, 1989. – С. 140–152.
11. Акустика в океане / Под ред. Л. М. Бреховских, И. Б. Андреевой. – М.: Наука, 1992. – 229 с.
12. Аредов А. А., Дронов Г. М., Охрименко Н. Н., Фурдуев А. В. Экспериментальные оценки стационарности подводных шумов океана // Акуст. журн. – 1994. – Т. 40. – №3. – С. 357–361.
13. Справочник по гидроакустике / А. П. Евтютов, А. Е. Колесников, Е. А. Корепин и др. – 2-е изд. – Л.: Судостроение, 1988. – 552 с.
14. Курьянов Б. М., Моисеев А. А. Исследование глубинной зависимости низкочастотных шумов океана с помощью буя управляемой плавучести // Акуст. журн. – 1994. – Т. 40. – №3. – С. 487–488.
15. Деревянкина Е. И., Кацнельсон Б. Г., Любченко А. Ю. Вертикальная структура интенсивности низкочастотного шумового поля мелкого моря // Акуст. журн. – 1994. – Т. 40. – №3. – С. 380–384.

16. Наугольных К. А., Рыбак С. А. О возможности диагностики среды на основе эффектов взаимодействия звуковых волн // Акустика в океане / Под ред. Л. М. Бреховских, И. Б. Андреевой. – М.: Наука, 1992. – С. 147–154.
17. Зверев В. А., Калачев В. И. Модуляция звука звуком при пересечении акустических волн // Акуст. журн. – 1970. – Т. 16. – №2. – С. 245–251.
18. Донской В. М., Сутин А. М. Параметрический прием акустических сигналов в неоднородных средах // Акуст. журн. – 1981. – Т. 27. – №6. – С. 876–881.
19. Jchida N., Sato T., Niwa H., Muzakami K. Real-time nonlinear parametric tomography using impulsive pumping waves // JEEE Transaction on sonics and ultrasonics. – 1984. – Vol.S434. N 6. – P. 635–641.

Estimate of Possibility to Discriminate the Submarine Seismoacoustic Signals against the Background of the Marine Environment Noise for Tsunami Forecasts

**K. G. Stavrov**

**(GNINGI, RF MoD)**

*Based on the analysis of publications, the characteristics of the marine environment noise of different origin have been compared. The possibility to provide the advanced tsunami warning, using the data of hydroacoustic signals measurement, is shown.*

ГРНТИ 37.25.19

### **БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ЦИРКУЛЯЦИЯ ВОД В ЧУКОТСКОМ МОРЕ**

**Б. И. СИРЕНКО**

(Зоологический институт РАН),

**И. В. ЛАВРЕНОВ**

(Государственный научный центр РФ Арктический  
и антарктический научно-исследовательский  
институт Росгидромета; ГНИГНИ МО РФ)

*Приводится описание результатов экспедиционных исследований, полученных в российско-американской экспедиции в Беринговом и Чукотском морях с 23 июля по 5 сентября 2004 г. по программе «РУСАЛКА» (THE JOINT RUSSIAN-AMERICAN LONG-TERM CENSUS OF THE ARCTIC (RUSALCA)). Впервые в Чукотском море найдены чрезвычайно высокие биомассы донных беспозвоночных, превышающие  $4 \text{ кг/м}^2$ , что превосходит все до сих пор известные данные по сообществам мягких грунтов не только Северного Ледовитого, но и Тихого океанов. Показано, что существование столь богатых донных сообществ в юго-западной части Чукотского моря может быть результатом вихревых циркуляций, зарождающихся в Чукотском море к западу от Берингова пролива. Эти циркуляции концентрируют биогенные вещества, фито- и зоопланктон, а донные сообщества, потребляя богатый планктон и сестон, аккумулируют в своей биомассе органику.*

### **Введение**

Чукотское море, находящееся на стыке Тихого и Северного Ледовитого океанов, испытывает на себе влияние не только этих двух океанов, но и Атлантического океана, ослабевшие теплые воды которого доходят до моря. Влияние Атлантического океана, наиболее значительно отражающееся на

фауне Баренцева моря, постепенно слабеет в восточном направлении, что хорошо иллюстрируется обеднением видового состава беспозвоночных Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей (рис. 1). В Чукотском море число видов вновь увеличивается за счет проникновения в него тихоокеанских видов через Берингов пролив.

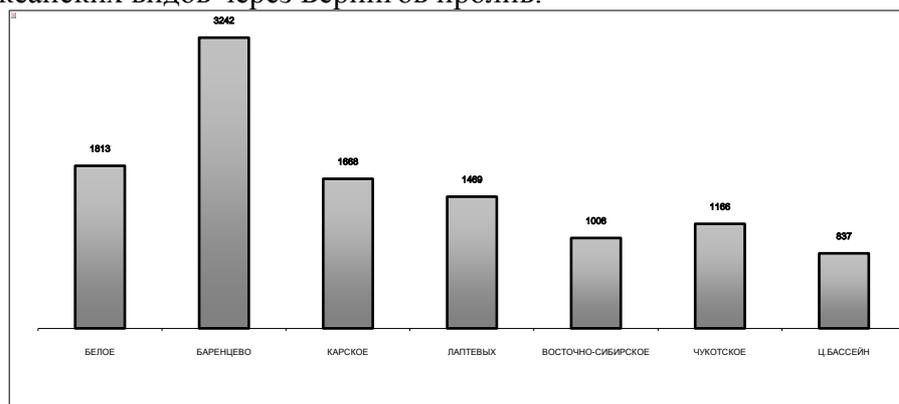


Рис. 1. Видовой состав беспозвоночных российских морей Арктики

Чукотское море, относящееся к Арктическому бассейну, находится в той зоне Мирового океана, где восстановление прежнего состояния нарушенных сообществ происходит крайне медленно из-за низких температур, что в свою очередь требует более бережного отношения к природе. В современных условиях увеличение опасности загрязнения среды при неконтролируемом выбросе нефти и газа при разведочном бурении и особенно при авариях, связанных с транспортировкой нефти, ставят перед учеными задачу определения размеров ущерба, который при этом наносится природе. Во всех таких случаях квалифицированная оценка может быть проведена только при наличии точных знаний видового состава сообществ и характера распределения всех видов животных и растений на интересующей акватории.

Несмотря на довольно продолжительный период исследований, начавшийся с 1878 г., когда были взяты первые биологические пробы шведской экспедицией на судне «Вега», Чукотское море до сих пор слабо изучено и продолжает удивлять исследователей своими тайнами. В 1879 г. «Вега» вынуждена была стать на вторую зимовку, в течение которой также собирался зоологический материал. Всего участниками шведской экспедиции были собраны биологические пробы на 13 станциях. Следующей крупной экспедицией была гидрографическая экспедиция в район Северного Ледовитого океана на судах «Таймыр» и «Вайгач», проработавшая в Чукотском море 5 лет (с 1910 по 1914 гг.). Более 50 траловых проб, собранных этой экспедицией на шельфе Чукотского моря, существенно дополнили наши знания о его фауне. Небольшой материал в Чукотском море был собран двумя иностранными экспедициями: Канадской арктической экспедицией в 1913 г. в восточной части Чукотского моря и норвежской экспедицией на судне

«Maud» в 1922 году севернее о-ва Врангеля. В 1929 г. биологи на ледорезе «Ф. Литке» собрали более 50 траловых проб в юго-западной и центральной частях моря.

Следующими экспедициями, охватившими своими исследованиями довольно большую акваторию в южной и центральной частях моря были экспедиции на рыболовецких траулерах «Дальневосточник» (1932 г.) и «Красноармеец» (1933 г.). Примечательной особенностью последних трех экспедиций был отбор проб не только тралами и драгами, как во всех предыдущих экспедициях, но и количественным орудием лова – дночерпателем. Двадцать пять количественных проб позволили исследователям выделить доминирующие виды и группы организмов и выяснить количественные характеристики донных сообществ [1]. Аналогичные сборы (15 качественных и 34 количественных), но уже в проливе Лонга у о-ва Врангеля и севернее его, провели ученые на ледоколе «Красин» в 1935 г. Эти материалы легли в основу статьи П. В. Ушакова [2] о донной фауне Чукотского моря. Экспедиция 1938 г. на судне «Охотск», собравшая качественный материал тралом на восьми станциях на разрезе от мыса Сердце Камень до мыса Лисбурн, завершает основные довоенные сборы в Чукотском море.

После значительного перерыва, вызванного войной и послевоенными трудностями, в 1976 г. сотрудники Зоологического института РАН возобновляют биологические исследования в Чукотском море. С помощью водолазного количественного метода были собраны материалы у мыса Шмидта и в прибрежной полосе вокруг южной и восточной частей о-ва Врангель (более 100 проб) [3, 4]. Исследования Чукотского моря были продолжены только через 12 лет, когда в ходе советско-американской экспедиции по программе BERPAC на НИС «Академик Королев» было взято 43 дночерпательных и 18 траловых проб в южной части Чукотского моря [5]. Следующая экспедиция Зоологического института РАН на гидрографическом судне «Дмитрий Лаптев» состоялась в 1989 г. Использованный водолазный количественный метод и традиционная судовая методика сбора с помощью тралов и дночерпателей существенно дополняют сборы предыдущей экспедиции в центральной и западной частях Чукотского моря, а также в Колючинской губе и на банке Геральд [6, 7]. В 1995 г. в ходе российско-американской экспедиции на судне «Alpha Helix» на 18 станциях в южной части моря был собран дночерпательный материал, поступивший на обработку в Зоологический институт РАН. Небольшой материал (4 дночерпательных пробы) был собран в проливе Лонга участником экспедиции на гидрографическом судне «Георгий Максимов» С. Ю. Гагаевым в 1990 г.

Совместные исследования российских и американских ученых, начатые в конце 80-х годов (программа «BERPAK») [8, 5] успешно продолжаются в наше время по программе «RUSALKA». В 2004 г. на НИС «Профессор Хромов» были проведены работы в Беринговом проливе и в южной части

Чукотского моря (51 дночерпательная проба на 17 станциях). Эти работы позволили получить целый ряд новых данных по закономерностям распределения фауны в исследованных районах Чукотского и Берингова морей (см. рис. 3, 6 в статье [9]). Некоторые из них будут обсуждаться в настоящей статье.

## Исследования биологической продуктивности в Чукотском море

### 1.1 Результаты экспедиции «РУСАЛКА-2004»

Исследования, проведенные в 2004 г. в ходе экспедиции по российско-американской программе «РУСАЛКА», показали существенные различия в составе фауны и в ее количественных характеристиках для западного и восточного районов южной части Чукотского моря. На востоке у берегов Аляски на станциях 18 и 17 на глубинах 39–51,2 м в зоне прибрежных вод Аляски животные представлены в основном фильтраторами (полихетами *Nephtys ciliata* и другими, а также асцидиями *Cheliosoma orientalis*) с относительно низкой биомассой 86,3–248,8 г/м<sup>2</sup> (табл. 1).

В то же время в центральном районе на глубинах 49–57,5 м в зоне действия вод Берингоморского шельфа и в западном – в зоне действия вод Анадырского залива и прибрежных вод из Восточно-Сибирского моря – доминирующие виды бентоса представлены в основном собирателями детритофагами, и биомасса их была на порядок выше, достигая нередко 1000 и более грамм на 1 м<sup>2</sup> (станции 11, 13, 15, 22, 24, 25). Причем на станции 13 все три дночерпателя принесли невероятно большое число двустворчатых моллюсков (в среднем более 800 экз/м<sup>2</sup>) при очень высокой биомассе (более 4 кг/м<sup>2</sup>). Материалы перечисленных выше станций, сделанных в юго-восточной части Чукотского моря, подтвердили наличие высокопродуктивного сообщества с доминированием двустворчатых моллюсков рода *Macoma* (*M. calcareo*). Именно эти моллюски дают основную биомассу в исследованном районе. В качестве субдоминантных там можно отметить другие виды двустворчатых моллюсков (*Yoldia hyperborea* и *Leionucula tenuis*) и бокоплавов (*Ampelisca* sp.).

На краях сообщества с отчетливым доминированием макомы на глубинах 35,7–56,4 м расположены участки (станции 20, 23 и 27) с доминированием двустворчатых моллюсков *Leionucula tenuis*, змеехвосток *Ophiura sarsi* и бокоплавов *Gammaroidea*. Биомасса на этих станциях колеблется от 12,2 до 612,8 г/м<sup>2</sup>.

Северный разрез (станции 58В, 62В, 73В, 85В, 106 и 107), выполненный в основном во впадине Геральда и рядом с ней на глубинах от 40,1 до 104,2 м, выявил доминирование многощетинковых червей (*Maldane sarsi*, *Nicomache lumbricalis*, *Nephtys ciliata*), змеехвосток (*Ophiura sarsi*) и сипункулид (*Golfingia margaritacea*) при биомассах от 102 до 380 г/м<sup>2</sup>. На станции 62В на глубине 69,7 м неожиданным оказалось наличие сообщества с богатой

эпифауной, состоящей из губок, альционарий, актиний и мшанок, поселяющихся на гальке и конкрециях. Несмотря на обилие эпибентоса, и на этой станции доминировали по биомассе представители инфауны: многощетинковые черви и сипункулиды.

На северном разрезе на двух станциях 85В и 107 на глубинах 40–103 м на илистом грунте благодаря использованию подводного телевидения впервые для Чукотского моря отмечены цериантарии *Cerianthus* sp., которые нередко располагались агрегациями до 3–4 экз/м<sup>2</sup>.

Траловые пробы на станции 17 у берегов Аляски принесли с глубины около 40 м довольно богатую эпифауну. Среди обычных для Чукотского моря звезд, офиур *Gorgonocephalus caryi*, раков отшельников, крабов (*Chionocoetes opilio* и *Hyas coarctatus*) и других представителей эпибентоса там оказались представители трех необычных относительно тепловодных тихоокеанских видов: двустворчатые моллюски *Pododesmus macrochisma* (2 экземпляра), крабы *Oregonia gracilis* (1 экземпляр) и *Telmessus cheiragonus* (3 экземпляра). Первые два вида впервые собраны в Чукотском море, а для пятиугольного волосатого краба *T. cheiragonus* это четвертая для Чукотского моря и самая северная находка.

### 1.2 Анализ результатов

Сравнение данных, полученных в 2004 г., с результатами более ранних экспедиций (на рыболовецком траулере «Красноармеец» в 1933 г. [1], на ледоколе «Красин» в 1935 г. [2], на научно-исследовательском судне «Академик Королев» в 1988 г. [5], на гидрографических судах «Дмитрий Лаптев» в 1989 г. и «Георгий Максимов» в 1990 г.) позволяют сделать некоторые заключения о характере распределения донных сообществ на шельфе Чукотского моря и об их динамике за период с 1933 по 2004 гг. (рис. 2–4).

Западный и центральный районы южной части Чукотского моря на северо-восток от мыса Сердце Камень в течение всего наблюдаемого периода с 1933 по 2004 гг. стабильно занимает сообщество собирателей – детритофагов, в котором доминируют по биомассе двустворчатые моллюски *Macoma calcareo*. На большинстве станций степень доминирования макомы превышает 60–70 %, что свидетельствует об устойчивости сообщества.

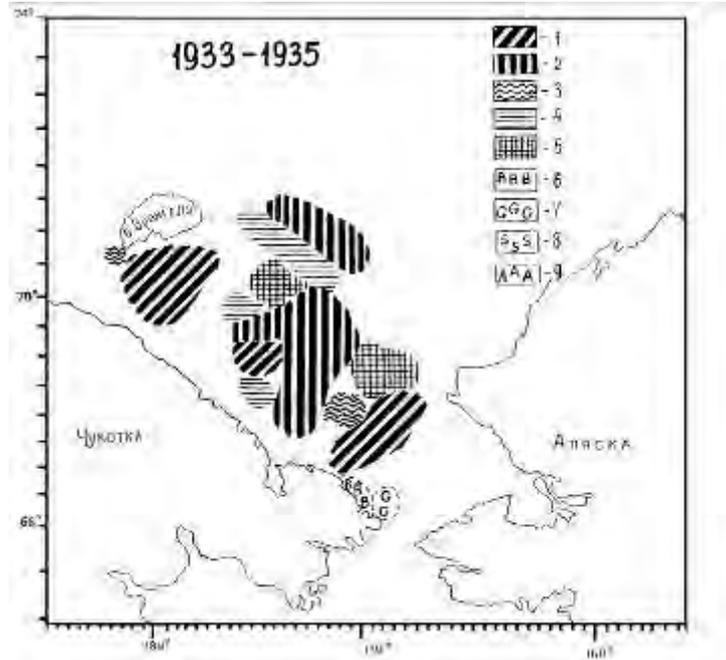


Рис. 2. Распределения донных сообществ на шельфе Чукотского моря по данным экспедиций на рыболовецком траулере «Красноармеец» (1933) и ледоколе «Красин» (1935). 1 – *Macoma calcarea*, 2 – *Nuculana radiata*, 3 – *Leionucula tenuis*, 4 – *Polychaeta*, 5 – *Ophiuroidea*, 6 – *Balanus crenatus*, 7 – *Gammaroidea*, 8 – *Serripes groenlandicus*, 9 – *Astarte borealis*

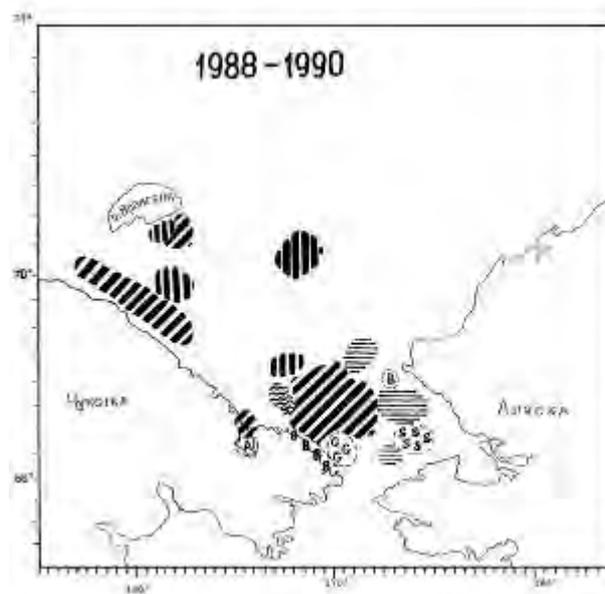


Рис. 3. Распределение донных сообществ на шельфе Чукотского моря по данным экспедиций на научно-исследовательском судне «Академик Королев» (1988), гидрографических судах «Дмитрий Лаптев» (1989) и «Георгий Максимов» (1990). Условные обозначения см. на рис. 2.

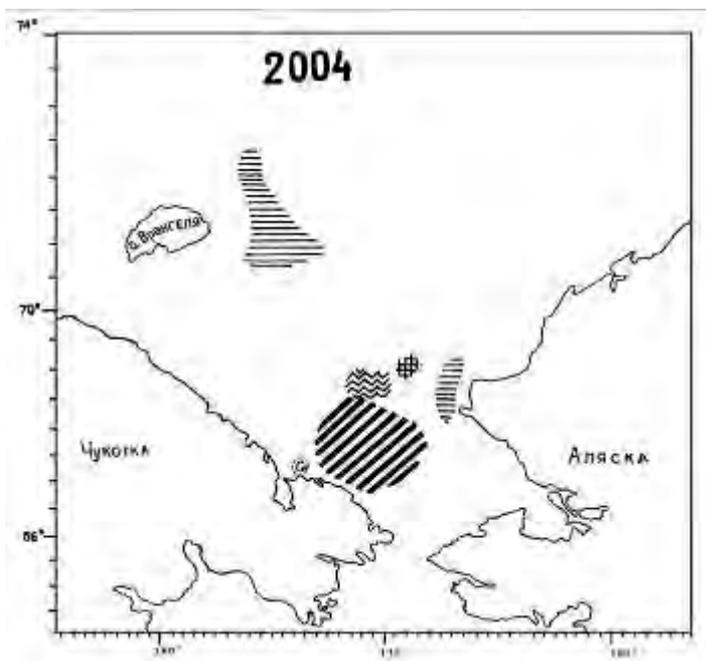


Рис. 4. Распределение донных сообществ на шельфе Чукотского моря по данным экспедиции на научно-исследовательском судне «Профессор Хромов» (2004). Условные обозначения см. на рис. 2.

В 1933 г. биомасса бентоса на 5 станциях в сообществах макомы южной части моря была от 68,0 до 1033 г/м<sup>2</sup> (в среднем 306 г/м<sup>2</sup>). В 1988 г. биомасса бентоса на 8 станциях того же сообщества была от 511 до 2062 г/м<sup>2</sup> (в среднем 1046 г/м<sup>2</sup>). В 2004 г. биомасса бентоса на 6 станциях того же сообщества была от 260 до 4231,7 г/м<sup>2</sup> (в среднем 1382 г/м<sup>2</sup>). Как видно из этих сравнений, биомасса сообществ макомы в 30-х годах прошлого столетия была в 3–4 раза ниже, чем в конце 80-х гг и в начале XXI столетия. С северо-западной стороны к сообществу макомы плотно примыкают несколько сообществ, где доминируют двустворчатые моллюски *Leionucula tenuis* и *Nuculana radiata*, а также офиуры. С юга, у берегов Чукотки и со стороны Берингова пролива сообщество макомы подпирают два сообщества: усногих раков *Balanus crenatus* и бокоплавов *Gammaroidea*. Далее, на северо-запад от сообщества макомы биомасса на всех станциях заметно падает, несмотря на то, что сообщество макомы на отдельных участках встречаются и там вплоть до острова Врангеля.

Такая высокая биомасса, достигающая до 4 кг/м<sup>2</sup> и более, характерна только для южного сообщества макомы, расположенного на северо-запад от мыса Сердце Камень.

Совсем другая картина состава распределения сообществ в восточном районе южной части Чукотского моря. Здесь доминируют фильтраторы: двустворчатые моллюски *Serripes groenlandicus*, морские желуди *Balanus crenatus* и разные виды многощетинковых червей, а также асцидии. Биомасса

в восточном районе ниже, чем в западном в сообществе макамы, и колеблется от 67 до 349 г/м<sup>2</sup>. Только в поселениях морских желудей *Balanus crenatus* биомасса поднимается до 969 г/м<sup>2</sup>.

На севере Чукотского моря на немногочисленных станциях доминируют в основном полихеты и сипункулиды при биомассах от 102,5 до 380 г/м<sup>2</sup>.

Таблица 1

**Донные биоценозы Чукотского моря и их количественные характеристики  
(по результатам экспедиции на НИС «Профессор Хромов»)**

Станция	Глубина, м	Численность	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Сообщество
11	42,9	306	1291,2	<i>Yoldia hyperborea</i> + <i>Macoma calcaria</i> + + <i>Leionucula tenuis</i> +(Ampelisca sp.)
13	51,4	819	4231,7	<i>M. calcaria</i>
15	57,6	167	1081,7	<i>M. calcaria</i>
17	39,0	310	248,8	<i>Cheliosoma orientalis</i> + <i>Nephtys ciliata</i>
18	51,2	60	86,3	<i>Polychaeta varia</i>
20	54,2	320	156,1	<i>Ophiura sarsi</i> + <i>Nephtys</i> spp.
22	57,5	640	260	<i>M. calcaria</i> + <i>L. tenuis</i>
23	56,4	1350	612,8	<i>L. tenuis</i>
24	57,0	350	491,4	<i>M. calcaria</i>
25	49,0	1150	934,6	<i>M. calcaria</i> + <i>Y. hyperborea</i>
27	35,7	680	12,2	Gammaroidea+ <i>Polychaeta</i>
106	71,8	110	116,9	<i>Maldane sarsi</i> + <i>O. sarsi</i>
85B	104,2	340	231,4	<i>M. sarsi</i> + <i>Astarta borealis</i> + <i>Ct. crispatus</i>
73B	71,1	550	380	<i>M. sarsi</i>
62B	69,7	510	343,1	<i>Golfingia margaritacea</i> + <i>Nicomache lumbricalis</i>
58B	58,5	170	134,6	<i>N. ciliata</i> + <i>M. sarsi</i> + <i>Actinaria</i>
107	40,1	300	102,5	<i>N. ciliata</i> + <i>M. sarsi</i> + <i>G. margaritacea</i>

Участок, занимаемый сообществом *Macoma calcaria* в южной части Чукотского моря, располагается примерно в пределах координат от 66°50 N до 68°20 N и от 168°20 W до 173°00 W. Площадь этого участка приблизительно равна 50 000 км<sup>2</sup>. Если принять за основу среднюю биомассу около 1000 г/м<sup>2</sup> (что ниже средних значений биомасс по нашим расчетам за 1988 и 2004 гг.), то общие запасы бентоса в этом участке будут примерно равны 50 000 000 т. Основу этих запасов составляют моллюски и в первую очередь *Macoma calcaria*. Следует отметить, что такие высокие значения биомассы (на ст. 13 свыше 4 000 г/м<sup>2</sup>), которые характерны для сообщества макамы, являются крайне редкими для бентосных сообществ, обитающих на мягких грунтах даже в умеренных зонах Мирового океана, а для Арктики отмечаются впервые.

Очевидно, именно эти большие запасы двустворчатых моллюсков привлекают сюда моржей. Тихоокеанский морж *Odobenus rosmarus divergens* питается преимущественно моллюсками, среди которых макома занимает первое [10] или одно из первых мест [11]. Ежегодно во время сезонных

миграций огромные стада тихоокеанских моржей перемещаются весной и в начале лета из Тихого океана вдоль северного побережья Чукотки в сторону пролива Лонга и о-ва Врангеля, а осенью обратно. Во время этих миграций моржи делают длительные остановки на так называемых временных регулярных лежбищах у мыса Сердце Камень и соседних с мысом районах как раз напротив участков, занятых сообществами моллюсков. Здесь, по-видимому, звери откармливаются, ныряя за моллюсками на глубину до 50 и более метров [12].

Находки относительно тепловодных тихоокеанских вселенцев (крабов *Telmessus cheiragonus* и *Oregonia gracilis* и двустворчатых моллюсков *Pododesmus macrochisma*) свидетельствуют, по-видимому, о продолжающемся потеплении в Чукотском море, о чем по материалам, собранным в начале прошлого столетия, писал П. В. Ушаков [2]. Следует отметить, что если для двух последних видов *Oregonia gracilis* и *Pododesmus macrochisma* это была первая находка в Чукотском море, то для крабов *Telmessus cheiragonus* – четвертая. Впервые этот краб был пойман в Чукотском море на входе в залив Коцебу американским судном «Miller Freeman» в 1976 г. Вторая проба была собрана в 1988 г. в рейсе на научно-исследовательском судне «Академик Королев» на станции 66 также у входа в залив Коцебу. В 1990 г. американские исследователи нашли его уже в самом заливе Коцебу. В третий раз в 2004 г. сразу три экземпляра этого краба попали в трал у мыса Хоп, что значительно севернее первых двух находок.

## 2. Циркуляции вод в Чукотском море

### 2.1 Влияние циркуляции на формирование биологической продуктивности

Возвращаясь к сообществу *Macoma calcaria*, занимающему обширный участок в южной части Чукотского моря, следует отметить его постоянство и стабильность в течение, по крайней мере, последних 70 лет (с 1930-х годов). Столь длительное существование высокопродуктивных бентосных сообществ *Macoma calcaria* в южной части Чукотского моря оказалось возможным, скорее всего, за счет постоянно возникающих в районах северо-западнее Берингова пролива круговоротов, продвигающихся в северо-западном направлении. Самый крупный круговорот, по-видимому, располагается над богатым поселением макомы. В образовании этого круговорота участвуют обогащенные биогенами охлажденные и частично опресненные воды Восточно-Сибирского моря, идущие вдоль Чукотского полуострова из пролива Лонга, а также богатые биогенами охлажденные воды Анадырского залива, поступающие в Чукотское море через восточную часть Берингова пролива. На выходе из Берингова пролива эти два течения сталкиваются и образуются круговороты, продвигающиеся в северо-западном направлении. Эти круговороты являются циклоническими и приводят к подъему со дна вод,

богатых биогенами, на поверхность, что также способствует увеличению первичной продукции. Эти круговороты препятствуют выносу многочисленного личиночного пула донных организмов за пределы их основных поселений, а также удерживают и концентрируют основную пищу бентоса: живой и отмерший фито- и зоопланктон и фекальные массы над донными поселениями. По-видимому, основная масса органики, синтезированная фитопланктоном в юго-западной части Чукотского моря, потребляется бентосом в пределах отмеченного выше сообщества *Macoma calcaria*, где средняя биомасса бентоса превышает  $1000 \text{ г/м}^2$ . В данном случае богатое донное сообщество макомы выступает в роли аккумулятора органики и биогенов. Уходящие на северо-запад круговороты, вероятно, оказываются уже обедненными биогенами и фитопланктоном, а поэтому и биомасса за пределами сообщества макомы заметно падает до  $200\text{-}300 \text{ г/м}^2$ .

В связи с этим представляет большой интерес рассмотрение циркуляции вод в Чукотском море. Основными факторами, определяющими режим течений в Чукотском море, являются атмосферные процессы, водообмен с Северным Ледовитым океаном и Беринговым морем, речной сток и морфометрические особенности бассейна. По происхождению в Чукотском море выделяют ветровые, стоковые, градиентные, плотностные и компенсационные течения. Ветровые течения обусловлены ветром, стоковые – речным стоком, градиентные вызваны перекосом уровня, плотностные – неоднородностью поля плотности воды, компенсационные возникают в глубинных слоях в направлении противоположном поверхностным течениям. Совместное действие этих течений приводит к формированию суммарного течения. Основную роль в формировании режима циркуляции вод играют ветровые течения, что обуславливает достаточно хорошо выраженный сезонный ход течений, связанный с изменением атмосферных процессов.

Отметим, что в настоящее время гидрологический режим Чукотского моря изучен достаточно детально [13–15]. Однако надежных данных, позволяющих дать пространственное распределение скоростей течений в Чукотском море в течении года, явно недостаточно. Поэтому попытается восстановить картину течений на основании численного моделирования.

## 2.2. Описание модели циркуляции воды

В расчетах используется модель, основанная на уравнениях движения вязкой несжимаемой жидкости в приближениях Буссинеска и гидростатики. Модель была разработана И.А. Нееловым [16], ее уравнения с некоторыми модификациями можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -\frac{g}{r \sin \theta} \frac{\partial \zeta}{\partial \lambda} - \frac{g}{\rho_0 r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \lambda} \int_{-z}^0 \rho dz + lv + \frac{\partial}{\partial z} k_m \frac{\partial u}{\partial z} + A \Delta u; \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -\frac{g}{r} \frac{\partial \zeta}{\partial \theta} - \frac{g}{\rho_0 r} \frac{\partial}{\partial \theta} \int_{-z}^0 \rho dz - lu + \frac{\partial}{\partial z} k_m \frac{\partial v}{\partial z} + A \Delta v. \end{aligned} \quad (1)$$

Уравнения переноса тепла и соли имеют вид

$$\frac{\partial(T, S)}{\partial t} + \frac{1}{r \sin \theta} \left[ \frac{\partial u(T, S)}{\partial \lambda} + \frac{\partial v(T, S) \sin \theta}{\partial \theta} \right] + \frac{\partial w(T, S)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ k_{t,s} \frac{\partial(T, S)}{\partial z} + A_{(T,S)} \Delta(T, S) \right]. \quad (2)$$

Уравнение неразрывности:

$$\left[ \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{\partial v \sin \theta}{\partial \theta} \right] \frac{1}{r \sin \theta} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (3)$$

Уравнение гидростатики:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g. \quad (4)$$

Уравнение состояния в форме UNESCO:

$$\rho = f(T, S, P). \quad (5)$$

Здесь:  $\lambda$  – долгота;  $\theta$  – дополнение до широты;  $z$  – вертикальная координата направленная вверх с началом на поверхности моря;  $t$  – время,  $u, v, w$  – компоненты скорости, направленные вдоль осей  $\lambda, \theta, z$ , соответственно;  $\zeta$  – свободная поверхность;  $r$  – радиус Земли;  $g$  – ускорение свободного падения;  $T$  – температура;  $S$  – соленость;  $I = 2\Omega \cos \theta$  – параметр Кориолиса;  $\Delta u = \frac{1}{r^2 \sin \theta} \left[ \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial^2 u}{\partial \lambda^2} \right]$  – Лапласиан;  $\Omega$  – угловая скорость вращения Земли;  $k$  и  $A$  – коэффициенты вертикальной и горизонтальной турбулентной вязкости;  $P$  – давление;  $\rho$  – плотность;  $\rho_0$  – среднее значение плотности.

На поверхности океана задаются компоненты вектора касательного напряжения ветра

$$\tau_u = k\rho_0 \frac{\partial u}{\partial z}, \quad \tau_v = k\rho_0 \frac{\partial v}{\partial z}, \quad (6)$$

потоки тепла и влаги

$$k_{t,s} \frac{\partial(T, S)}{\partial z} = Q_{t,s}, \quad (7)$$

и требуется выполнение кинематического условия

$$w_0 = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{u_0}{r \sin \theta} \frac{\partial \zeta}{\partial \lambda} + \frac{1}{r} v_0 \frac{\partial \zeta}{\partial \theta}. \quad (8)$$

На дне задаются условия отсутствия потоков тепла и влаги

$$k_{t,s} \frac{\partial(T, S)}{\partial z} = 0 \quad (9)$$

и условие обтекания

$$w_H = \frac{u_H}{r \sin \theta} \frac{\partial H}{\partial \lambda} + \frac{1}{r} v_H \frac{\partial H}{\partial \theta}. \quad (10)$$

Компоненты придонного трения задаются по формулам

$$\begin{aligned} \tau_x^H &= -\rho_0 c_H V_H (v_H \sin \alpha + u_H \cos \alpha); \\ \tau_n^H &= -\rho_0 c_H V_H (u_H \cos \alpha - v_H \sin \alpha), \end{aligned} \quad (11)$$

где  $V_H$  – модуль скорости,  $c_H = 0,0026$ ;  $\alpha = 20^\circ$ .

На горизонтальных границах задаются условия непротекания со скольжением:

$$v_n = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial n} \tau = 0, \quad (12)$$

где  $n$  – нормаль к береговой черте;  $v_n, v_\tau$  – нормальная и касательная компоненты вектора скорости.

Также на береговой черте ставятся условия отсутствия потоков тепла и соли:

$$\frac{\partial(T, S)}{\partial n} = 0. \quad (13)$$

Следующее уравнение используется для определения свободной поверхности:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{1}{r \sin \theta} \left( \frac{\partial U}{\partial \lambda} + \frac{\partial V \sin \theta}{\partial \theta} \right); \quad (14)$$

$$U = \int_{-H}^0 u dz; \quad V = \int_{-H}^0 v dz.$$

Это уравнение получено интегрированием уравнения неразрывности (3) от поверхности до дна с учетом граничных условий (8) и (10).

На жидких границах ставятся либо активные граничные условия

$$\zeta^* = \zeta(t, \Gamma); \quad T^* = T(t, \Gamma); \quad S^* = S(t, \Gamma), \quad (15)$$

где  $t$  – время,  $\Gamma$  – координаты жидкой границы; либо радиационные граничные условия.

Простейшая форма – типа Орлански [17]. В настоящей модели используются условия [18], а именно: для прогностической переменной  $\phi$  можно записать:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = c_x \frac{\partial \phi}{\partial x} + c_y \frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad (16)$$

где  $(x, y)$  – нормаль и касательная к жидкой границе, соответственно.

Фазовые скорости  $c_x, c_y$  могут быть вычислены:

$$c_x = - \frac{\frac{\partial \phi}{\partial t} \frac{\partial \phi / \partial x}{\partial^2 \phi / \partial y^2 + \partial^2 \phi / \partial x^2}}{\partial^2 \phi / \partial y^2 + \partial^2 \phi / \partial x^2} \quad (17)$$

и

$$c_y = - \frac{\frac{\partial \phi}{\partial t} \frac{\partial \phi / \partial y}{\partial^2 \phi / \partial y^2 + \partial^2 \phi / \partial x^2}}{\partial^2 \phi / \partial y^2 + \partial^2 \phi / \partial x^2}. \quad (18)$$

Для вычисления граничных условий по формулам (16)–(18), используется неявная схема первого порядка точности.

Для замыкания системы уравнений используется метод аналогичный [19], т. е. решается локальное уравнение баланса турбулентной энергии:

$$\frac{\partial b}{\partial t} = k_m \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \frac{g}{\rho_0} \alpha_p \frac{\partial \rho}{\partial z} \right] - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial z} k_b \frac{\partial b}{\partial z}; \quad (19)$$

где  $b$  – удельная энергия турбулентности;  $\alpha_b, \alpha_p$  – параметры;  $\varepsilon$  – диссипация турбулентной энергии, определяемая гипотезой Колмогорова–Обухова:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= c_\varepsilon b^2 / k_b; \\ k_b &= 0,2 L \sqrt{b}; \\ k_m &= S_{mom} L \sqrt{b}; \\ k_{t,s} &= S_{heat} L \sqrt{b}, \end{aligned} \quad (20)$$

где  $c_\varepsilon = 0,09$ ,  $L$  – масштаб турбулентности, определяемый формулой Монтгомери с учетом стратификации:

$$L = L_0 (1 - \alpha_R R_i), \quad (21)$$

где  $L_0 = \frac{\chi}{H} Z_H Z_\zeta Z_0$ ;

$Z_H$  – расстояние между дном и расчетной точкой;  $Z_\zeta$  – расстояние от этой точки до поверхности;

$\alpha_R \sim 3$ ;

$Z_0 = 1 - \beta_1 H^{-2} Z_H Z_\zeta$ ; (22)

$0 \leq \beta_1 \leq 4$  – параметр срезки ;

$R_i = -\frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} / \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]$ , (23)

где  $R_i$  – число Ричардсона,  $Gh$  – термодинамическая функция числа Ричардсона [15], определяемая следующим образом:

$S_{mom} = \frac{(Sm_1 - Gh \cdot Sm_2)}{(1 - Sm_3 \cdot Gh)(1 - Sm_4 \cdot Gh)}$ , (24)

$S_{heat} = \frac{Sh_1}{1 - Sh_2 \cdot Gh}$ , (25)

где  $(Sh_1, Sh_2) = (0,493928, 34,6764)$ ,

$(Sm_1, Sm_2, Sm_3, Sm_4) = (0,42747, 5,805, 34,6764, 6,1272)$ ,

$Gh = -\frac{L^2 N^2}{b}$ , (26)

$N^2$  – частота Вайсяля – Брента; функция  $Gh$  определена в интервале  $-0,28 < Gh < 0,0233$  .

(27)

### 2.3 Исходные данные и результаты расчетов

В качестве входных данных используются значения атмосферного воздействия с трехчасовым интервалом по данным американского реанализа (поля метеозлементов NCEP/NCAR). Численная сетка охватывает всю акваторию Северного Ледовитого океана и северную Атлантику, пространственный шаг составляет 28 км. В качестве граничных условий для Чукотского моря используются результаты расхода через Берингов пролив.

Результаты моделирования иллюстрируются на рис. 5–7, где приведены соленость и линии тока на горизонте 10 м в Чукотском море. Результаты расчетов показаны для всех месяцев года. Отметим, что в представленной системе координат Берингов пролив расположен в верхней части рисунка.

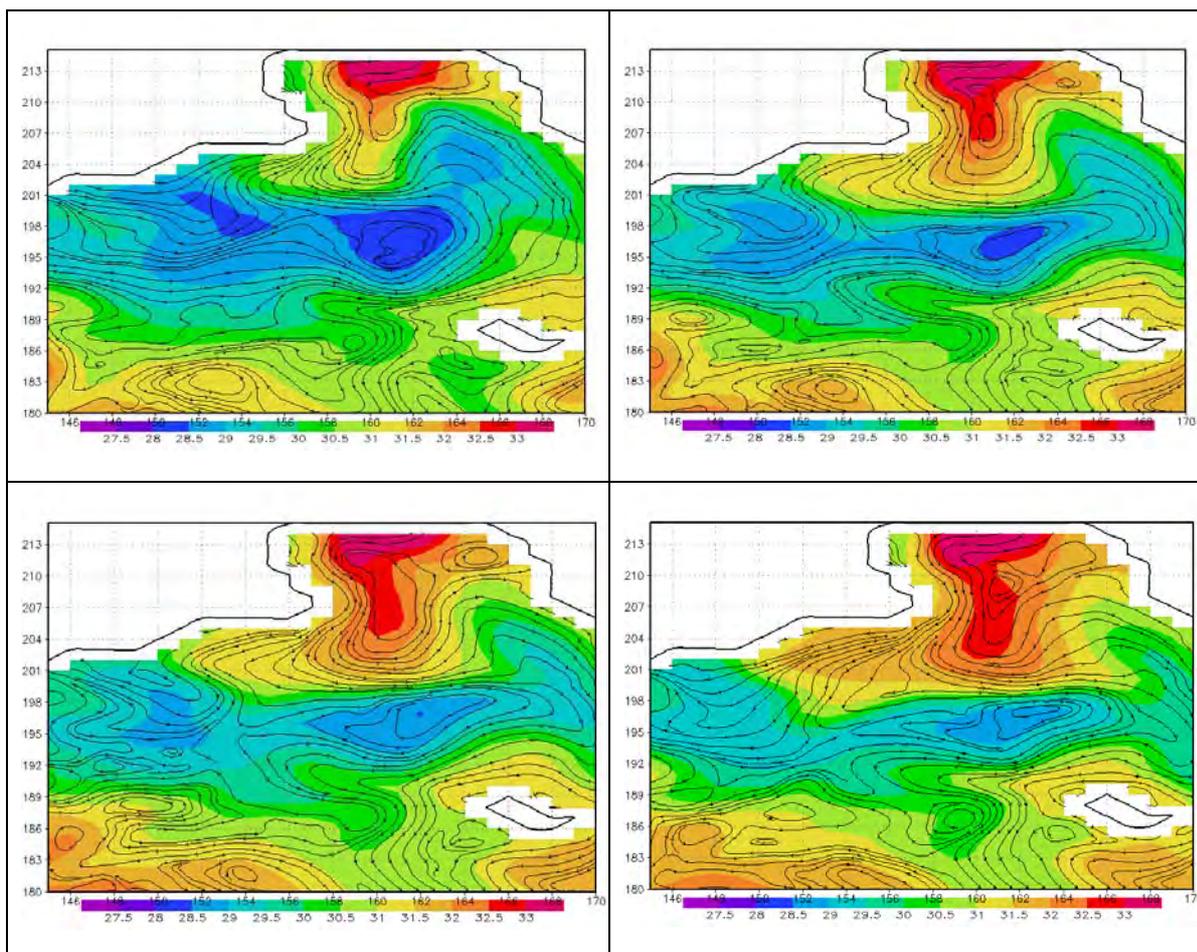


Рис. 5. Соленость и линии тока на горизонте 10 м в Чукотском море  
1 – январь, 2 – февраль, 3 – март, 4 – апрель, 1978

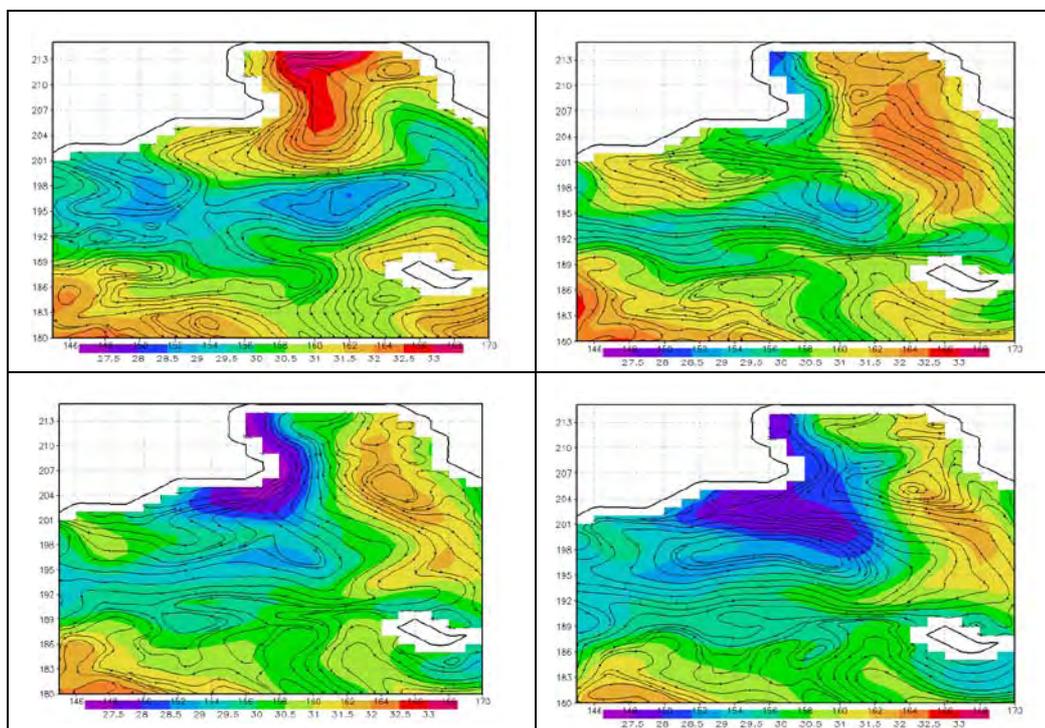


Рис. 6. Соленость и линии тока на горизонте 10 м в Чукотском море  
1 — май, 2 — июнь, 3 — июль, 4 — август, 1978

#### 2.4 Анализ результатов расчетов

Структура вод Чукотского моря формируется в результате взаимодействия тихоокеанских вод, поступающих через Берингов пролив, поверхностных арктических вод и лишь у самой северной границы [14] – глубинных атлантических вод. Значительное влияние летом оказывает сток сибирских рек, направленных вдоль берега на восток. Приток тихоокеанских вод оказывает весьма существенное влияние на формирование ледовой обстановки в Чукотском море. Летние тихоокеанские воды почти полностью заполняют Берингов пролив, причем поверхностный слой их в восточном районе моря распреснен стоком реки Юкон, а более глубокие слои имеют соленость, характерную для вод Берингова моря [15]. В центральной части района наблюдается также моноструктура, однако температура поверхностных и глубинных вод несколько ниже, а соленость от поверхности до дна меняется сравнительно мало, и только вблизи кромки льдов охладившиеся тихоокеанские воды погружаются под менее плотные, хотя и более холодные, поверхностные арктические воды. Здесь отчетливо выделяются летние и зимние тихоокеанские воды.

Приведенные результаты расчетов показывают принципиально различный характер циркуляции вод в различные месяцы года. Это различие прежде всего связано с тем фактом, что в зимний период море полностью покрыто льдом, а в летнем открыто. Кроме того, в зимний период значительно сокращен сток

сибирских рек, скорость которого направлена вдоль берега. Это вносит заметное различие в общую циркуляцию вод.

Так, важнейшей, на наш взгляд, особенностью является возникновение в летний период циклонической циркуляции в верхней области рассматриваемой акватории моря. Сначала в поверхностном слое (на горизонте 10 м, в точке с локальными координатами (165, 207)) появляется резкое завихрение направления потока, сначала оно направлено вниз влево (на северо-восток), а потом направо (на запад).

Для зимнего периода такой циркуляции не наблюдается.

Как показывают расчеты для всего летнего периода, описанное вихревое образование меняет свою интенсивность, эволюционирует, смещается и меандрирует, однако на протяжении продолжительного периода в той или иной степени присутствует и характеризует основные особенности циркуляции в этом районе.

Таким образом, можно предположить, что существование столь богатых донных сообществ в юго-западной части Чукотского моря, выявленное по данным экспедиции «РУСАЛКА-2004» и описанное в первом разделе, возможно в результате вихревых циркуляций, зарождающихся в Чукотском море к западу от Берингова пролива.

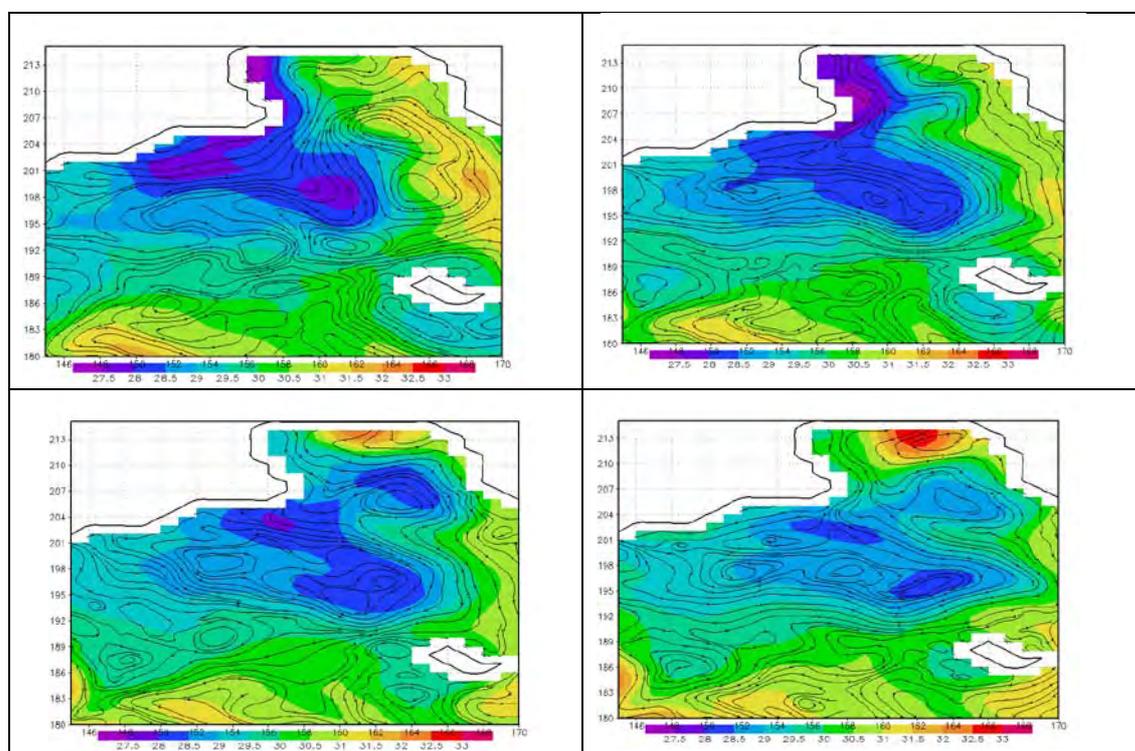


Рис. 7. Соленость и линии тока на горизонте 10 м в Чукотском море  
1 – сентябрь, 2 – октябрь, 3 – ноябрь, 4 – декабрь, 1978

Эти циркуляции интенсивно концентрируют биогенные вещества, фито- и зоопланктон, а донные сообщества, потребляя богатый планктон и сестон, аккумулируют в своей биомассе органику.

### Выводы

1. В результате выполнения экспедиционных исследований в рамках российско-американской программы «РУСАЛКА» в 2004 г. получены уникальные видеоматериалы состава бентосной фауны, меняющие представление о биоразнообразии донного сообщества Чукотского моря. Проведенные подводные видеонаблюдения позволили найти новые разновидности морской фауны, ранее не наблюдавшиеся в акваториях Чукотского и других северных морей.

2. Впервые обнаруженные в Чукотском море два вида крабов и крупные двухстворчатые моллюски свидетельствуют о потеплении климата.

3. Впервые в Чукотском море найдены чрезвычайно высокие биомассы донных беспозвоночных, превышающие  $4 \text{ кг/м}^2$ , что превосходит все до сих пор известные данные по сообществам мягких грунтов не только Северного Ледовитого, но и Тихого океанов.

4. Выполнено численное моделирование циркуляции вод в Чукотском море. Показана устойчивость существования вихревого образования в юго-западной части моря и его относительная независимость от периода года.

5. Существование столь богатых донных сообществ в юго-западной части Чукотского моря возможно в результате вихревых циркуляций, зарождающихся в Чукотском море к западу от Берингова пролива. Эти циркуляции концентрируют биогенные вещества, фито- и зоопланктон, а донные сообщества, потребляя богатый планктон и сестон, аккумулируют в своей биомассе органику.

Авторы работы выражают благодарность Отделу Арктических исследований NOAA (Arctic Research Office), Российской Академии Наук и Росгидромету за финансирование экспедиционных работ. Они выражают свою особую признательность доктору Джону Калдеру (Dr. John Calder), доктору Кати Крэйн (Dr. Kathleen Crane), а также В. П. Кеонджану, М. А. Жданову и контр-адмиралу С. П. Алексееву. Авторы работы благодарят экипаж НИС «Профессор Хромов» и лично капитана Г. И. Петренко за высоко профессиональную работу и помощь, оказанную при выполнении полевых изысканий, а директора ДВНИГМИ Ю. Н. Волкова за общую организацию работ. Авторы также благодарны И. А. Неелову за помощь в работе над статьей.

Работа частично выполнена на средства гранта РФФИ 04-04-49300 «Происхождение и динамика донных экосистем Чукотского моря».

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров В. В. Материалы по количественному учету донной фауны северной части Берингова моря и Чукотского моря // Исследования морей СССР. Изд. Гидрометеорологическое, 1937. – С. 260–291.
2. Ушаков П. В. Чукотское море и его донная фауна // Крайний северо-восток Союза ССР. Фауна и флора Чукотского моря. – 1952. – Т. 2. – С. 5–83.
3. Голиков А. Н., Люлеев В. Н., Новиков О. К., Потин В. В., Сиренко Б. И., Шереметевский А. М. Некоторые закономерности распределения жизни на верхних отделах шельфа острова Врангеля и мыса Шмидта // Морфология, систематика и эволюция животных. Сб. н. работ. – Л.: Зоологический институт АН СССР, 1978. – С. 11–12.
4. Голиков А. Н. Люлеев В. Н., Новиков О. К., Потин В. В., Сиренко Б. И., Шереметевский А. М. К познанию экосистем пролива Де-Лонга / Биологические ресурсы Арктики и Антарктики. – М.: Наука, 1987. – С. 122–133.
5. Sirenko B. I., Koltun V. M. A Study of the Benthic Communities of Caroline Atoll (Line Islands, Pacific Ocean). Results of the first joint USUSSR Central Pacific expedition (BERPAC). – 1992. – P. 166–175.
6. Голиков А. Н., Бабков А. И., Голиков А. А. Донное население банки Геральд в Чукотском море // Океанология. – 1991. – Т. 31. – Вып. 4. – С. 628–630.
7. Голиков А. Н., Гагаев С. Ю., Голиков А. А., Потин В. В. Донные биоценозы Колочинской губы Чукотского моря // Океанология. – 1998. – Т. 38. – № 1. – С. 102–104.
8. Grebmeier J. M. Benthic Processes on the shallow Continental Shelf // Results of the third joint US-USSR Bering & Chukchi Seas expedition (BERPAC). – 1992. – P. 243–251.
9. Лавренов И. В., Добротворский А. Н. Оценка гидрологических условий в Чукотском море по данным экспедиции «Русалка-2004». Навигация и гидрография. – 2005. – № 20-21. – с. 63–76.
10. Крылов В. И. О питании тихоокеанского моржа (*Odobenus rosmarus divergens* Ш.) // Тр. Атлантического н.-и. института рыбного хозяйства и океанографии. – 1971. – Вып. 39. – С. 110–116.
11. Никулин П. Г. Чукотский морж. Дальневосточные морские млекопитающие // Известия ТихНИРО. – 1941. – Т. 20. – С. 1–53.
12. Аристов А. А., Барышников Г. Ф. Хищные и ластоногие // Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. – СПб.: Изд. ЗИН РАН, 2001. – 558 с.
13. Коучмен Л. К., Огорд К., Трипп Р. Б. Берингов пролив. Региональная океанография. Л.: Гидрометеоздат, 1979.
14. Никифоров Е. Г., Шпайфер А. О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 270 с.
15. Павлов В. К., Павлова О. А. Особенности сезонной и межгодовой изменчивости термохалинной структуры течений и водообмена в Беринговом проливе. Циркуляция вод и перенос загрязнений в Северном Ледовитом океане // Труды ААНИИ, СПб.: Гидрометеоздат, 1999. – Т. 442. – С. 16–52.
16. Neelov I. A., Kouraev A. V. 3D circulation model of the Kara Sea. / NIERSC Technical report. – 1996. – No 3. Project INTAS-93-0814. – 49 p.
17. Orlandi I. A simple boundary condition flows for unbounded hyperbolic // J. Comput. Phys. – 1976. – Vol. 21. – P. 251–269.
18. Marchesiello P., McWilliams J. C., Shchepetkin A. Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models // Ocean Modelling. – 2001. – Vol. 3. – P. 20.
19. Galperin B., Kantha L. H., Hassd S., Rosati A. A quasi-equilibrium turbulent energy model for geophysical flows // J. Atmos. Sci. – 1988. – Vol. 45. – P. 55–62.

Bioproduction and Water Circulation in the Chukchi Sea

**B. I. Sirenko**

(The Zoological Institute, RAS)

**I. V. Lavrenov,**

(The State Scientific Centre of the Russian Federation «The Arctic and Antarctic Research Institute»)

*The results of expeditionary explorations obtained in the course of the Russian-American expedition in the Bering and Chukchi Seas from July 23 to September 5, 2004, under the «Rusalka» program (THE JOINT RUSSIAN-AMERICAN LONG-TERM CENSUS OF THE ARCTIC, RUSALCA) are presented. For the first time, extremely high biomasses of invertebrate exceeding 4 kg/m<sup>2</sup> were found in the Chukchi Sea, which is greater than the previously known data on the soft ground communities not only in the Arctic, but in the Pacific Oceans as well. It is shown that the existence of such abundant bottom communities in the south-western part of the Chukchi Sea is possible due to vortex circulations originating in the Chukchi Sea westward of the Bering Strait. These circulations concentrate the biogenic matter, phito- and zooplankton, and the bottom communities, consuming the masses of plankton and seston, accumulate the organic matter in their biomass.*

ГРНТИ 78.21.43

**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАРАШЮТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ  
АВИАЦИОННОЙ ПОСТАНОВКИ ДРЕЙФУЮЩИХ АВТОНОМНЫХ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

**В. С. АНОСОВ,  
С. А. ДРУЖЕВСКИЙ,  
Г. И. ИЛЬЮЩЕНКО  
(ГНИНГИ МО РФ),  
А. И. НИКИФОРОВ**

(Санкт-Петербургский государственный морской технический университет)

*Рассматривается методический подход к определению основных параметров парашютной системы для авиационной постановки дрейфующих автономных гидрометеорологических станций. Приведены алгоритмы для выполнения расчетов параметров парашютной системы в соответствии с допустимыми значениями эксплуатационных нагрузок (ударных и статических механических воздействий на дрейфующие автономные гидрометеорологические станции) при приводнении и заглублении станции.*

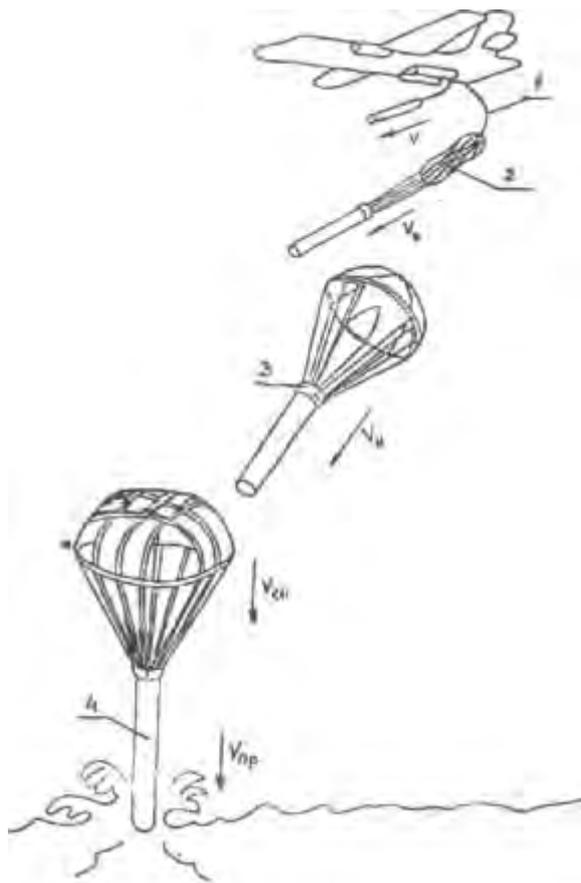
Как показывает зарубежная практика, до 30% выставяемых с авиационных носителей дрейфующих автономных гидрометеорологических станций (АГМС) подвержены в процессе приводнения существенным механическим воздействиям, нарушающим их нормальное функционирование в течение автономного срока службы. В первую очередь это относится к гидрометеорологическим датчикам (атмосферного давления, температуры воздуха, температуры воды), размещаемым на корпусе АГМС.

Основной причиной этого является отсутствие в достаточной мере научно обоснованного подхода к выбору парашютной системы (ПС) для авиационной постановки АГМС, обеспечивающей параметры приводнения, не превышающие допустимые значения ударных и статических механических воздействий на элементы АГМС и изделие в целом.

Рассматриваемый в данной статье подход направлен на определение основных параметров ПС, отвечающей требуемой эксплуатационной

надежности АГМС, постановка которых осуществляется с авиационных носителей.

В основу предлагаемого подхода положена схема действия ПС, отражающая динамику приводнения АГМС, изображенная на рис. 1.



**Рис. 1. Схема действия парашютной системы**

1 – вытяжное звено; 2 – купол парашюта; 3 – узел крепления парашюта к корпусу АГМС;  
4 – АГМС

Действие парашютной системы включает следующие этапы [1, 2]:

*1 этап. Свободное падение АГМС с момента ее отделения от носителя до введения парашюта в действие.* В авиационных системах постановки обычно используется принудительное введение парашюта в действие с помощью вытяжного звена, один конец которого закреплен на носителе, а другой прикреплен к уздечке парашюта, находящегося в специальной камере. Скорость АГМС изменяется от скорости носителя  $V$  до скорости в момент введения парашюта в действие. Это изменение скорости происходит за счет сопротивления воздуха, действующего на АГМС, по законам свободного падения тела в воздухе. Продолжительность этапа не превышает 1–2 с.

2 этап. *Вытягивание из парашютной камеры купола и строп на всю длину.* Начинается наполнение купола парашюта воздухом. Скорость АГМС в момент начала наполнения купола  $V_0$ . Продолжительность этапа зависит от длины купола и строп, скорости АГМС к концу 1 этапа, высоты и др. Следует отметить, что изменение скорости происходит в основном за счет сопротивления самой АГМС (вес при этом уменьшается на величину веса парашюта).

3 этап. *Наполнение купола парашюта воздухом.* Скорость снижения АГМС в процессе наполнения купола быстро изменяется, достигая к концу этапа значения  $V_H$  – скорости в момент полного наполнения купола. Время наполнения купола воздухом зависит от  $V_0$ , конструкции и свойств купола парашюта, в частности, воздухопроницаемости ткани и др.

4 этап. *Снижение АГМС с наполненным куполом.* Скорость АГМС изменяется с  $V_H$  до  $V_{сн}$ . Установившаяся скорость вертикального снижения из-за увеличения плотности воздуха постепенно уменьшается и перед приводнением достигает величины  $V_{пр}$ .

К основным параметрам ПС, подлежащим определению относятся: площадь купола, длина строп и диаметр полюсного отверстия.

Определение этих параметров осуществляется по максимально допустимой скорости приводнения, которая в свою очередь определяется исходя из условия не превышения допустимых перегрузок для АГМС, приведенных в табл. 1 [3].

Таблица 1

**Основные тактико-технические требования**

Перечень параметров	Допустимые значения параметров
Угол приводнения, град.	не менее $70^\circ$ от вертикали
Допустимая перегрузка при приводнении, единицы g	10–20
Допустимое заглубление, м	не более 3

### **Определение зависимости перегрузок АГМС от скорости приводнения**

Согласно теории ударных воздействий явление приводнения рассматривается при условии, что вода несжимаема, а приводняющийся объект (АГМС) – абсолютно твердое тело.

Система взаимодействия АГМС с внешней средой представляется как система, состоящая из твердого тела (Т), жидкости (Ж) и воздуха (В). В состав системы входят частицы, находящиеся внутри замкнутого объема, ограниченного контрольной поверхностью (П), расположенной на таком удалении от точки приводнения, что обмен частиц через эту поверхность отсутствует (рис. 2).

Система неизменного (постоянного) состава предполагает отсутствие взаимодействия с внешней средой через контрольную поверхность. Для такой системы вектор количества движения определяется как

$$Q = Q_T + Q_{\text{ж}} + Q_{\text{в}},$$

где

$Q_T$  – количество движения тела;  $Q_{\text{ж}}$  – количество движения жидкости;  $Q_{\text{в}}$  – количество движения воздуха (величина пренебрежимо малая в сравнении с другими составляющими и поэтому не учитывается).

Полагая, что процесс соударения тела с поверхностью воды кратковременен, причем настолько, что тело не успевает за этот промежуток времени заметно изменить свое угловое положение, уравнение изменения момента количества движения не рассматривается.

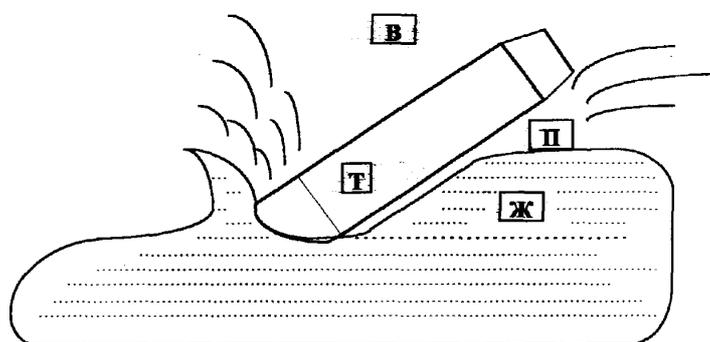


Рис. 2. Система неизменного состава (объяснения в тексте)

В этом случае скорость изменения вектора количества движения тела при представлении вектора количества движения в виде:

$$Q = (m + \lambda) V,$$

определяется уравнением вида

$$m \frac{dV}{dT} = -\lambda \frac{dV}{dt} - V \frac{d\lambda}{dt} + R,$$

где  $m$  – диагональная матрица, элементами которой является масса тела;

$\lambda$  – матрица присоединенных масс жидкости;

$V$  – вектор скорости движения тела;

$R$  – вектор приложенных к телу внешних сил (обычно при рассмотрении ударных воздействий пренебрегают силой тяжести, поэтому вектор  $R$  представляет собой гидродинамическое воздействие вязкой жидкости на тело. Выражение, стоящее в правой части уравнения, представляет собой реакцию жидкости на погружающееся в нее тело (силу удара), причем первые два

слагаемых характеризуют инерционное воздействие (реакция идеальной жидкости), а вектор  $R$  является реакцией реальной (вязкой) жидкости.

Таким образом, сила ударного воздействия определяется через посредство параметров, характеризующих изменение во времени скорости движения, присоединенные массы и скорость их изменения, а также гидродинамическое воздействие вязкой жидкости.

В предлагаемом подходе рассматривается частный случай приведения АГМС на неизменную во времени взволнованную поверхность, что изображено на рис. 3.

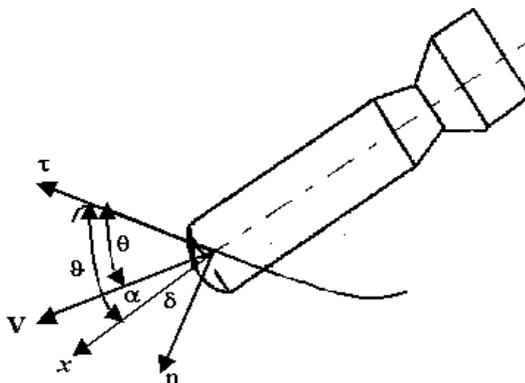


Рис. 3. Приведение АГМС на взволнованную поверхность

$\varphi$  – угол приведения (угол между продольной осью АГМС и волновым склоном);  
 $\theta$  – угол встречи (угол между вектором скорости и волновым склоном);  $\alpha$  – угол атаки;  
 $\delta$  – угол между нормалью к поверхности воды и продольной осью АГМС

В соответствии с вышеприведенным уравнением определение ударного воздействия о водную поверхность определяется через присоединенные массы погруженной части тела, а также скорости изменения присоединенных масс. В настоящее время отсутствуют расчетные зависимости, позволяющие определять присоединенные массы тела любой формы. Имеются только аналитические выражения для вычисления присоединенных масс трехосного эллипсоида [4]. В силу этого погруженную часть тела принято заменять половиной трехосного эллипсоида, одна полуось которого (ось  $ln$ ) направлена нормально к поверхности воды, а ее размер принимается равным глубине погружения головной части тела в данный момент времени. Вторая полуось (ось  $lt$ ) направлена по касательной к поверхности воды, а ее размер определяется как отношение текущего радиуса погруженной головной части к синусу угла встречи ( $lt=r/\sin\theta$ ). Третья полуось эллипсоида ( $lb$ ) направлена по бинормали к первым двум, и ее значение равно текущему радиусу погруженной головной части тела ( $lb=r$ ). По мере погружения тела размеры осей будут изменяться.

В случае движения в воде трехосного эллипсоида с полуосями  $a$ ,  $b$ ,  $c$  присоединенные массы выражаются через объем эллипсоида [4]:

$$\lambda_1 = (4/3)\pi \rho abc A / (2-A);$$

$$\lambda_2 = (4/3)\pi \rho abc B / (2-B);$$

$$\lambda_3 = (4/3)\pi \rho abc C / (2-C),$$

где коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  определяются геометрическими параметрами эллипсоида;  $\rho$  – плотность воды.

Задача вычисления ударных воздействий при приводнении АГМС, в общем случае, чрезвычайно сложна и в настоящее время не может быть решена без введения определенных допущений, основными из которых являются:

- движение АГМС рассматривается только в вертикальной плоскости;
- скорость приводнения АГМС значительная, поэтому при ударе о воду образуется каверна.

В силу этого полагаем, что погружаемая головная часть АГМС имеет профиль каверны, что позволяет представить ее в виде половины трехосного эллипсоида, одна из осей которого равна глубине погружения головной части, а вторая ось определяется как  $R(\sigma)/\sin\theta$ , где  $R$  – текущий радиус погруженной части каверны, зависящий от числа кавитации  $\sigma$  и угла приводнения  $\theta$ . Присоединенные массы погруженной части определяются в данном случае как половины присоединенных масс трехосного эллипсоида.

В общем виде алгоритм вычисления ударного воздействия и перегрузок АГМС включает в себя следующие процедуры.

Ввод исходных данных:

- масса АГМС, длина и диаметр корпуса, длина головной части, диаметр плоского среза головной части;
- скорость и угол приводнения АГМС, значение коэффициента лобового сопротивления.

Вычисление:

- числа кавитации  $\sigma$ ;
- возможных размеров каверны – диаметр и длина продольной полуоси;
- формы и размеров погруженной части каверны;
- значений присоединенных масс погруженной части.

Вычисление значений проекций ударного воздействия  $R_x$  на продольную и  $R_y$  на нормальную оси АГМС и соответствующие им перегрузки  $n_x$ ,  $n_y$  осуществляется в связанной с АГМС системе координат  $XOY$ , где начало координат помещается в точку касания телом водной поверхности.

Численное решение системы уравнений, согласно [2]:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot (\sin \theta - n_x);$$

$$\frac{d\theta}{dt} = (g \cdot (\cos \theta - n_y)) / V;$$

$$\frac{dS}{dt} = V;$$

$$\frac{dX}{dt} = V \cos \theta;$$

$$\frac{dY}{dt} = V \cdot \sin \theta,$$

где  $V$  – скорость;  $\theta$  – угол наклона траектории;  $n_x, n_y$  – перегрузки;  $S$  – пройденный путь;  $X, Y$  – координаты траектории в текущий момент времени  $t$ ,  $g$  – ускорение силы тяжести.

По данному алгоритму выполнены расчеты перегрузок по параметрам АГМС, полученным в НИР «Дрифтер» для различных скоростей приводнения [3].

Результаты проведенных расчетов представлены на рис. 4, из которого следует, что в случае удовлетворения требуемым ограничениям по перегрузкам  $N = \sqrt{n_x^2 + n_y^2} = (10-20)g$ , приведенным в табл. 1, скорость приводнения должна находиться в диапазоне (7– 0) м/с.

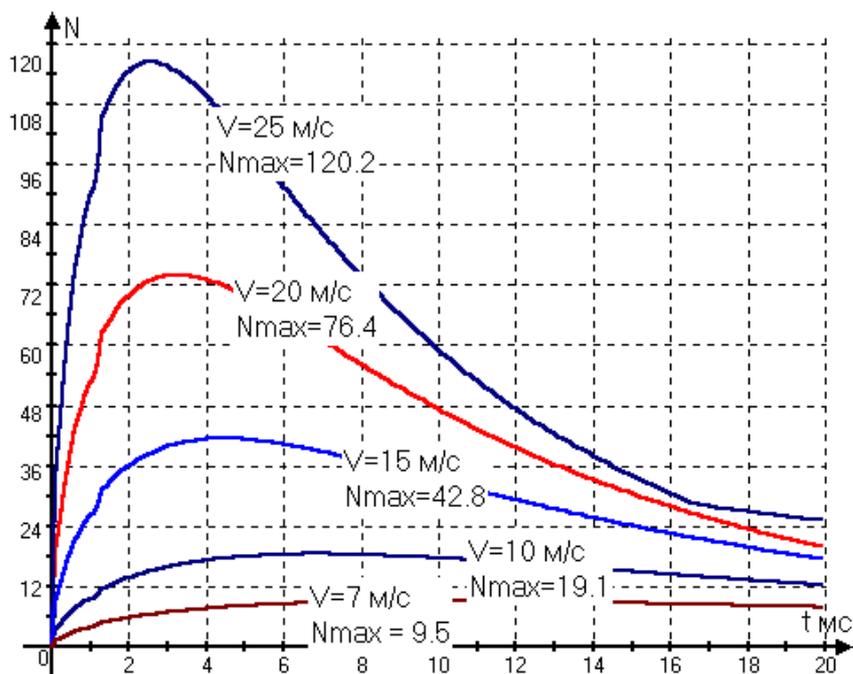


Рис. 4. Зависимость действующих во времени перегрузок от скорости приводнения АГМС

### Заглубление АГМС при приводнении

Заглубление АГМС после приводнения из-за его инерционности определяется путем интегрирования следующих уравнений [5]:

$$\frac{dV}{dt} = -(P_0 - q)/m;$$

$$\frac{dY}{dt} = V.$$

где  $V$  – скорость АГМС на подводном участке траектории;

$Y$  – глубина погружения АГМС;

$P_0$  – сила плавучести АГМС;

$q = C \frac{\rho_{abs}(V)V \Pi d^2}{2 \cdot 4}$  – сила гидродинамического сопротивления;

$C_x$  – коэффициент гидродинамического сопротивления АГМС;

$d$  – диаметр корпуса АГМС;

$m$  – масса АГМС.

Результаты вычислений заглубления АГМС в зависимости от скорости приводнения представлены на рис. 5.

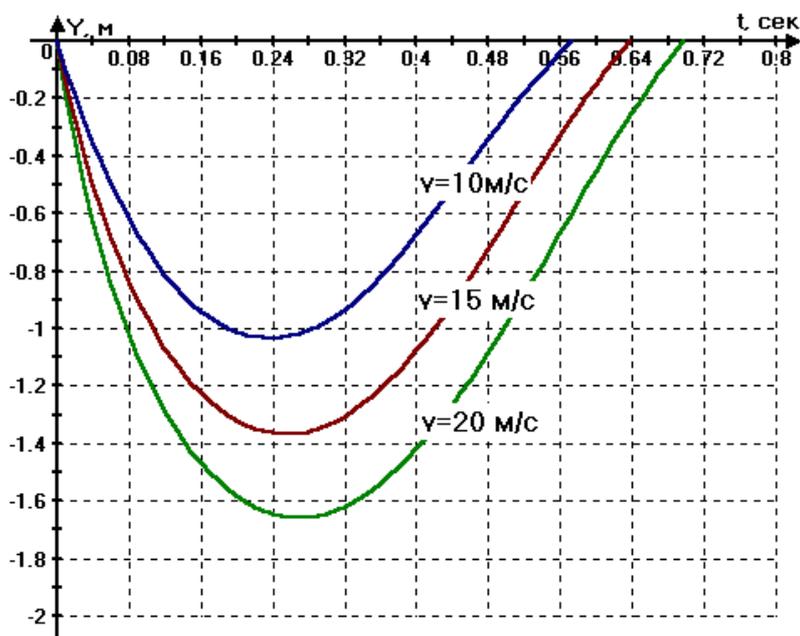


Рис. 5. Зависимость заглубление АГМС от скорости приводнения

Как следует из рис. 5, заглубление АГМС незначительно и удовлетворяет требуемым условиям, приведенным в табл. 1, во всем диапазоне скоростей приводнения. Это объясняется тем, что сила плавучести

АГМС и его гидродинамическое сопротивление достаточно велики и быстро гасят начальную скорость приводнения.

### Влияние параметров парашюта на коэффициент его сопротивления

Коэффициент сопротивления парашюта зависит от ряда параметров, основными из которых являются коэффициент воздухопроницаемости ткани, из которой изготавливается купол парашюта, и относительная длина строп (отношение длины стропы к радиусу купола в раскрое).

В табл. 2 представлены значения коэффициента воздухопроницаемости для некоторых парашютных тканей [3].

Таблица 2

Коэффициенты воздухопроницаемости парашютных тканей

№ ткани	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$C_{w0}$	81,35	76,7	158,7	220	334,3	606	1353,6	83,5	43,2	77,08

Как видно из табл. 2, парашютные ткани имеют довольно большой диапазон значений коэффициента воздухопроницаемости что вызывает необходимость выбора соответствующего артикула ткани. В связи с этим проведены исследования влияния коэффициента воздухопроницаемости ткани и влияния относительной длины строп на коэффициент сопротивления парашюта. Результаты исследований приведены на рис. 6 [3].

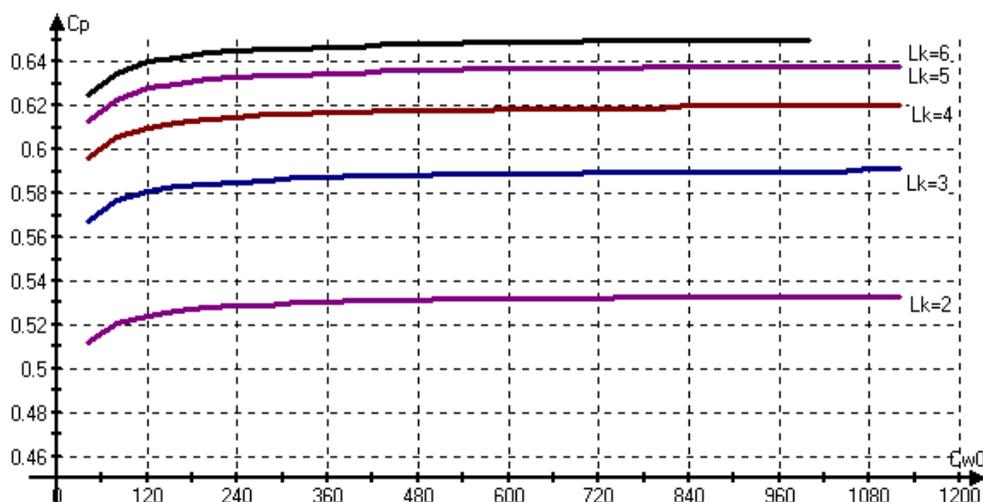


Рис. 6. Влияние воздухопроницаемости ткани и относительной длины строп на коэффициент сопротивления парашюта [3]

Как видно из рисунка, воздухопроницаемость слабо влияет на коэффициент сопротивления парашюта. При этом большее влияние оказывает относительная длина строп, которая в свою очередь влияет на форму купола наполненного парашюта.

В качестве примера расчеты проводились для парашюта с относительной длиной строп  $L=3$ , для которого в широком диапазоне воздухопроницаемости ткани коэффициент сопротивления парашюта остается примерно одинаков и равен  $C_n = 0,583$ .

### Определение основных параметров парашютной системы

Для определения требуемой площади парашюта вводится предположение, что на установившемся участке траектории вблизи поверхности воды сила тяжести объекта уравнивается силой аэродинамического сопротивления парашюта. В этом случае сила аэродинамического сопротивления парашюта определяется как

$$F_n = \frac{2mg}{C_n \rho V^2},$$

где  $m$  – масса АГМС;  $V$  – скорость приводнения;  $C_n$  – коэффициент аэродинамического сопротивления парашюта.

На рис. 7 представлена зависимость требуемой площади парашюта от скорости приводнения АГМС, рассчитанная с учетом коэффициента  $C_n$  для АГМС, разработанной в НИР «Дрифтер» [3].

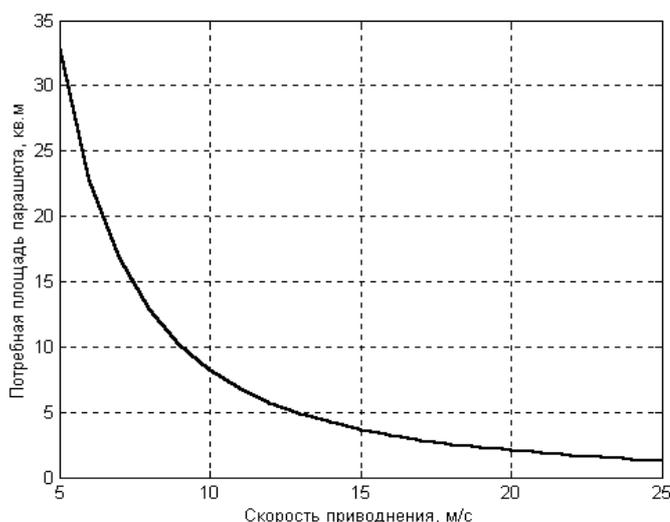


Рис. 7. Зависимость требуемой площади парашюта от скорости приводнения АГМС

Исходя из ограничения перегрузок АГМС, приведенных в табл. 1, допустимая скорость приводнения в соответствии с рис. 4 не должна превышать 7–10 м/с, следовательно, необходимая площадь парашюта должна быть не менее 10 м<sup>2</sup>.

### Выводы

1. Проведенные исследования показали, что для обеспечения требуемой эксплуатационной надежности при авиационной постановке дрейфующих АГМС скорость приводнения, отвечающая допустимым значениям ударных перегрузок в диапазоне (10–20) g и гидростатического воздействия при заглублении не более 0,3 атм, не должна превышать (7–10) м/с.

2. Требуемая площадь парашютной системы должна составлять не менее 10 м<sup>2</sup>.

3. Предложенный в статье методический подход представляет собой основу при выборе или проектировании парашютных систем для создаваемых перспективных дрейфующих АГМС с авиационной постановкой.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рысев О. В., Пономарев А. Т., Васильев М. И. и др. Парашютные системы. – М.: Наука, 1996., – 126 с.
2. Лобанов Н. А. Основы расчета и конструирования парашютов. – М.: Машиностроение, 1965. – 184 с.
3. Шибалов А. Н. Присоединенные массы. – Л.: ЛКИ, 1975., – 104 с.
4. Антоненко А.И. и др. Динамика движения парашютных систем. – М.: Машиностроение, 1982. – 152 с.

On Finding the Parachute System Parametres for Placement of Drifting Self-Contained Hydrometeorological Stations from Aircraft

**V. S. Anosov,**

**S. A. Druzhevsky,**

**G. I. Pyushchenko**

**(GNINGI, RF MoD),**

**A. I. Nikiforov**

**(St. Petersburg Marine Technical University)**

*The method is approach to finding the main parameters of parachute system for placement of drifting self-contained hydrometeorological stations (DSHS) is considered. The algorithms necessary to calculate the parachute system parameters accoding to the allowable values of operating stresses (shock and static mechanical action on the DSHS when splashing-down and setting the required depth of the station are presented.*

**ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ КАК ИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ  
ФИНСКОГО ЗАЛИВА**

**С. М. УСЕНКОВ**  
(СПбГУ)

*Донные отложения рассматриваются как архив информации о состоянии водных систем. На основе седиментологического анализа в восточной части Финского залива выделены зоны аккумуляции загрязняющих веществ и дана оценка степени загрязнения донных отложений. Потенциальный экологический риск растет с увеличением числа загрязняющих компонентов. С этих позиций степень загрязнения осадков была определена как сумма всех загрязняющих факторов больше 1. Общая степень загрязнения на основе данных по отдельным компонентам составила 12,6, что отвечает умеренному загрязнению. При этом загрязняющие компоненты ранжируются следующим образом:  $^{137}\text{Cs} > \text{Zn}$ ,  $\text{Cu} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Cd} > \text{Hf} > \text{Hg}$ . Полученные результаты дали возможность оценить степень и структуру или, иными словами, качество донных отложений восточной части Финского залива.*

Чем более индустриализованным становится общество, тем более необходима адекватная система для контроля загрязнения. Антропогенный фактор оказывает все более возрастающее влияние на процессы осадкообразования и формирования экологических особенностей Финского залива. В донных отложениях залива выявлен целый ряд загрязняющих веществ искусственного происхождения и природно-техногенных, опасных с точки зрения их воздействия на экосистему. Поэтому выявление зон аккумуляции загрязняющих веществ и оценка степени загрязнения донных отложений для залива весьма актуальны. Без этого невозможно дать рекомендации по оздоровлению экологической ситуации. Важной задачей геоэкологических исследований аквальных систем является установление интенсивности и общей степени загрязнения донных отложений.

Исследования последних лет выявили ведущую роль седиментологических факторов в формировании геоэкологического состояния крупных аквальных бассейнов. Большинство загрязнителей распространяется в природных водах не в свободной форме, а в основном присоединившись к различным частицам. Эти «носители» управляют распространением контаминантов и регулируют их потенциальное экологическое действие. При этом образующиеся донные отложения можно рассматривать как банк информации о состоянии окружающей среды, так они отражают интегрированную во времени сумму антропогенного воздействия на аквальную систему. Кроме того, они являются потенциальным источником вторичного загрязнения бассейна. Седиментологический анализ, таким образом, заявляет о себе как важнейший инструмент экологического анализа. Это весьма важные причины для использования донных отложений в программах по контролю загрязнения аквальных систем. Пробы осадков дают интегрированные во времени данные высокой локальной информативности. Химические и биологические параметры аквальных систем обычно не

обладают высокой представительностью в точках наблюдения в силу значительной временной и пространственной изменчивости водных масс, а также низкой концентрации контаминантов. К тому же данные по биоте часто трудно интерпретировать.

Седиментологический анализ, таким образом, заявляет о себе как важнейший инструмент экологического исследования. Данный подход был использован при изучении восточной части Финского залива. Платформой для всестороннего исследования послужила интенсивная база данных по седиментологии и загрязнению осадков, созданная на основе собственных материалов, а также сведений, полученных в ходе обработки информации из других источников [1–4].

### **Общая характеристика восточной части Финского залива**

**Геолого-геоморфологические особенности.** Финский залив находится в зоне сочленения Балтийского кристаллического щита и Русской плиты. Он представляет собой крупную структурно-денудационную впадину, возникновение которой связано с кайнозойскими тектоническими движениями. В четвертичный период район подвергался неоднократному воздействию покровных ледников, которые обусловили существенное преобразование поверхности коренных пород и формирование мощного гетерогенного чехла четвертичных образований. Дочетвертичный цоколь в пределах Финского залива представляет двухъярусную структуру, которая сложена породами кристаллического фундамента и перекрывающими их осадочными породами платформенного чехла. Осадочный плитный чехол почти повсеместно образован терригенными отложениями валдайской серии венда. Четвертичные отложения покрывают дно Финского залива практически сплошным чехлом, мощность которого составляет в среднем 20–40 м, достигая местами 90 м.

Главными генетическими категориями рельефа дна залива являются ледниковая, водно-ледниковая и водная. Ледниковый рельеф связан с экзарационной и аккумулятивной деятельностью ледников. Водно-ледниковый рельеф широко распространен и представлен двумя категориями: ледниково-озерной слабо наклоненной равниной и ледниково-озерной субгоризонтальной слабоволнистой равниной. Водный тип рельефа развит местами и занимает пониженные участки дна. Он представлен двумя генетическими категориями: озерной и морской равниной на гетерогенном субстрате анциловых и литориновых отложений и морской нефелоидной аккумулятивной равниной.

**Гидродинамическая характеристика.** Динамика вод как механизм переноса и перераспределения гидрологических и гидрохимических характеристик и загрязняющих веществ имеет решающее значение в

формировании гидролого-гидрохимического режима и экосистемы любого водоема. Основными факторами, определяющими течения и циркуляцию вод в восточной части Финского залива, являются атмосферные процессы, водообмен с соседними акваториями залива и Балтийского моря, речной сток и морфометрические особенности региона.

Восточная часть Финского залива отличается значительной интенсивностью волнового режима, что связано с прохождением здесь североатлантических циклонов. Число штормовых дней в году со скоростью ветра более  $10\text{--}15\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  равно 40–50. В периоды эпизодических штормов ураганной силы отмечаются скорости ветра до  $30\text{--}40\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Весной в заливе чаще всего наблюдаются волнения до 3-х баллов (высота волн 0,75 м), на долю которых приходится 83% всех наблюдений. Летом повторяемость волнений от 3-х баллов составляет 60–70%, осенью – уменьшается до 40%, но при этом возрастает повторяемость более интенсивных волнений. В периоды эпизодических штормов ураганной силы высота волн в прибрежной зоне достигает 3 м.

Течения в изученной части залива имеют довольно сложный характер, что обусловлено целым рядом причин. Циркуляция вод представляет собой совокупность нескольких видов течений, куда входят постоянные течения, зависящие от общей циркуляции, волновые течения, сгонно-нагонные и др. Обычно несколько видов течений действуют совместно, формируя так называемые *суммарные течения*, соответствующие определенным гидрометеорологическим ситуациям. Течения неоднородны по глубине и характеристике среднего движения. Они также неустойчивы во времени и в пространстве. Отмечается наличие большого числа вихревых образований, непостоянство и меандрирование потоков [5, 6, 1].

Постоянные течения, как правило, проявляются при штилевом состоянии моря. Скорости постоянных течений не превышают  $0,16\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  и не оказывают существенного влияния на литодинамические процессы. Они могут привести лишь к перемещению тонкого осадочного материала. Волновые течения индуцируются вдольбереговой составляющей скорости разрушающейся волны и неравномерным нагоном воды вдоль берега, вызванным сложностью топографии подводного склона и извилистостью контура береговой линии. Скорости волновых течений могут достигать  $0,8\text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ .

***Литологические особенности донных отложений.*** Осадки восточной части Финского залива представлены исключительно терригенными разностями, которые образуют широкий гранулометрический спектр: от валунов до пелитовых илов. На основании данных гранулометрического анализа с учетом преобладающей фракции и среднего размера частиц выделены следующие основные гранулометрические типы донных осадков:

гравийно-галечные с валунами, гравийно-песчаные и песчано-гравийные, алевритовые и пелитовые илы (рис. 1).

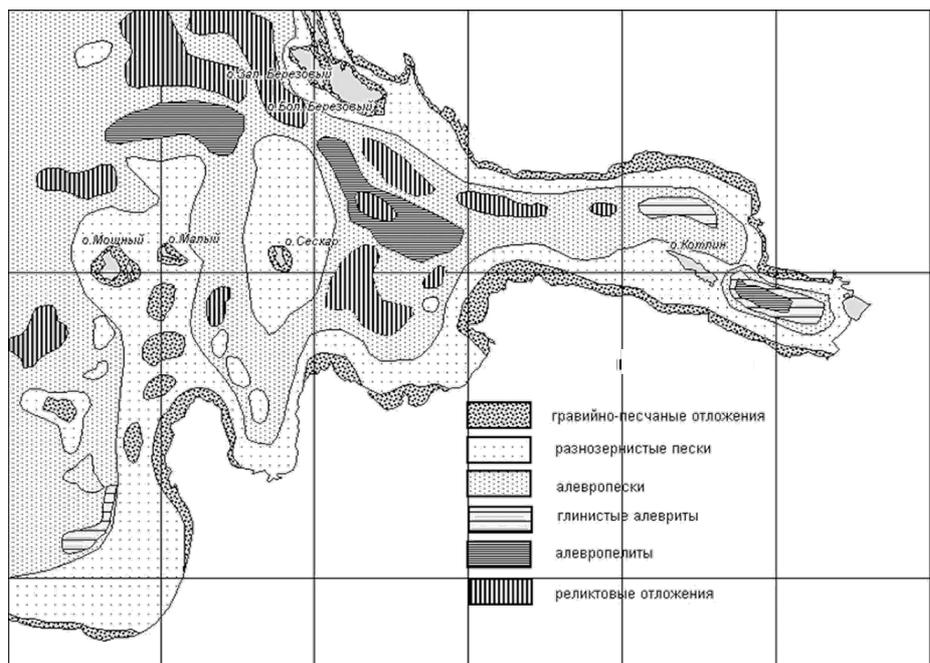


Рис. 1. Типы донных отложений

*Песчано-гравийные и гравийно-песчаные осадки с галькой и валунами* образуют небольшие по площади поля, примыкающие к абразионным участкам побережья, а также окаймляют острова и оконтуривают многочисленные банки и отмели. Небольшие по площади ареалы плохо отсортированных песчано-гравийных осадков со значительным количеством алевро-пелитового материала (до 30% массы) отмечаются и на более значительных глубинах, где они, несомненно, маркируют участки размыва ледниковых отложений на дне.

*Песчаные осадки* образуют значительные по площади поля в верхней части подводного берегового склона. На юге района нижняя граница распространения песков проходит на глубине 18–20 м, на севере она опускается до 23–25 м. Пески представлены в основном мелко- и среднезернистыми разностями и характеризуются высокой степенью сортированности. Относительно небольшие по площади, но многочисленные ареалы развития песков отмечаются и на более значительных глубинах, вне зоны современного гидродинамического воздействия. Практически во всех случаях эти ареалы приурочены к положительным формам рельефа дна. Описанные осадки являются остаточными, или реликтовыми, образовавшимися при более низком уровне моря.

*Алевритовые илы* – наиболее распространенные осадки восточной части Финского залива. Они занимают значительную площадь дна на глубинах от 18 до 38 м. В Лужской губе локальное развитие алевритовых илов наблюдается на глубине 10–25 м.

*Пелитовые илы* развиты не столь широко, как алевритовые. Наиболее существенные поля развития этих осадков отмечены в центральной части района исследований на глубинах свыше 36–38 м, где практически не сказывается гидродинамическое воздействие. Они представляют собой слабоуплотненный обводненный творожистый осадок, иногда с запахом сероводорода.

**Особенности загрязнения.** Финский залив достаточно сильно загрязнен. Большое количество самых разнообразных веществ промышленного происхождения поступают в бассейн каждый день. Эти вещества попадают в основном либо с речными выносами, либо из точечных источников на суше и на акватории. Санкт-Петербургский регион вносит значительную часть в общую эмиссию загрязняющих веществ в Невскую губу, Финский залив и Балтийское море. Это высоко индустриализованная область. При этом многие предприятия устарели в техническом и технологическом отношении и для соответствия новым экологическим требованиям им необходима модернизация. Санкт-Петербург с его пятимиллионным населением является главным поставщиком загрязнителей. Приблизительно 4,4 млн кубических метров неочищенных стоков, содержащих около 2 тыс. тонн разнообразных химических веществ, поступает в залив каждый день ( $1,6 \text{ км}^3 \cdot \text{год}^{-1}$ ). Большую часть поступлений составляют бытовые стоки. При этом около 50–70% последних поступает в реку Неву и Невскую губу без какой-либо очистки. Помимо фоновой нагрузки дополнительные инъекции загрязнителей поступают в результате портовых операций, интенсивного судоходства, драгирования и дампинга грунта. Наиболее важными в экологическом отношении субстанциями, поступающими перечисленными способами являются нефтепродукты, тяжелые металлы и радионуклиды  $^{137}\text{Cs}$ .

### Динамические типы дна

**Динамические факторы** в значительной степени управляют процессами формирования донных отложений. Для оценки литодинамического потенциала в придонном слое при дефиците гидродинамической информации использовался косвенный метод, основанный на изучении морфологических особенностей дна и закономерностей распределения гранулометрических фракций-индикаторов [7, 8]. Наиболее точно связь между седиментологической ситуацией на дне и силовым гидродинамическим полем отражает распределение алевроглинистого материала. Это закономерно, так как тонкие частицы наиболее

подвижны и легко переходят во взвешенное состояние. Следует подчеркнуть, что распределение тонкого осадочного материала не только высвечивает особенности седиментации, но позволяет в определенной мере выяснить и геоэкологические особенности состояния аквальной системы, так как большинство загрязнителей демонстрирует значительную тягу к различным типам тонких частиц [9]. Анализ данных по морфологии дна и характеру динамических процессов, связанных с водной массой и осаждением вещества, а также детальное изучение литологических особенностей (прежде всего эмпирических данных по распределению тонких фракций) позволили провести динамическое районирование дна и оконтурить в восточной части Финского залива зоны эрозии, транспортировки и аккумуляции (рис. 2).

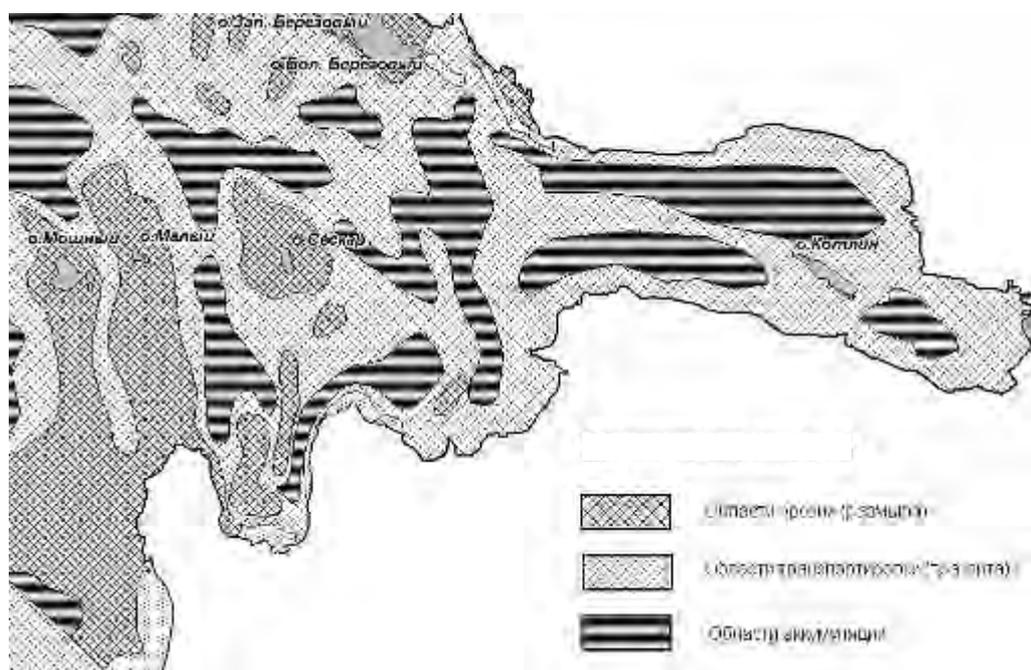


Рис. 2. Динамические типы дна

*Области эрозии* располагаются там, где нет явного осаждения тонкого осадочного материала, а напротив, идет его направленный вынос. Они более обычны в береговой зоне на глубинах до 15 м, но встречаются и в пределах подводных поднятий, где связаны преимущественно с положительными формами рельефа, включая подводные гряды. Для них характерны плотные или консолидированные осадки: от выходов коренных пород до плотных ледниковых глин [2].

*Области транспортировки (транзита)* преобладают там, где идет прерывистое осаждение тонких осадочных частиц или агрегатов, из-за того, что периоды аккумуляции сменяются интервалами ресуспензии и транспортировки. Этот тип дна приурочен к областям относительного

мелководья на глубинах от 10 до 25 м. Осадки в пределах областей транзита очень изменчивы: от песков до глинистых алевритов. В силу частого изменения направленности (знака) седиментологических процессов, здесь широко распространены смешанные осадки.

В областях аккумуляции материал алевро-глинистой размерности отлагается непрерывно, образуя так называемое «мягкое дно». Это области окончательного осаждения наиболее тонкого материала природного и техногенного происхождения – «конечные станции». Крупная зона аккумуляции голоценовых осадков (седиментационный бассейн) находится к западу от траверза мыс Стирсудден – мыс Шепелев. Содержание фракции <0,01 мм составляет здесь 90%. Мощность современных осадков варьирует в зависимости от глубины: на глубине 35 м она достигает 1–2 м. К югу и к западу интенсивность современного осадконакопления снижается, появляются смешанные алевро-песчано-глинистые осадки (миктиты) с гравием.

Существуют вполне отчетливые связи между динамическими условиями на дне, а также загрязнением осадков. Контаминанты гораздо более заметно проявляются в рыхлых, тонких и богатых органикой отложениях, характерных для областей аккумуляции. Это закономерно, так как большинство загрязняющих веществ, в том числе и токсичных, распространяются в природных водах не в свободной форме, а присоединившись к различным частицам и агрегатам органического и неорганического вещества аллохтонного и автохтонного происхождения, взвешенным и перемещающимся другим способом, которые могут быть названы «несущими» частицами. Они управляют распространением загрязняющих веществ (ЗВ) и до какой-то степени регулируют их потенциальное экологическое действие.

### **Природный фоновый уровень, интенсивность и степень загрязнения донных отложений**

Важной задачей геоэкологических исследований аквальных систем является установление интенсивности и общей степени загрязнения донных отложений. При этом интенсивность загрязнения или фактор загрязнения отражает связь между концентрацией загрязняющего компонента в современных отложениях и природной фоновой концентрацией:

$$C_f^i = \frac{C_{0-x}^i}{K_n^i},$$

где  $C_f^i$  – интенсивность загрязнения (фактор загрязнения) для элемента или соединения  $i$ ;  $C_{0-x}^i$  – эмпирически установленная концентрация

субстанции в поверхностном слое осадка (0-х см);  $K_n^i$  – природная фоновая концентрация элемента.

Согласно Л. Хокансону [9] фоновое содержание элемента соответствует наименьшему (асимптотическому) значению, полученному в колонке осадка (рис. 3). Природное распределение (кривая 2), зависящее от степени уплотнения осадка, процессов диффузии и биотурбации, в ряде случаев достаточно трудно установить корректно. Поэтому при упрощенном подходе загрязнение осадка соответствует общей площади (интегралу) между эмпирически установленной кривой (3) и природным фоновым уровнем (линия 1). Такое упрощение допустимо, поскольку при существенном загрязнении осадков различие между линией (1) и кривой (2) вероятно будет не столь существенным по сравнению с различиями между линией (1) и кривой (3).



Рис. 3. Загрязнение донных отложений

Природный фоновый уровень может быть определен несколькими способами. В нашем контексте отметим лишь две альтернативы. Первая состоит в том, чтобы установить общий геологически выверенный уровень оценки, например, базирующийся на данных, приведенных в ряде работ [10, 11, 4] с тем, чтобы использовать этот стандартный уровень для сравнения. Суть второй состоит в установлении доиндустриального уровня для каждой грунтовой колонки. В этом случае расчет фонового содержания следует вести с учетом статистических закономерностей. Согласно этому природная фоновая концентрация ( $K_n^i$ ) должна быть установлена как среднее значение ( $\bar{X}$ ) плюс стандартное отклонение  $S$ , т. е.

$$K_n^i = \bar{X} + S.$$

В соответствии с этой методикой были определены фоновые содержания ряда токсичных тяжелых металлов для восточной части Финского залива (табл. 1). Природная фоновая концентрация нефтепродуктов в тонких осадках Балтийского моря составляет  $1500 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ . Это значение было использовано для расчетов уровня накопления данного загрязнителя в осадках залива. Фоновое значение радиоактивности  $^{137}\text{Cs}$  в осадках составило  $300 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2}$ . Оценка активности радиоцезия проводилась в кернах из областей аккумуляции, в которых удавалось проследить распределение нуклида по глубине до величин ниже предела обнаружения (рис. 4).

Таблица 1

**Фоновые концентрации некоторых загрязняющих веществ в донных отложениях ( $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ )**

Загрязняющие вещества	Фоновые концентрации
Pb	52
Cr	83
Ni	48
Zn	184
Cu	58
Co	19
Cd	0.7
Hg	0.15
Нефтяные углеводороды (НУ)	1500

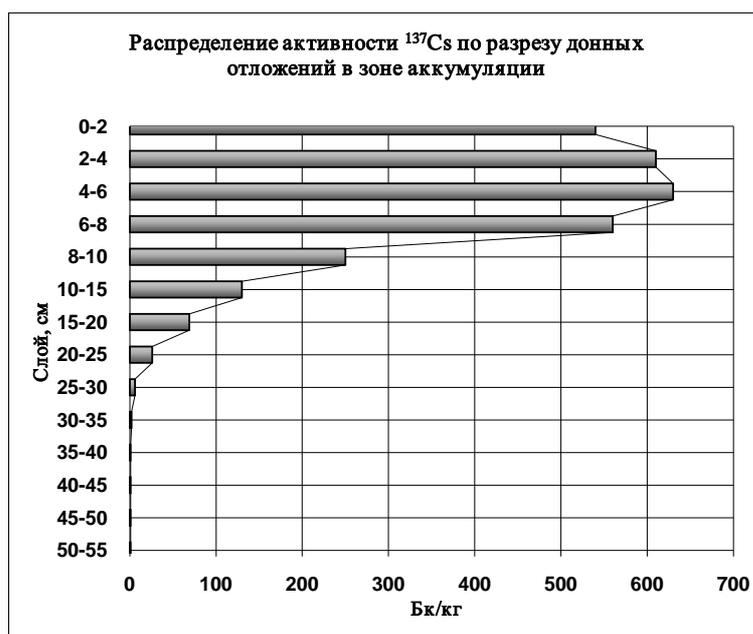


Рис. 4. Распределение активности радиоцезия по разрезу донных отложений

В расчетах использовались только данные анализа проб из областей аккумуляции. Материал из областей эрозии и транспортировки в основном показывает одномоментные содержания загрязнителей, и если данные по этим двум динамическим обстановкам учитывать, они только снизят представительность результатов.

Интенсивность (фактор) загрязнения подсчитывается для отдельных элементов (табл. 2). Если  $C_f^i \geq K_n^i$ , конкретная субстанция определяется как загрязняющая. Если  $C_f^i < K_n^i$ , субстанция считается не загрязняющей или консервативной. Л. Хокансон [9] предлагает следующие градации для оценки степени загрязнения: если  $C_f^i < 1$  – низкая, свидетельствующая о незначительном загрязнении водной системы изучаемым элементом или соединением;  $1 \leq C_f^i < 3$  – умеренная;  $3 \leq C_f^i < 6$  – значительная,  $C_f^i \geq 6$  – высокая интенсивность загрязнения.

Таблица 2

## Интенсивность загрязнения донных отложений в зонах аккумуляции

Загрязняющие вещества / Интенсивность загрязнения									
Pb	Cr	Ni	Zn	Cu	Co	Cd	Hg	HУ	<sup>137</sup> Cs
1,5	1,6	1,4	1,7	1,7	1,2	1,1	0,2	0,3	1,9

Общая степень загрязнения ( $C_d$ ) может быть определена как сумма всех загрязняющих факторов, больших, чем 1, для данного бассейна, области, района и т. д.:

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i = \sum_{i=1}^n \bar{C}_{0-1}^i / K_n^i.$$

При таком подходе в качестве параметров для оценки имеется интенсивность загрязнения для отдельных субстанций и степень загрязнения, учитывающая тотальное содержание ЗВ в осадках. При этом, если  $C_d < n$  (где  $n$  – количество загрязняющих компонентов), то степень загрязнения низкая;  $n \leq C_d < 2n$  – умеренная;  $2n \leq C_d < 4n$  – значительная;  $C_d \geq 4n$  – высокая. Общая степень загрязнения на основе данных по отдельным компонентам составила 12,6, что отвечает умеренному загрязнению. При этом загрязняющие компоненты ранжируются следующим образом:

$$^{137}\text{Cs} > \text{Zn}, \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Cd} > \text{HУ} > \text{Hg}.$$

В приведенных расчетах по загрязнению осадков нет данных по искусственным загрязняющим веществам, поскольку существуют сложности методического характера для определения их фоновых значений. Вместе с тем, такие опасные компоненты, как синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), полихлорированные бифенилы (ПХБ), хлорорганические

пестициды (ХОС) и другие в осадках восточной части Финского залива присутствуют в существенных количествах.

Полученные результаты дают возможность оценить степень и структуру или, иными словами, качество донных отложений восточной части Финского залива. Характер загрязнения с использованием понятий «загрязняющий фактор» и «общая степень загрязнения» описывается единым стандартизированным и количественным способом. Предложена единая основа для контроля и сравнения разных бассейнов (областей), что позволит свести к минимуму субъективные предположения.

Терминология и границы между различными уровнями загрязнения могут обсуждаться. Предлагаемые термины и предназначены служить одним из примеров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы исследования и математического моделирования экосистемы Балтийского моря. Вып. 5. Экосистемные модели. Оценка современного состояния Финского залива./ Под ред. И. Давидана, О. П. Савчука. Speciality: hydrometeorological support for forces and means of the Navy. СПб: Гидрометеоздат, 1997. – 150 с.
2. Финский залив в условиях антропогенного воздействия / Под ред. Румянцев В. А., Драбкова В. Г. – СПб, 1999. 363 с.
3. Усенков С. М., Кадочников А. Н., Кондратьев А. В. Оценка геоэкологической обстановки в субаквальной части парка Монрепо. Сб. научных трудов ин-та Гипроникель. 1992.
4. Usenkov S. Contamination of harbor sediments in the eastern Gulf of Finland (Neva Bay), Baltic Sea // Environmental Geology. Speciality: hydrometeorological support for forces and means of the Navy. – 1997. – V. 32. – No 32. – P. 274–281.
5. Бетин В. В., Пантелеев П. В. Карты поверхностных течений Финского и Рижского заливов, уточненные по материалам аэрофотосъемки течений 1966 г. / Сб. работ ЛГМО. – 1997. – Вып. 4. – С. 3–42.
6. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 3. Балтийское море. – Вып. 1. – СПб: Гидрометеоздат, 1992. – 450 с.
7. Усенков С. М., Ситников Т. А. Геоэкологические аспекты донных осадков Ладожского озера // Литология и полезные ископаемые. – 1997. – №6. – С. 649–660.
8. Усенков С. М., Щербаков В. А. Свешников А. Г. Природный седиментогенез и техногенез в Ладожском озере. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. – 151 с.
9. Håkanson L. Metal monitoring in coastal environments // Metals in coastal environments of Latin America. Berlin: Springer Verlag, 1988. – P. 239–25.
10. Бутылин В. П., Козин М. Б. Геохимия поверхностных отложений / Геология субаквальной части зоны сочленения Балтийского щита и Русской плиты в пределах Финского залива. – СПб: ВСЕГЕИ, 1989. – С. 65–70.
11. Salomons W., Forstner G. T. W. Metal in the hydrocycle. Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 1984. – 349 p.

Bottom Sediments as Indicator of Contamination in the Eastern Gulf of Finland, the Baltic Sea

**S. M. Usenkov**

**(St. Petersburg State University)**

*Bottom sediments are considered as the archive of information on the water systems state. Based on the sedimentological analysis in the eastern part of the Gulf of Finland, the accumulation zones of contaminants are established; the extent of the bottom sediments contamination is evaluated. The potential ecological risk increases with the number of the*

contaminating components. From this, the degree of sediment contamination was defined as sum of all contaminating factors larger than 1. The total degree of contamination, based on the separate components data, was 12.6, which corresponds to the moderate contamination. The contaminating components profile is  $^{137}\text{Cs}>\text{Zn}$ ,  $\text{Cu}>\text{Cr}>\text{Pb}>\text{Co}>\text{Cd}>\text{HY}>\text{Hg}$ . The obtained results enabled the degree and structure or, in other words, the quality of the bottom sediments in the Eastern Gulf of Finland to be evaluated.

ГРНТИ 44.09.37

### **НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

**П. И. МАЛЕЕВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье приводится обзор публикаций по созданию источников энергии, не использующих традиционные виды топлива, и источников с аномальным энергобалансом.*

Энергия – основа жизни, а также работы приборов и устройств различного назначения. Однако КПД существующих источников энергии относительно низок. Кроме того, запасы органического топлива на Земле иссякают со все возрастающей скоростью, его добыча, переработка и транспортировка к потребителю постоянно дорожают. Вместе с тем при сжигании каждого килограмма традиционных видов топлива расходуется такое же (по массе) количество кислорода и образуется большое количество углекислого газа. Использование ядерных реакторов (а их в 30 странах уже 437) не безопасно из-за возможных аварий, к тому же они вырабатывают плутоний, который может быть использован для создания ядерного оружия. Один ядерный реактор на 1000 мВт за год вырабатывает плутония на 40–50 ядерных зарядов. Возможности использования термоядерной энергии в ближайшие десятилетия проблематичны из-за технических трудностей. Весьма серьезны и экологические проблемы использования традиционных источников энергии. Поэтому актуальным становится поиск нетрадиционных способов решения энергетической проблемы.

Одним из направлений такого поиска может явиться использование явлений, связанных с аномальным энергобалансом, когда выделяемая на нагрузке энергия больше, чем затрачиваемая первичным источником питания, что, однако, не означает, что нарушается закон сохранения энергии. Такие явления регулярно наблюдаются как в нашей стране, так и за рубежом, по крайней мере, на протяжении последних 70–80 лет. Ряд таких явлений описан в сборнике [1].

По-видимому, одним из первых эффект аномального энергобаланса использовал Никола Тесла. Его патенты посвящены беспроводным способам передачи электроэнергии на значительные расстояния с минимальными потерями

или без них [2–5]. В 1931 г. он испытал легковой автомобиль, движимый электроэнергией источника с аномальным энергобалансом, когда на выходе получается больше энергии, чем на входе. На вопрос, откуда она получается, изобретатель не дал ответа, хотя автомобиль развивал скорость до 130 км/ч. Агрегат, вырабатывающий электричество с аномальным энергобалансом, получил название конвертера. Известно, что в конвертере Тесла использовались антенна и электровакуумные приборы. Антенна была использована и в конвертере американского изобретателя Морея. В 1937 г. его конвертер выдавал мощность около 3,5 кВт при первоначальных затратах 100 Вт и весил 25 кг. В 1939 г. им был разработан конвертер мощностью около 50 кВт [1].

В СССР эффекты аномального энергобаланса наблюдались профессором А. В. Чернетским с сотрудниками при исследовании саморегулирующих разрядов. Он проводил опыты на обычном трансформаторе, но с включением в контур конденсаторов и разрядника. При этом удалось получить избыточную электрическую мощность в 10–15 раз выше первичной, затраченной [6].

В Оренбурге на одном из предприятий были так переоборудованы серийные трехфазные трансформаторы ТМ-40 10/04 кВ так, что стали потреблять из сети в 10 раз меньше электроэнергии при той же, номинальной (40 кВт) мощности, выдаваемой потребителю [7].

Избыточную мощность могут выдавать и электрические двигатели. А. А. Мельниченко удалось с помощью подбора трансформатора и емкостей получить в 10–15 раз большую мощность на валу двигателя, чем потребляемую из сети [8]. Примером реализации двигателя с избыточной энергетикой может служить и электромобиль Тили [9].

Уже более 20 лет умельцы настраивают двигатели гоночных (и не только) машин на максимальную мощность, добиваясь значительной экономии топлива. Настройка осуществляется за счет обеспечения предельно бедной топливно-воздушной смеси, регулировкой угла зажигания и мощности искры, добавления катализаторов сгорания и др. Так А. В. Чистов за 20-летний период настроил на режим повышения мощности и экономии топлива около 200 двигателей автомобилей. Экономия топлива составляла от 30 до 70 % [10].

В книге [11] утверждается, что в Санкт-Петербурге 25 июля 2001 г. впервые в мире на карбюраторном двигателе автомобиля ВАЗ-2106 была осуществлена работа на холостом ходу вообще без органического топлива, а 25 августа 2002 г. была осуществлена работы двигателя такого же автомобиля в бестопливном режиме при движении со скоростью 120 км/час. Расход топлива наблюдался лишь при пуске и прогреве двигателя, а также на переходных режимах и перегазовках. При общем пробеге более 7000 км расход топлива в среднем составил 1,0–1,5 л на 100 км пути. К сожалению, несмотря на единичные успехи индивидуальной настройки двигателей, результаты все еще весьма нестабильны. Тем не менее они имеются. В лучших образцах расход топлива снижался в 5–6 раз, а в выхлопных газах

наблюдалось повышенное содержание водяного пара, углерода в виде мелкого графита и пониженное содержание углекислого газа.

Для уменьшения расхода топлива в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) предложен ряд способов и устройств. В частности:

- устройство для обработки воздуха, предназначенное для озонирования воздуха перед его смешением с топливом [12];
- устройство и способ предварительной подготовки топлива, включающие первичное воздействие на топливо катализатором на основе олова и последующую обработку топлива магнитным полем с воздействием на гранулированный катализатор [13];
- способ магнитной обработки топливно-воздушной смеси на основе постоянных магнитов [14];
- способ повышения энергии рабочей среды, заключающийся в пропускании через эту среду электровозбуждающего импульса (магнитного поля, лазерного луча, электрической дуги) [15];
- устройство для обработки компонентов топлива с помощью катализаторов [16];
- устройство для магнитной обработки топливно-воздушной смеси [17];
- способ, заключающийся в использовании энергии расширения газообразного и предварительно нагретого жидкостного тела [18];
- способ обработки топлива путем введения в него воды [19];
- способ получения тепловой энергии на основе схлопывания кавитационных пузырьков воды, возникающих за счет периодически изменяющегося давления [20].

Одним из основных устройств в патентах Тесла является трансформатор [21]. Анализ показывает, что в системах зажигания автомобильных двигателей применяется нечто подобное (индукционная катушка, прерыватель и свечи зажигания), обеспечивающее 20-кратное увеличение энергии искры.

В последние годы к исследованию устройств с аномальным энергобалансом подключается все больше специалистов в США, Швейцарии, Австралии, Англии, Японии и других странах.

В 1978 г. швейцарцем П. Бауманом был разработан электростатический конвертер, представляющий собой комбинацию электростатического двигателя с электростатической машиной [22]. Этот конвертер, названный «Тестатика», весил около 20 кг и запускался вручную, путем вращения двух дисков в противоположные стороны. Накопление энергии производилось в Лейденских банках. Через несколько секунд после запуска конвертер вырабатывал около 3 кВт мощности на активной нагрузке (напряжение 300 В, ток 10 А).

В 1991 г. в США У. Хайдом получен патент на электростатический конвертер, опытный образец которого вырабатывал мощность 20 кВт при

напряжении 300 кВ. При этом потребляемая на входе мощность составляла 10 процентов мощности на выходе генератора [1].

Аномальным преобразователем энергии является и трансформатор Хабборда (1919 г.), состоящий из центральной катушки (катушки возбуждения) и 8-ми последовательно соединенных четверть-волновых катушек. Действующие образцы установок на новых принципах разработаны по патентам [23–25].

В России создан экологически безвредный источник тока небольшой мощности, работающий на соленой воде [26, 27]. Запатентован катод, который свободно пропускает воздух. Вместо электролита – слабосоленая вода и расходуемый анод из магния или алюминия. Ток вырабатывается при реагировании анода с кислородом воздуха. Каждая ячейка дает 1 вольт напряжения. Налажено небольшое производство таких аккумуляторов. Сообщалось также, что в России разработана водно-топливная эмульсия «Аквазин», обеспечивающая работу двигателя с 10% процентами воды [28]. Отмечается, что серийный двигатель сможет работать и с 58% воды. О воздушно-алюминиевых элементах для автомобиля сообщается и в статье [29].

В установке К. Шауолдерса [30] в запаянной стеклянной трубке с анодом и катодом под действием положительного напряжения на аноде возникает электронный сгусток. При движении к катоду этот сгусток проходит участок трубки, на который намотан провод. В этом проводе возникает импульс тока. Энергия этого импульса в эксперименте в 30 раз превышала ту, которая была затрачена на формирование сгустка.

В 1990 г. в США С. Мейером было запатентовано устройство, в котором энергия сгорания кислорода и водорода превышает энергию, затраченную на их разложение. Проведены испытания такого конвертера на автомобиле «Фольксваген» с двигателем объемом 1500 см<sup>3</sup>. При этом расход воды на 100 км пробега составил 2,6–2,8 л [1].

Впервые топливно-водородные элементы были разработаны для космических ракет. Позднее они были установлены и на экспериментальных автобусах фирмы «Крайслер». На топливно-водородных элементах работает «Ока», созданная в Свердловске [31]. Японская фирма «Хонда» намерена в 2006 г. выпустить партию электромотороллеров, работающих на водороде. Газ вырабатывается из метанола [32]. Водород можно получить лишь двумя способами: электролизом воды и переработкой органических видов топлива (нефти, угля, газа). Главная проблема водородной энергетики – безопасное хранение водорода.

Существует много патентов на двигатели, использующие и энергию постоянных магнитов. Одно из таких устройств запатентовал в 1978 г. Джонсон. Судя по всему, работа двигателя обеспечивается взаимодействием неоднородного внешнего магнитного поля с материалом постоянного магнита. В соответствии с существующим мнением построение двигателя на постоянных магнитах невозможно, поскольку согласно уравнениям

Максвелла магнитное поле не производит работы, в частности без использования сверхпроводников. Однако, как показал профессор К. М. Поливанов, это утверждение действительно справедливо, но только для случая отсутствия материальной среды, т. е. для вакуума. При наличии среды, обладающей остаточной намагниченностью, ситуация существенно меняется, и в таких случаях возможно существование систем с динамическим равновесием [1].

В статье [33] описано получение энергии из кремния без углерода и кислорода. Оказывается, если нагреть кремниевую пыль до температуры более 500 градусов, она может гореть в азоте. Катализатором при этом служит медь. Таким образом, «песок – нефть будущего». Для этого его необходимо тщательно очищать. Углерод и кремний в таблице Менделеева находятся рядом.

Наиболее отработанными источниками альтернативной энергии в настоящее время следует считать, по-видимому, вихревые генераторы. В них в качестве высококалорийного топлива используется вода. Патенты на такие источники впервые появились в 1993 г. [34–36]. В этих патентах предлагаются устройства, в которых интенсивное завихрение воды приводит к выделению из нее дополнительного тепла, делающего отношение получаемой тепловой энергии к затрачиваемой больше единицы. Уже к 1995 г. такие генераторы первого поколения (генераторы Ю. С. Потапова), выпускались в Кишеневе и в России пяти типоразмеров мощностью от 5 кВт до 65 кВт в количествах до несколько тысяч штук в год. Они экспортировались в страны СНГ и Восточной Европы. Их стоимость – от 1700 у. е. до 6 тыс. у. е. в зависимости от вырабатываемой мощности. С их помощью отапливались помещения в тех местностях, где высоки расходы на газ. Использование таких генераторов позволило на 30–40 % снизить расходы на отопление.

С 2000 г. модифицированные теплогенераторы данного типа выпускает российский завод «СЕВМАШ» в г. Северодвинске. Эти генераторы потребляют 22 кВт электрической мощности и производят до 40 кВт тепловой энергии в виде горячей воды [37].

В 2001 г. разработаны и испытаны тепловые генераторы следующего поколения. Они оказались конструктивно проще, компактнее, а самое главное, дешевле прежних. Их производство налажено на ковровском заводе им. Дегтярева и на опытном заводе УГЛЕМАШа в г. Истра. Такие теплогенераторы позволяют в два раза снизить затраты на отопление [37].

Особый интерес представляют двигатели Серла [38]. Они состоят из двух основных деталей: кругового магнита – кольца и цилиндров – магнитных роликов, расположенных с внешней стороны кольца соосно с ним вдоль его цилиндрической образующей по кругу. Кольцо и ролики намагничивают в осевом направлении одновременно в магнитном поле при 180 Ампер-витков с добавлением небольшой компоненты переменного тока около 100 мА частотой 10 Гц. Ролики притягиваются к круговому магниту и могут кататься по нему. Если толкнуть один ролик, то будут перекатываться и все остальные.

При некотором большом числе оборотов роликов они приходят в самостоятельное вращение, увеличивая скорость до тех пор, пока не придут в динамическое равновесие. Добавив С-образный электромагнит, Серл получил генератор электрической энергии. В 1952 г. был построен первый генератор диаметром около 3 футов, мощностью примерно 100 Вт. При некотором числе оборотов генератор, не переставая вращаться, стал подниматься вверх, отсоединился от двигателя и взмыл, скрывшись из вида. В дальнейшем было изготовлено и испытано более 10 подобных генераторов. Самый большой из них достигал 10 м в диаметре.

Примерно через 50 лет появилось сообщение [39] об изготовлении и испытании двигателя Серла и в России в институте Высоких температур РАН и ОАО «НПО Энергомаш» им. акад. В. П. Глушко. Было использовано 110 кг магнитов для статора и 115 кг для роликов. Общий вес платформы составлял 350 кг. По мере раскрутки ротора вес платформы изменялся. При мощности 7 кВт изменение веса составило 35%. При вращении по часовой стрелке вес уменьшался, при вращении против – увеличивался.

Близким по принципу работы также является описанный в статье [40] электрогенератор с неподвижными постоянными магнитами. Запатентован [41] и реально работает двигатель, избыточная мощность которого составила 30%.

Генератор, работающий на альтернативной энергии, описан и в работе [42]. Модель генератора реально работала. Коэффициент избыточной мощности оказался более 100.

Г. И. Шипов построил на двух гироскопах вездеход, энергия для движения у которого берется, по его мнению, из вакуума [43].

Инженер из Вологды Ф. Осиповский изготовил роторный двигатель, который расходует в 2–3 раза меньше топлива, чем карбюраторный или дизельный [44].

В Японии Иосиро Накомацу разработал источник энергии, черпающий ее, по его мнению, из космоса, а также двигатель, работающий на воде [45]. Ряд энергоисточников, работающих с КПД больше единицы, описан в сборнике [46].

В Швейцарии разработаны двигатели Пауля Баумана, которые выдают 1000 единиц энергии на одну единицу затраченной [47].

В США на кавитационных теплогенераторах на промышленных образцах достигнут коэффициент преобразования 2,8–3,5 [48].

Запатентован также усовершенствованный вихревой теплогенератор с коэффициентом избыточной мощности 1,2–1,7 [49].

Своеобразную энергетическую установку на энергии окружающей среды предложил П. В. Щербак [50]. Его установка из трех дисков поднялась на 1,5 м, а затем выше и скрылась.

Для объяснения явлений, лежащих в основе работы рассмотренных альтернативных источников энергии предложено много теорий. Большинство из них так или иначе связано с физическим вакуумом. Физический вакуум

представляется сложным квантовым динамическим объектом, который проявляет себя через флуктуации. Это динамическая система, обладающая интенсивными флуктуациями, которые и могут быть источниками энергии. Полагают, что лишь 4% Вселенной приходится на понятное нам вещество, состоящее из атомов. Остальные 96% – это некие субстанции: темная материя (23%) и темная энергия (73%). Отсюда следует, что энергия вакуума не является нулевой. Подтверждением этому, в частности, является то, что Вселенная не просто расширяется, а расширяется с ускорением [51].

А. Березин предполагает появление аномального энергобаланса в системе за счет преобразования «белого шума» окружающей среды [1]. О. Ф. Авраменко предложил концепцию электронного Бозе-конденсата. По его мнению, Вселенная заполнена не только реликтовым безмассовым фотонным излучением, но и полем конденсата реликтовых электронов типа куперовских пар с отличной от нуля массовой плотностью [1]. Наличие электронного Бозе-конденсата и приводит к аномальному энергобалансу в системах, содержащих разрядники, электролиты, полупроводники, а также в электростатических генераторах.

Е. А. Андреев [11], базируясь на физических предпосылках Д. Х. Базиева [52], развивает иную теорию возникновения альтернативной энергии. В основе его теории лежит следующая идея: Топливо при сгорании поставляет в плазму (пламя) свободные электроны. Но свободные электроны можно получить и из воздуха (кислорода, азота и др.), если это удастся сделать, то необходимость в топливе вообще отпадет.

При горении топлива, например, углерода ( $^{12}\text{C}$ ), углеродные цепочки топлива разрушаются, а их электроны связи становятся свободными. С другой стороны и молекулы кислорода ( $\text{O}_2$ ) воздуха также разрушаются на положительные и отрицательные ионы. Освободившись от углерода, электрон взаимодействует с положительным ионом кислорода. В результате чего выделяется определенное количество энергии. А продукты распада объединяются в устойчивое соединение  $\text{CO}_2$ . Таким образом, тепловая энергия в этом случае выделяется за счет энергии связи молекул кислорода. Следствием горения является реакция окисления углерода. Если же разрушать молекулы кислорода без использования топлива, то необходимость в топливе отпадет. Известно, что в чистом кислороде реакция выделения энергии идет со взрывом, а для ее начала необходимо хотя бы незначительное количество углеводородов (бензина и т. п.), богатых электронами. В воздухе взрыву препятствует азот, молекулы которого, имея отрицательный избыточный заряд, нейтрализуют положительно заряженные молекулы кислорода. Если же иницирующее воздействие достаточно для разрушения азота (молекулы которого в два раза прочнее молекул кислорода, т. к. имеют не один, а два электрона связи), то молекулы азота при этом разрушаются на атомы в том числе и других химических элементов.

Таким образом, в конечном итоге из азота получаются и остаются наиболее устойчивые вещества: углерод и вода ( $\text{C} + \text{H}_2\text{O}$ ). Объемные доли азота и кислорода

в воздухе составляют соответственно 0,79 и 0,21. В продуктах азотной реакции на каждый атом кислорода приходится по 1,12 электрона, что обеспечивает реакцию горения (до  $\text{CO}_2$ ) интенсивнее примерно в 4,27 раза.

Полагают, что в реальных условиях плазму, обеспечивающую азотную реакцию, можно создать в локальной области. Для увеличения энергетической емкости азотной реакции в зону реакции следует вводить вещества, богатые электронами: углеводороды, алюминий и др. Для распада молекул азота на атомы необходимо затратить определенное количество энергии. Осуществить распад можно нагреванием, ударом, взрывом, излучением, электрическим разрядом, химической реакцией и т. п. Так, например, при  $5000^\circ\text{C}$  на атомы распадается более 95% азота, а при давлении 70 Па азот распадается на атомы уже при тлеющем электрическом разряде.

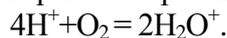
Следовательно, появляются широкие возможности осуществления азотных реакций: в двигателях внутреннего сгорания, в газотурбинных установках, теплогенераторах и др.

Интересные сведения об использовании воздуха в качестве топлива привел Н. А. Жук на научно-технической конференции «Энергетика-2005», проходившей 15–16 июня 2005 г. в г. Харькове. [53]. По его данным в конструкторском бюро завода им. В. А. Дегтярева (г. Ижевск) впервые в мире создан молекулярный двигатель, работающий на одном только воздухе без сжигания обычного топлива. Принцип работы двигателя основан на вихревом движении молекул воздуха со скоростями свыше 500 м/с. Воздух подается от воздухоподводки стандартного типа в турбину, где, совершая работу, выбрасывается в окружающую среду. Запуск двигателя производится от внешнего источника энергии, который затем переключается в автономный режим работы и вырабатывает электроэнергию, 15–30% этой энергии затрачивается двигателем на собственные нужды, а остальные 70–85% – на нужды потребителя. Завод планирует принимать заказы на автономные электростанции с таким двигателем мощностью 200 и 1000 кВт. Мощность созданного образца 50 кВт.

Альтернативную энергию, помимо воздуха, можно получать и из воды. Принцип действия установок, работающих на воде, основан на использовании кавитации. При кавитации вода разрушается на молекулы водяного пара. Возникшие пузырьки пара постепенно растут пока, всплывая, не попадают в более холодную часть, где происходит мгновенная конденсация пара и пузырьки схлопываются. Так происходит в режиме подкипания, а в режиме кипения пузырьки разрываются от большого количества в них пара. В обоих случаях в местах схлопывания возникают большие давления (тысячи атмосфер) и высокие температуры (тысячи градусов). Затраты энергии на разрушение связей между атомами молекул воды на много порядков меньше энергии связи их элементарных частиц.

Необходимо отметить, что вода уже давно используется как горючее. Известно, что если уголь смочить водой перед загрузкой в печь, он лучше греет. Теплотворная способность угля при добавке к нему 20–40 мас.% воды возрастает

на 10–20% [54]. Водно-топливные эмульсии в качестве топлива используются и в двигателях внутреннего сгорания, что ведет к уменьшению расхода топлива. Одно из объяснений этого феномена сводится к следующему [55]: под воздействием высокой температуры часть молекул воды распадается на отрицательные ионы  $\text{OH}^-$  и положительные  $\text{H}^+$ , эти ионы тут же соединяются с кислородом воздуха, то есть сгорают с образованием ионов воды:



Эти ионы воды на металлических стенках двигателя нейтрализуются нейтронами металла. Тепловая энергия, выделяющаяся при этой химической реакции много больше затрат тепла на диссоциацию молекул исходной воды на ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ . Отсюда и дополнительная энергия.

На воде, в принципе, могут быть построены, струйные и дроссельные кавитационные установки, вихревые теплогенераторы, виброрезонансные установки, дисковые ультразвуковые теплогенераторы, электрогидравлические установки и др. Так, например, в Краматорске работает камерный теплогенератор с коэффициентом избыточной мощности 1,3–1,4, в котором вода дросселируется из одной камеры в другую, третью [56]. К этому же типу установок относится и струйный генератор с избыточной мощностью, разработанный РКК «Энергия» [57]. Предложен и тепловой ультразвуковой теплогенератор [58].

Таким образом, имеются широкие возможности развития установок альтернативной энергетики, использующие, в частности, воздух и воду как созданные природой аккумуляторы энергии. Важно то, что эти возможности развития в ряде случаев подкреплены не только полученными патентами, но и созданными действующими образцами, которые находят практическое использование.

По данным, приведенным в статье [59], в настоящее время потребности человечества в энергии лишь на 2,6% удовлетворяются за счет возобновляемых энергоисточников (главным образом, гидроэлектростанций). Остальные 97,4% составляют невозобновляемые источники энергии: нефть – 44%, газ – 26%, уголь – 25%, остальная энергия – 2,4%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Будущее открывается квантовым ключом. / Сб. статей академика. Р. Ф. Авраменко. – М. «Химия», 2000. – 352с.
2. Tesla N. Method of Intensifying and Utilizing Effects Transmitted Through Natural Media U.S. pat. No 685953, nov. 5, 1901, June 24, 1899.
3. Tesla N. Method of Utilizing Effects Transmitted Through Natural Media. U.S. pat. No 685954, nov. 1901, from Aug. 1, 1899.
4. Tesla N. Apparatus for Utilizing Effects Transmitted from a Distance to a Receiving Device Through Natural Media. U.S. pat. N 685955, nov. 1901, from June 24, 1899.
5. Tesla N. Apparatus for Utilizing Tffects Transmitted Through Natural Media. U.S. pat. No 685956, nov. 5, 1901, from Aug. 1, 1889.
6. Чернетский А. // Новая энергетика. – 2003. – № 2. – С. 23.
7. Калдошин И. П. Трансформатор Тесла. // Газета «Яикъ». – №.38. Оренбург. 18. 09.2002
8. Мельниченко А. А. Включите резонанс. //Журнал «Свет». – 1997. – №.6. – С. 26–29.
9. Тили К. Электрические транспортные средства. // Журнал «Энергетика». – 2003. – № 2. – С. 53–55

10. Чистов А. В. Способ получения энергии. – Положительное решение на выдачу патента по заявке № 94010375 от 24.03.1994 г.
11. Андреев А. И. Основы естественной энергетики. – СПб: Невская жемчужина, 2004. – 582 с.
12. А.С. СССР. № 1341366. F 02M 27/00. – Бюлл. №3 от 30.09.1987 г.
13. Патент РФ № 2028491. F 02 M 27/00. – Бюлл. №4 от 9.04.1995 г.
14. А.С. СССР. № 1384814. F 02 M 27/00. – Бюлл. №12 от 30.03.1988 г.
15. Патент Великобритании No 2241746. F 02 G 1/02. – Реф. журн. «Изобр. стр. мира». – Вып. 65. №5. 1993. – С. 22
16. Патент РФ №1799429.F 02 M 27/00. – Бюлл. №8 от 28.02.1993 г.
17. А.С. СССР. №1477929. F 02 M 27/00. – Бюлл. №17 от 07. 05.1989 г.
18. Патент РФ № 2075599. F 01 K. 21/00. – Бюлл. №8 от 20. 03. 1997 г.
19. А.С. СССР. №1254191. F 02 M. 27/00. – Бюлл. №32 от 30.08.1986 г.
20. Патент РФ. № 2054604. F 24 J. 3/00. – Бюлл. № 5 от 20.02.96 г.
21. Большая Советская энциклопедия. «Трансформатор Тесла». 1952 г.
22. Авраменко Р. Ф., Николаева В. И., Пашина А. С. Энергетика будущего – альтернативный подход // Аномалия. Научно-информационный вестник ИТАР ТАСС и Ассоциации «Экология непознанного». – 1994. №1. – 94(23). – С. 7–9.
23. R. Mckie. U.S. pat. No 146 395, Sept. 8, 1992.
24. St. A. Mayer. U.S. pat. No 4,798, 661, 1989.
25. St. A. Mayer.U.S. pat. No 4, 826, 581, 1989.
26. Коновалов Б. Аккумулятор, которого хватит на всю жизнь // Инженер. – 1998 – № 3. – С. 2–3
27. Кулаков А., Севрюк С., Формаковская А. Автомобиль заправляется алюминием // Наука и жизнь. –1998 – № 2. – С. 61
28. Руденко А. Сила бензина в воде // Инженер. – 1998. – № 8. – С. 35–38
29. А. К. Батарейки на всю жизнь // Инженер. – 1998. –№ 8. – С. 22–23
30. Шипов Г. И. Теория физического вакуума. – 1997. – С. 282–284
31. Интервью с В. И. Патриком // Общество и экология – 2004. – № 6(51)
32. Видородный мотороллер. БИНТИ // Наука и жизнь. – 2005. –№ 1. – С. 16
33. Новая энергетика без углерода и кислорода. Гипотезы, предложения, факты // Наука и жизнь. – 2001. –№ 2. – С. 48–50.
34. Григгс Дж. Патент США. № 5188090 от 23.02.93.
35. Потапов Ю. С. Республика Молдова. Патент № 167 от 18.03.93.
36. Потапов Ю. С. РФ Пат. № 2045715.1993 г.// Бюл. изобр. 1995. – № 28.
37. Потапов Ю. С., Фоминский Л. П., Потапов С. Ю. Успехи вихревой теплоэнергетики // Труды Конгресса «Фундаментальные проблемы естествознания и техники». Ч. 1. СПб, 2002. – С. 348–356.
38. S. Gunner Sendberg. John R. P. Searl Effect – Sussex University, 1982.
39. Рошин В. А., Годин С. М. Экспериментальные исследования физических эффектов в динамической магнитной системе.// Сб. матер. межд. Конгресса «Фундаментальные проблемы естествознания и техники». – СПб, 2000. – Т. 1. –№1. –С. 202–205.
40. Rosenthal W., Sweet F. VTA модуль // Заметки об энергии пространства. 1993. – Т. 4. – N.1. <http://ufo.knet.ru/proekt/trioid.htm>
41. Пат. РФ №2141159. 1999 г. Магнитоэлектрический моментный двигатель Вологова / Вологов В. Е.
42. Богомолов В. И. Генератор Маринова-Богомолова // Петербургский аналитик. – 1999. – №7. – С. 49
43. Шипов Г.И. Вездеход без колес. // Газета «Труд», 10.11.2001
44. Осиповский Ф. Супердвижок вологодского Кулибина.// Газета «Труд». – 2000. –№ 9.
45. Накамацу И. Человек – дискета.// Газета «Аргументы и факты». –№18. – 3.05.2000.
46. Фролов А. В. Свободная энергия // Материалы. Междун. конфер. «Новые идеи в естествознании». Санкт-Петербург, 1996.
47. Сапогин Л. Вечные двигатели работают в Швейцарии // Дайжест «24 часа». – 2000. –№2
48. Mallove E. KineticFurnace enters Neww Energy Race// Infinite Energy. – 1998. – V.4. – No 9. –P. 9–15
49. Патент РФ №2132517. 2000. Вихревой теплогенератор / Мустафаев Р. И.
50. Щербак П. В. Материалы междунар. конгр. «Фундаментальные проблемы естествознания и техники». СПб, 2000. –№.1. – С. 299
51. Вибс Д. Вселенная // Российская газета. 2003. – N 86.

52. Базиев Д. Х. Основы единой теории физики. – М.: Педагогика, 1994. – 640с.
53. Жук Н. А. Бестопливный молекулярный двигатель Потапова. Сб. докл. Научно-техн. конф. «Энергетика-2005», 15–16 июня 2005, г. Харьков. – Харьков.: ООО «Инфобанк», 2005. – С. 166–172.
54. А. С. СССР № 1273386, МПК C10L 1/32. Суспензии для сжигания / Незаметдинов А. Б., Горловский С. И. // Бюл. №44, 1986
55. Фоминский Л.П. Как горит вода. // Сб. докл. Научно-техн. конф. «Энергетика-2005», 15–16 июня 2005, г. Харьков. Харьков.: ООО «Инфобанк», 2005. – С. 302–307.
56. Патент Украины 7205А. 1997 г. Тепловой преобразователь мощности / ЗАО Энергоресурс. Донецк.
57. Беклемишев Ю. А., Беклемешева Г. Ю. Новые направления в энергетике. Матер. межд. конф. «Новые идеи в естествознании». – СПб, 1996. – С. 311–314.
58. Патент РФ №2054604. 1996 г. / Кладов А. Ф. Способ получения энергии. Бюл. №5, 1996.
59. Цифры и факты // Наука и жизнь. – 2005. – №9. – С. 6.

## Unconventional Energy Sources

**P. I. Maleyev**

**(GNINGI, RF MoD)**

*The publications devoted to creation of energy sources not using the conventional kinds of fuels and sources with abnormal energy balance are reviewed.*

ГРНТИ 73.34

### **ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**В. С. КРАСОВСКИЙ,**

**А. П. ВАСИЛЬЕВ**

(ФГУП ЦНИИ «Электроприбор»)

*Проанализирован десятилетний опыт создания предприятием инновационных разработок двойного (военного и гражданского) назначения. Рассмотрены основные проблемы и аспекты, влияющие на конкурентоспособность продукции предприятия на внутреннем и внешнем рынках.*

В современных условиях обострения конкурентной борьбы как на внутреннем, так и внешнем рынках экономическая состоятельность предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) в значительной степени зависит от эффективности его инновационной деятельности. Анализируя различные аспекты этой деятельности, можно сделать вывод о том, что ее эффективность определяется следующими основными составляющими:

- возможностью разработки изделий с требуемыми эксплуатационными характеристиками в максимально сжатые сроки;
- оперативностью анализа состояния потребительского рынка и созданием новых или модифицируемых изделий с учетом перспектив востребованности;
- созданием гибкой системы выполнения заказов на производство и организацию сервисного обслуживания изделий.

При этом, как показывает отечественный и зарубежный опыт, как правило, необходимо создавать изделия с возможностью их двойного применения – в гражданской и военной сферах, что связано с ограниченностью потребностей государства в области вооружений.

Основными необходимыми условиями выполнения наукоемких инновационных разработок, к которым относятся большинство современных средств навигации, являются:

- Наличие научно-технического задела, который при разработке изделий можно оперативно реализовывать в основной и смежных областях деятельности.
- Достаточность финансирования работ. Как показывает опыт последнего десятилетия, полагаться на государственную поддержку финансирования разработок практически безнадежно ввиду тенденции к сокращению федеральных целевых программ, крайне низкого уровня выделяемых в рамках оборонного заказа средств на проведение перспективных НИОКР, значительного растягивания во времени воплощения в жизнь судостроительной и кораблестроительной программ. Поэтому единственным реальным источником финансирования инновационных изделий остаются внебюджетные, в основном собственные средства предприятия.
- Наличие коллектива специалистов соответствующей квалификации.
- Совершенствование на предприятии структуры организационного, финансового, производственного менеджмента и, конечно же, активизация маркетинговой деятельности.

Часть предприятий различного типа собственности уже адаптировалось к современным экономическим условиям. Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП ЦНИИ «Электроприбор» – одно из тех предприятий ОПК, которое в это сложное во всех отношениях время сумело не просто удержаться на плаву, но и создать необходимый запас живучести за счет активного использования накопленного научно-технического задела для разработки инновационных проектов различной сложности. При этом для выполнения наиболее наукоемких инновационных проектов достаточно широко используется практика привлечения высококвалифицированных специалистов из других организаций, а также создание временных творческих коллективов. За прошедшее пятилетие номенклатура изделий в основной области деятельности предприятия увеличилась вдвое. Инновационная составляющая в общей номенклатуре производимой институтом продукции превышает 80%.

Наиболее значимые последние разработки – морской гравиметр; бесплатформенные малогабаритные интегрированные инерциально-спутниковые навигационные системы типа «Мининавигация», в основу построения которых заложены волоконно-оптические гироскопы; электронная картографическая навигационно-управляющая система,

являющаяся информационным ядром систем управления движением внутренних водных путей; индукционный лаг; система ориентации (на прецизионных гироскопах) для низкоорбитных космических аппаратов; система инерциальной навигации и стабилизации «Ладога-М»; микромеханический гироскоп; тренажерные системы. Все они созданы на современном техническом уровне, обеспечивающем их конкурентоспособность, и имеют реальный платежеспособный и потенциальный спрос. При этом системы типа «Мининавигация» гражданского назначения уже получили дальнейшее развитие в виде восьми модификаций, в основном как военная техника, а область применения их распространена не только на морские, но и на наземные объекты.

Необходимо отметить, что при проведении инновационных разработок двойного применения существует ряд проблем, влияющих на возможность их продвижения и внедрения.

Прежде всего – это возможность применения электрорадиоизделий иностранного производства (встраиваемых быстродействующих вычислительных средств и электронных устройств), обеспечивающих максимальное повышение функциональных и технических возможностей изделий. Целесообразность их использования определяется отсутствием отечественных аналогов и жесткими требованиями к массогабаритным характеристикам и компактности разрабатываемых устройств, требованиями к надежности и автономности работы, что обусловлено необходимостью обеспечения конкурентоспособности изделий.

Возможность широкого использования отечественных электрорадиоизделий (ЭРИ), модулей и комплектующих изделий ограничена указанными ниже факторами:

- номенклатура ЭРИ, производимая отечественной промышленностью и соответствующая мировому уровню, крайне незначительна;
- государственное финансирование опытно-конструкторских работ по созданию отечественных аналогов ЭРИ иностранного производства (ЭРИ ИП) и освоение их производства российской электронной промышленностью для покрытия существующих потребностей, совершенно недостаточны;
- многие предприятия из-за снижения объемов заказов уменьшили объемы производства ЭРИ и не в состоянии уделять должного внимания вопросам повышения их качества и надежности, а значительное число предприятий вообще прекратило выпуск ЭРИ, либо оказалось за границами Российской Федерации.

В то же время реализация для военных нужд продукции двойного назначения, в которых использованы ЭРИ ИП, затруднена объективными и отчасти субъективными проблемами: нерешенностью организационных вопросов, длительными сроками оформления разрешительных документов, что особенно характерно для систем, в которых применено большое

количество ЭРИ, конструкционных модулей и комплектующих иностранного производства, так как их количество в изделии варьирует от десятков до сотен штук. При этом особенностью сложившейся в стране ситуации является то, что разработка продукции военного назначения, предназначенной на экспорт и проектируемой в том числе на основе изделий гражданского назначения, имеет опережающие темпы по сравнению с созданием аналогов для отечественного ВМФ и, конечно, базируется на использовании ЭРИ ИП.

Наглядным примером негативного влияния использования несовершенной элементной базы на конкурентоспособность изделия может служить создание первого отечественного комплекса «Глобальная морская система спасения на водах» (ГМССБ). Основными препятствиями к его внедрению, обязательному теперь для кораблей ВМФ, могут послужить высокая стоимость и крупные габариты большей части покупных российских радиоустановок, основанных на отечественной элементной базе. При этом ядро комплекса (интегрированный пульт управления, автоматическое зарядное устройство, блоки сопряжения и питания) разработано институтом на основе ЭРИ ИП и соответствует современным техническим и эргономическим характеристикам.

Другой проблемой являются сроки разработки инновационных изделий. В целом, если основываться на формальных сроках проведения опытно-конструкторских работ, длительность создания большинства новых разработок удовлетворяет конъюнктуре современного рынка и составляет даже для наукоемких изделий 3–4 года. Но фактически с учетом промежутка времени от формирования идеи, предварительных проработок до внедрения, реальная длительность увеличивается как минимум в полтора-два раза, что отражается на возможностях внедрения. Как показывает опыт, в частности в области малогабаритных систем навигации и стабилизации, электронных навигационных информационных систем, навигационных тренажеров, конкуренты также активно стараются найти новые и даже нетрадиционные области использования своих изделий. Другим важным аспектом, обуславливающим необходимость минимизации сроков создания изделий, является периодичность обновления современной элементной базы, которая составляет в настоящее время 8–10 лет. Показательным примером в этом вопросе является проводимая модернизация малогабаритной судовой системы курсоуказания «Аврал-ИНЦ» со встроенной бескарданной гировертикалью и системы инерциальной навигации и стабилизации «Ладога-МЭ», созданных в конце 90-х гг.

Немаловажной объективной организационно-технической проблемой для обеспечения создания новых конкурентоспособных на внешнем рынке технических средств навигации различного назначения является отсутствие отечественных гироскопических датчиков среднего и низкого класса точности, в частности волоконно-оптических гироскопов и

микромеханических датчиков, обладающих высокими надежностными характеристиками. Возможность приобретения зарубежных датчиков более высокой точности ограничивается государственным контролем стран-экспортеров.

С другой стороны поставка отечественных изделий двойного назначения на основе инерциальных технологий за рубеж также требует специального лицензирования, требующего достаточно длительного времени для оформления разрешительных документов, хотя в последнее время государство начало поворачиваться лицом к проблемам предприятий, понимая недостаточную емкость внутреннего рынка и значимость экспорта как для предприятий, так и в государственном масштабе.

Одним из существенных факторов, влияющих на качество эксплуатационной и особенно ремонтной документации изделий, является необходимость разработки в ходе проектирования и поставки так называемых интерактивных технических руководств т.е. электронных версий разработанной документации, которые бы соответствовали зарубежным стандартам. Этот вопрос в последнее время неизменно поднимается иностранными заказчиками как на этапе предконтрактных переговоров, так и при проектировании и передаче изделия в эксплуатацию. Работы в этой части практически у всех разработчиков техники пока находятся на начальной стадии в силу в основном нерешенных заказчиками экономических проблем, так как являются достаточно емкими по объему и затрачиваемому времени на их создание. Однако приступить к решению этих вопросов необходимо в ближайшее время, так как наличие указанной документации поднимает уровень конкурентоспособности изделий в целом, особенно для сложных в техническом отношении изделий военной техники.

Особую значимость для изделий двойного назначения имеет вопрос правовой защиты интеллектуальной собственности, созданной в ходе проектирования. И если проблема защищенности изделий на территории Российской Федерации в основном решается достаточно успешно – институт имеет более восьмидесяти патентов, то правовая защищенность за рубежом вызывает озабоченность. Получение охранных документов на объекты интеллектуальной собственности за рубежом также требует финансовых затрат и, соответственно, обоснования целесообразности патентования за рубежом, при этом государство в основном только декларирует свою поддержку в этом отношении. Открытость рынков определила для российских предприятий, даже относящихся к сфере ОПК, возможность осуществления совместных исследований и работ с иностранными фирмами, имеющими в этой области деятельности значительно больший опыт. Поэтому при отработке раздела контрактных документов требуется более тщательный и детальный подход к разделу, касающемуся прав на получаемые результаты интеллектуальной деятельности, особенно при совместном финансировании. Это касается вопросов подачи заявок и определения правообладателей

патентов, распределения прав сторон на результаты работ, организации хранения и передачи технологической или иной документации с учетом действующих в странах норм экспортного контроля, возможности использования результатов интеллектуальной деятельности, в том числе для коммерческих целей, вплоть до разделения возможных рынков сбыта продукции.

Обеспечение конкурентоспособного уровня разработки изделий, в том числе двойного назначения, невозможно без повышения качества научно-технического сопровождения со стороны научно-исследовательских институтов Министерства обороны, которое в настоящее время, к сожалению, имеет устойчивую тенденцию к снижению. Основной причиной сложившейся ситуации является ощутимый отток высококвалифицированных кадров военного и гражданского персонала в связи с низким уровнем бюджетного финансирования, а также невозможность быстрого восполнения и подготовки научного персонала этих учреждений. Для поддержки предприятий ОПК в условиях минимизации расходов на государственный оборонный заказ целесообразно сделать больший акцент на создании изделий двойного назначения и более обоснованно подходить к вопросам определения требований к разработке, использованию комплектующих и испытаниям такого вида техники. Соответственно, и позиция государства в условиях теперь уже рыночных отношений и потери монополии на поставки военной техники в определенную группу ранее «зависимых» стран должна удовлетворять быстрому изменению конъюнктуры рынка и быть более прагматичной – государственные органы должны в сжатые сроки вносить необходимые изменения в нормативную базу, регламентирующую вопросы взаимовыгодного технического сотрудничества, обеспечение импортно-экспортных операций в области двойных технологий и сервисного обслуживания поставленной техники.

Все рассмотренные выше вопросы, конечно, должны в полной мере учитываться в инновационной, маркетинговой и внешнеэкономической деятельности фирмы, стремящейся соответствовать современному уровню.

#### Innovation Dual-Purpose Developments

**V. S. Krasovsky, A. P. Vasilyev**

**(The Federal State Unitary Enterprise, The Central Research Institute «Electropribor»)**

*The experience of creating the innovation dual-purpose (military and civilian) developments by the state research centre of the Russian Federation, the Federal State Unitary Enterprise, the Central Research Institute “Electropribor”, for the past decade is analysed. The main problems and aspects influencing the competitive ability for the products of the enterprise on the internal and external markets are considered.*

---

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

---

**АБРАМОВ Александр Михайлович**, заместитель начальника НИЦ ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1982) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1995). Специализация – гидрография и океанография. Автор более 10 печатных трудов.

**АЛЕКСЕЕВ Сергей Петрович**, начальник ГНИНГИ МО РФ, заслуженный военный специалист РФ, председатель СПБ регионального отделения Российского общественного института навигации, академик Академии транспорта РФ, контр-адмирал, докт. техн. н. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1972) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1983). Специализация – штурман. Автор более 100 печатных трудов.

**АНОСОВ Виктор Сергеевич**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник. Окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. Специалист в области гидрометеорологического обеспечения сил и средств ВМФ. Автор более 50 печатных трудов, 40 авторских свидетельств и патентов.

**ВАСИЛЬЕВ Александр Петрович**, ведущий специалист по экспертному контролю Государственного научного центра РФ ФГУП ЦНИИ «Электроприбор», канд. техн. наук, старший научный сотрудник, полковник запаса. Окончил ЛГУ (1979). Область научных интересов: геофизика, военная навигация, морское приборостроение. Автор около 40 печатных работ.

**ВАСИЛЬЕВ Сергей Александрович**, ведущий инженер ФГУП «ЦНИИ «Морфизприбор»». Окончил Балтийский государственный технический университет (1997). Специализация: инженер-электромеханик. Автор 5 печатных работ.

**ДОБРОТВОРСКИЙ Александр Николаевич**, зам. начальника ГНИНГИ, член-корреспондент Академии Инженерных наук РФ, полковник, докт. техн. н., профессор. Окончил военную инженерно-космическую академию им. А. Ф. Можайского (1973). Специализация:

**Alexandr M. ABRAMOV**, Deputy Chief of the Research Centre, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Captain 1-st rank. Graduated from Frunze Naval College (1982), Naval Academy (1995). Speciality: hydrography, oceanography. Author of more than 10 publications.

**Sergey P. ALEKSEYEV**, Chief of the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Rear-Admiral, DSc, Honoured Military Specialist, chairman of St. Petersburg regional branch of the Russian Public Institute of Navigation, member of the Academy of Transport, RF. Graduated from Frunze Naval College (1972) and Naval Academy (1983). Speciality: navigation. Author of more than 100 publications.

**Victor S. ANOSOV**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Cand Sc. Graduated from Leningrad Institute of Aircraft Device Building. Speciality: hydrometeorological support for forces and means of the Navy. Author of more than 50 publications, 40 author's certificates and patents.

**Alexandr A. VASILYEV**, leading specialist in export control, the Federal State Unitary Enterprise, Central Research Institute «Electropribor», Cand Sc, senior researcher, Colonel (Ret). Graduated from Leningrad State University (1979). Sphere of scientific interests: geophysics, military navigation, marine devicemaking. Author of about 40 publications.

**Sergei A. VASILYEV**, leading engineer, the Federal State Unitary Enterprise «The Central Research Institute «Morphispribor»». Graduated from Baltic State Technical University (1997). Speciality: engineer (electromechanics). Author of five publications.

**Alexandr N. DOBROTVORSKY**, Deputy Chief of the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Colonel, DSc, professor, Corresponding Member of the Academy of Engineering Sciences RF. Graduated from Mozhaisky Military Space Academy (1973).

системное проектирование. Автор около 170 печатных трудов.

**ДРУЖЕВСКИЙ Сергей Анатольевич**, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1983) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1997). Специализация: гидрография и гидрометеорология. Область научных интересов: организация морских инженерных изысканий; влияние природной среды на безопасность строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений. Автор более 20 печатных трудов.

**ЕМЕЛЬЯНЦЕВ Геннадий Иванович**, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, докт. техн. н., профессор, действительный член Международной академии навигации и управления движением, капитан 1 ранга в отставке. Специалист в области интегрированных навигационных систем. Окончил Ленинградский институт точной механики и оптики (1970). Автор около 100 печатных трудов.

**ЖИЛИНА Нина Арсеньевна**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончила Ленинградский электротехнический институт (1970). Специализация: инженер-электрик. Автор 8 печатных работ.

**ЖУКОВ Юрий Николаевич**, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт (1972). Специализация – гидрометеорология. Автор более 30 печатных трудов.

**ИВАНОВ Борис Евгеньевич**, главный научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н., профессор, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники, председатель секции НТО им. акад. А. Н. Крылова. Окончил Балтийское высшее военно-морское училище (1957), Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1969). Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор около 200 печатных трудов.

Speciality: system design. Author of about 170 publications.

**Sergei A. DRUZHEVSKY**, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank. Graduated from Frunze Naval College (1983) and Naval Academy (1997). Speciality: hydrography and hydrometeorology. Sphere of scientific interests: organization of marine engineering surveys investigations, influence of environment on the construction and exploitation. Author of more than 20 publications.

**Gennady I. EMELYANTSEV**, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, DSc, professor, member of the International Academy of Navigation and , Traffic Control, Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Leningrad Institute of Fine Mechanics and Optics (1970). Sphere of scientific interests: integrated navigation systems. Author of about 100 publications.

**Nina A. ZHILINA**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from the Leningrad Electrotechnical Institute (1970). Speciality: engineer (electrical engineering). Author of 8 publications.

**Yuri N. ZHUKOV**, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, CandSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute (1972). Speciality: hydrometeorology. Author of more than 30 publications.

**Boris E. IVANOV**, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, professor, RF State Prize Winner, Honoured Scientist, chairman of Krylov STO section. Graduated from Baltic Naval College (1957) and Naval Academy (1969). Speciality: marine geodesy, gravimetry, hydrography, navigation. Author of about 200 publications.

**ИЛЬЮЩЕНКО Григорий Иванович**, начальник лаборатории ГНИНГИ МО РФ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специалист в области гидрометеорологического обеспечения сил и средств ВМФ. Автор 12 опубликованных работ и двух патентов.

**КРАСОВСКИЙ Владимир Сергеевич**, заместитель начальника отдела маркетинга и внешнеэкономической деятельности Государственного научного центра РФ ФГУП ЦНИИ «Электроприбор», канд. техн. наук, старший научный сотрудник, капитан 2-го ранга в запасе, профессор Военно-морского института Корпус Петра Великого. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1977). Область научных интересов: интеллектуальная собственность и инновационная политика. Автор около 40 печатных работ.

**ЛАВРЕНОВ Игорь Викторович**, начальник отдела океанологии Государственного научного центра РФ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, докт. физ.-мат. наук. Окончил Московский физико-технический институт (1977). Сфера научных интересов – физическая океанография, волновые процессы. Автор более 200 научных публикаций, из которых пять монографий.

**ЛАПШИН Вадим Иванович**, заместитель начальника отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1985) и Высшие специальные офицерские курсы (1999). Специализация – гидрометеорология. Автор четырех печатных работ.

**ЛЕВИТ Григорий Абрамович**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник. Окончил Ленинградский электротехнический институт (1952). Специалист в области навигационных систем и интегрированных навигационных комплексов. Автор около 180 печатных работ.

**ЛЯМЗИНА Валерия Григорьевна**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончила Ленинградский государственный университет (1965). Сфера научных интересов – базы данных. Автор 10 научных публикаций.

**Grigory I. ILYSHCHENKO**, chief of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Captain 2-nd rank. Graduated from Frunze Naval College. Speciality: hydrometeorological support for forces and means of the Navy. Author of 12 publications and two patents.

**Vladimir S. KRASOVSKY**, deputy chief Department of Marketing and Foreign Economical Activities, the State Research Centre of the Russian Federation, the Federal State Unitary Enterprise, Central Research Institute «Electropribor», Captain 2-st rank (Ret.), senior CandSc, professor of St. Petersburg Naval Institute – Peter the Great Maritime Corps. Graduated from Frunze Naval College (1977). Sphere of scientific interests: intellectual property, innovation policy. Author of about 40 publications.

**Igor V. LAVRENOV**, chief of department of oceanology, the State Research Centre of the Russian Federation «The Arctic and Antarctic Research Institute of Roshydromet», chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, DSc. Graduated from Moscow Phisico-technical Institute (1977). Sphere of scientific interests: physical oceanography, wave processes. Author of more than 200 publications, including five monographs.

**Vadim I. LAPSHIN**, deputy Chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Captain 2-nd rank. Graduated from Frunze Naval College (1982), Higher Special Officers' Classes (1999). Speciality: hydrometeorology. Author of four publications.

**Grigory A. LEVIT**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from Leningrad Electronical Institute (1952). Sphere of scientific interests: inertial navigation systems and integrated navigation complexes. Author of more than 180 publications

**Valeria G. LYAMZINA**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from Leningrad State University (1965). Sphere of scientific interests: databases. Author of 10 publications.

**МАЛЕЕВ Павел Иванович**, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н. Окончил Казахский государственный университет (1952), Специальные курсы при Военно-морской академии им. А. Н. Крылова (1953). Специализация – технические средства навигации. Автор около 220 печатных трудов.

**МАСТРИУКОВ Сергей Иванович**, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, полковник, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт (1978). Специализация – океанология. Автор около 100 печатных трудов.

**НИКИФОРОВ Александр Иванович**, заведующий кафедрой Санкт-Петербургского государственного морского университета, докт. техн. наук. Окончил Ленинградский кораблестроительный институт. Специалист в области минно-торпедного оружия с авиационной постановкой. Автор более 90 опубликованных работ.

**ПАНТЕЛЕЕВ Владимир Михайлович**, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке. Окончил Каспийское военно-морское училище им. С. М. Кирова (1962), Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1972). Специализация – радионавигация. Автор более 20 печатных работ.

**ПОЛКАНОВ Константин Иванович**, первый заместитель генерального директора ФГУП «ЦНИИ “Морфизприбор”», канд. техн. наук. Окончил Ленинградский электротехнический институт (1970). Специализация: инженер-радиотехник. Автор 40 печатных работ.

**РОМАНОВ Владимир Юрьевич**, ведущий инженер ФГУП «ЦНИИ “Морфизприбор”». Окончил Ленинградский электротехнический институт (1977). Специализация: инженер-электрик. Автор 12 печатных работ.

**СМЕЛОВ Дмитрий Александрович**, главный инженер НПП «Спецтехноприбор». Окончил Ленинградский электротехнический институт (1995). Специализация: инженер-радиотехник. Автор 5 печатных работ.

**Pavel I. MALEYEV**, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Captain 1st rank (Ret.), DSc. Graduated from Kazakh State University (1952), Specialized Course at Krylov Naval Academy (1953). Speciality: technical means of navigation. Author of about 200 publications.

**Sergei I. MASTRYUKOV**, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Colonel, CandSc. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute (1978). Speciality: oceanology. Author of about 100 publications.

**Alexander I. NIKIFOROV**, head of department St. Petersburg State Marine Technical University, DSc. Graduated from Leningrad Shipbuilding Institute. Speciality: mine and torpedo weapons used from aircraft. Author of more than 90 publications.

**Vladimir M. PANTELEYEV**, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Captain 1st rank (Ret.). Graduated from Caspian Naval College (1962) and Naval Academy (1997). Speciality: radionavigation. Author of more than 20 publications.

**Konstantin I. POLKANOV**, First Deputy, Director General, the Federal State Unitary Enterprise «The Central Research Institute “Morphispribor”». Graduated from the Leningrad Electrotechnical Institute (1970). Speciality: engineer (radio engineering). Author of 40 publications.

**Vladimir Y. ROMANOV**, leading engineer, the Federal State Unitary Enterprise «The Central Research Institute “Morphispribor”». Graduated from the Leningrad Electrotechnical Institute (1977). Speciality: engineer (electrical engineering). Author of 12 publications.

**Dmitry A. SMELOV**, chief engineer, the Scientific-Production Enterprise «Spetstechnopribor». Graduated from the Leningrad Electrotechnical Institute (1995). Speciality: engineer (radio engineering). Author of five publications.

**СУХАНОВ Сергей Иванович**, начальник 453 ГМЦ Черноморского флота. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1982). Специализируется в области анализа гидрометеорологической обстановки и ее прогноза в интересах ГМО ВМФ. Автор пяти научных публикаций.

**ТИТЛЯНОВ Владимир Александрович**, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга, кандидат технических наук. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1976). Область научных интересов: навигационное вооружение надводных кораблей, инерциальные навигационные системы и системы курсоуказания. Автор около 20 печатных работ.

**УСЕНКОВ Святослав Михайлович**, доцент Санкт-Петербургского государственного университета, канд. геол.-минер. н. Окончил Ленинградский государственный университет в 1975 г. Специализация – морская геология, седиментология береговой зоны, геоэкология. Автор более 80 печатных трудов, в том числе 3 монографий.

**ФЕДОРОВ Александр Анатольевич**, начальник отдела ГУНИО МО РФ, капитан 1 ранга, канд. техн. н., старший научный сотрудник. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А. С. Попова (1984). Специализация – гидрометеорологическое обеспечение ВМФ. Автор более 30 печатных трудов.

**ХРЕБТОВ Альберт Александрович**, директор по научной работе ОАО НТП «НАВИ-ДАЛС», канд. военно-мор. наук. Окончил Североморское высшее военно-морское училище (1956). Специальность: штурман. Автор 65 публикаций.

**ШЕРСТЯНКИН Павел Павлович**, главный научный сотрудник Лимнологического института СО РАН, доктор физ.-мат. наук. Окончил физический факультет МГУ. Область научных интересов: лимнология, океанология, гидрофизика, термодинамика, акустика. Автор более 120 печатных трудов, в том числе монографий.

**ЯЦЕНКО Сергей Владимирович**, главный научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Окончил Высшее военно-

**Sergei I. SUKHANOV**, chief of Hydrometeorological Centre 453, the Black Sea Fleet of Russian Federation, Captain, 1st rank. Graduated from Frunze Naval College (1982). Speciality: analysis of hydrometeorological situation, its forecasts in the interest of hydrometeorological support for the Navy. Author of five publications.

**Vladimir A. TITLYANOV**, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, CandSc, Captain, 1st rank. Graduated from Frunze Naval College (1976). Sphere of scientific interests: navigation equipment of surface ships; inertial navigation systems. Author of about 20 publications.

**Svyatoslav M. USENKOV**, Senior reader of Geological faculty, St. Petersburg State University. CandSc, Graduated from St. Petersburg State University (1975). Sphere of scientific interests: marine geology, coastal zone sedimentology, environmental geology. Author of more than 80 publications, including three monographs.

**Alexander A. FEDOROV**, chief of division, the The Head Department of Navigation and Oceanography, MoD RF. CandSc, Captain 1-st rank. Graduated from Popov Naval College of Radioelectronics (1984). Speciality: hydrometeorological support for the Navy. Author of more than 30 publications.

**Albert A. KHREBTOV**, Director for Research, STE «NAVI-DALS» JSC, CandSc. Graduated from Severomorsk Naval College (1956). Speciality: navigator. Author of 65 publications

**Pavel P. Sherstyankin**, chief researcher, the Limnological Institute of the Siberian Branch of the RAS. Graduated from Moscow State University. Sphere of scientific interests: limnology, oceanology, hydrophysics, thermodynamics, acoustics, state equations and other properties of deep waters. Author of more than 120 publications, including the monographs.

**Sergei V. YATSENKO**, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank, CandSc, senior researcher. Graduated from Frunze Naval

морское училище им. М. В. Фрунзе (1986).  
Область научных интересов: теоретическое обоснование и разработка технических решений минимизации рисков природного и технологического характера при обустройстве и эксплуатации морских объектов нефтегазового комплекса. Автор около 30 печатных трудов.

College (1986). Sphere of scientific interests: theoretical substantiation and development of technical solutions intended to minimize the risks of natural and technological character when developing and exploiting the marine objects of oil and gas complex. Author of about 30 publications.