

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

---

**НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ**

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**12  
2001**

**МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

Санкт-Петербург

# **Главный редактор д.т.н. С.П. Алексеев**

## **Редакционная коллегия:**

В.А. Авдонушкин, к.т.н. А.И. Баранов (секретарь), к.т.н. С.П. Баринов,  
д.т.н. Б.Н. Беляев, д.в.н. П.Г. Бродский (заместитель главного редактора),  
к.т.н. К.А. Виноградов, к.в.-м.н. А.А. Дадашев, к.т.н. В.Г. Дзюба,  
д.т.н. А.Н. Добротворский (первый заместитель главного редактора),  
д.т.н. Г.И. Емельянцев, к.т.н. А.В. Зинченко (ответственный за выпуск),  
д.т.н. Б.Е. Иванов, к.т.н. И.В. Козырь, к.ф.-м.н. П.И. Малеев,  
к.т.н. С.И. Мастрюков, д.в.-м.н. А.П. Михайловский,  
д.т.н. Н.Н. Неронов, к.т.н. А.Б. Опарин, д.т.н. В.И. Пересыпкин,  
д.т.н., акад. РАН В.Г. Пешехонов, к.т.н. С.А. Рудас (заместитель главного редактора),  
к.т.н. Ю.В. Румянцев, чл.-кор. РАН А.Е. Сазонов, чл.-кор. РАН А.И. Сорокин,  
д.в.н. В.Н. Фрадкин

**© Государственный научно-исследовательский  
навигационно-гидрографический институт Министерства обороны РФ**

**2001**

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC  
INSTITUTE**

---

**NAVIGATION AND HYDROGRAPHY**

PUBLISHED SINCE 1995

**12  
2001**

**RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE**

---

Saint-Petersburg

# **Editor-in-chief**

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

### **Editorial board**

V.A. Avdonyushkin; A.I. Baranov (secretary), CandSc; S.P. Barinov, CandSc;  
B.N. Belyaev, DSc; P.G. Brodsky (vice-editor-in-chief), DSc;  
K.A. Vinogradov, CandSc; A.A. Dadashev, CandSc; V.G. Dzyuba, CandSc;  
A.N. Dobrotvorsky (first vice-editor-in-chief), DSc;  
G.I. Yemelyantsev, DSc; A.V. Zinchenko (responsible for the issue), CandSc;  
B.E. Ivanov, DSc; I.V. Kozyr, CandSc; P.I. Maleyev, CandSc; S.I. Mastryukov, CandSc;  
A.P. Mikhaylovsky, DSc; N.N. Neronov, DSc; A.B. Oparin, CandSc;  
V.I. Peresypkin, DCs; V.G. Peshekhonov DSc, Acad. RAS;  
S.A. Rudas (vice-editor-in-chief), CandSc; Yu.V. Rumyantsev, CandSc;  
A.E. Sazonov, CM RAS; A.I. Sorokin, DSc, CM RAS; V.N. Fradkin, DSc

© The State Research Navigation-Hydrographic Institute RF Ministry of Defense

2001

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ОБЩИЕ ВОПРОСЫ</b> .....	9
<b>С.П. Алексеев, И.С. Грамберг, А.А. Комарицын, Г.Д. Нарышкин.</b> Арктический шельф России – новые представления о рельефе дна бассейна.....	9
<b>С.П. Алексеев, П.Г. Бродский, А.Н. Добротворский.</b> Научно-технический потенциал военной навигации, гидрографии и океанографии на службе национальной экономики .....	14
<b>В.И. Пересыпкин, А.Н. Яковлев.</b> Северный морской путь как международная транспортная магистраль – состояние и перспективы развития .....	29
<b>А.Б. Опарин.</b> Состояние и перспективы развития банка океанографических данных Министерства обороны Российской Федерации 2001–2010 гг.....	38
<b>В.А. Авдонушкин, А.М. Черненко.</b> О необходимости реконструкции системы путей движения в Восточной части Финского залива .....	44
<b>Ю.И. Никитенко, Ю.М. Устинов.</b> Вопросы подготовки специалистов высшей квалификации по радионавигационным системам.....	56
<b>МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ.</b>	
<b>ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА</b> .....	63
<b>А.И. Сорокин.</b> О проекциях морских и озерных карт в эпоху компьютеризации .....	63
<b>Б.Е. Иванов.</b> Об особенностях решения навигационных задач при использовании распределения Лапласа .....	68
<b>НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ</b> .....	71
<b>В.Г. Пешехонов, В.М. Зиненко, В.Ф. Савик, В.Е. Янушкевич.</b> От радиооптических секстанов к многофункциональным перископным комплексам .....	71
<b>СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ</b> .....	75
<b>Д.Л. Щенников.</b> Оценка затухания и искажения радиоволн сверхдлинноволнового диапазона морским ледяным покровом.....	75
<b>Ю.С. Дубинко, Т.Ю. Дубинко</b> Программный метод подавления ошибок многолучевости в спутниковых навигационных приемниках.....	79
<b>Г.В. Макаров, В.Ф. Кочуров, А.М. Симон.</b> Оценка точности определения места по азимутам и высотам спутников СРНС НАВСТАР и ГЛОНАСС.....	86
<b>А.Р. Косульников, В.В. Матвеев.</b> Оценка точности разновременных относительных измерений с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС при определении поправок измерителей скорости .....	89
<b>А.Г. Зыков.</b> Приемник дифференциальных поправок СРНС ГЛОНАСС/GPS, передаваемых по радионавигационному каналу ИФРНС "Чайка" (ЛОРАН-С).....	94

---

<b>С.Б. Болошин, А.И. Кабиров, С.Б. Писарев, Г.А. Семенов.</b> Фазовая радионавигационная система диапазона СДВ. Возможности и перспективы.....	99
<b>СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ</b> .....	107
<b>Н.Н. Неронов.</b> Особенности проводки крупнотоннажных судов по фарватерам Восточной части Финского залива.....	107
<b>А.Н. Добротворский, С.А. Дружевский, В.М. Кушнир, Л.А. Петренко.</b> Диагностическая модель деформаций дна под воздействием гидрометеорологических факторов .....	113
<b>ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ</b> .....	123
<b>С.И. Мاستрюков.</b> Некоторые проблемы использования гидрометеоро- логической информации при заблаговременном планировании морских операций .....	123
<b>Ю.Н. Жуков.</b> Циклические системы времени для выявления перио- дических явлений во временном ходе гидрометеорологических про- цессов.....	132
<b>МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЯ</b> .....	140
<b>К.Г. Ставров, В.К. Паламарчук Л.Г. Георгиевская, В.А. Калинин.</b> Геофизический мониторинг как основа управления процессами проектирования и режимом работы стратегически важных и экологически опасных объектов в прибрежных зонах северо- западного региона.....	140
<b>А.Б. Опарин, К.Г. Ставров.</b> Значение банка океанографических и геофизических данных для защиты морской среды от загрязнений, связанных с военно-морской деятельностью.....	145
<b>СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ</b> .....	150
<b>William M. Leary.</b> Waldo Lyon and the Arctic Submarine .....	150
<b>Уильям М. Лири.</b> Уолдо Лайон и арктическая подводная лодка.....	160
<b>ПОРТРЕТ ФИРМЫ</b> .....	173
<b>А.А. Шанин, О.А. Борсук, В.В. Дорошук, И.Н. Мищенко.</b> Аппарату- ра спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS конструктор- ского бюро навигационных систем .....	173
<b>ABSTRACTS</b> .....	185
<b>ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ</b> .....	190

# CONTENTS

<b>GENERAL MATTERS</b> .....	9
<b>S.P. Alekseyev, I.S. Gramberg, A.A. Komaritsyn, G.D. Naryshkin.</b> Arctic shelf of Russia - new forms of presentation of the bottom relief.....	9
<b>S.P. Alekseyev, P.G. Brodsky, A.N. Dobrotvorsky.</b> Scientific and Technical Potential of Naval Navigation, Hydrography and Oceanography Serving the National Economy.....	14
<b>V.I. Peresyphkin, A.N. Yakovlev.</b> The Northern Sea Route as Interna- tional Transport Line - its State and Prospects of Development .....	29
<b>A.B. Oparin.</b> State and Prospects of Development for Oceanographic Data Bank of MOd RF in 2001-2010.....	38
<b>V.A. Avdonyushkin, A.M. Chernenko.</b> Problems of Reconstructing the Shipping Routes System in the Eastern Part of the Gulf of Finland .....	44
<b>Y.I. Nikitenko, Y.M. Ustinov.</b> Problems of Training the Highly Skilled Specialists in Radionavigation Systems .....	56
<b>METHODS, ACCURACY AND EFFICIENCY OF NAVIGATION. NAVIGATOR`S ACTIVITIES</b> .....	63
<b>A.I. Sorokin.</b> On Sea and Lake Chart Projections in Computerization Era .....	63
<b>B.E. Ivanov.</b> On Peculiarities of Solving the Navigational Problems when Using the Laplacean Distribution .....	68
<b>NAVIGATION SYSTEMS AND INTEGRATED SYSTEMS</b> .....	71
<b>V.G. Peshehonov, V.M. Zinenko, V.F. Savik, V.E. Yanushkevich.</b> From Radiooptical Sextants to Multifunctional Periscope Systems .....	71
<b>SATELLITE AND GROUND-BASED RADIONAVIGATION SYSTEMS</b> .....	75
<b>D.L. Shchennikov.</b> Evaluation of Attenuation and Distortion of VLF Waves by the Sea Ice Cover .....	75
<b>Y.S. Doubinko, T.Y. Doubinko.</b> Software Technique of Multipath Error Elimination for Satellite Navigation Receivers .....	79
<b>G.V. Makarov, V.F. Kochurov, A.M.Simon.</b> Estimate of Position Fixing Accuracy by Azimuths and Altitudes of NAVSTAR and GLONASS SRNS Satellites.....	86
<b>A.R. Kosulnikov, V.V. Matveyev.</b> Accuracy Estimate of Relative Mea- surements Made at Different Time, Using the GLONASS SRNS to De- termine the Corrections for Speed Measurers.....	89
<b>A.G. Zykov.</b> Receiver of Differential Corrections of GLONASS/GPS SRNS Transmitted on Radionavigation Channel of Chaika (Loran-C) Pulse-Phase RNS .....	94
<b>S.B. Boloshin, A.I. Kabirov, S.B. Pisaryev, G.A. Semyonov.</b> Phase VLF Radionavigation System. Capabilities and Prospects.....	98
<b>MEANS AND METHODS OF HYDROGRAPHY, MARINE CARTOGRAPHY AND GEOPHYSICS</b> .....	107
<b>N.N. Neronov.</b> Specific Features of Pilotage for Large-displacement Vessels along the Fairways in the Eastern Part of the Gulf of Finland.....	107

<b>A.N. Dobrotvorskyy, S.A. Druzhevskyy, V.M. Kushnir, L.A. Petrenko.</b> Diagnostic Model of Bottom Deformations under the Influence of Hydro- meteorological Factors.....	113
<b>HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT OF MARINE NAVIGATION .....</b>	<b>123</b>
<b>S.I. Mastryukov.</b> Some Problems of Employment of Hydrometeorological Information in Planning the Maritime Activities .....	123
<b>Y.N. Zhukov.</b> Cyclic Time Systems to Reveal the Periodic Phenomena in the Temporal Variation of Meteorological Processes .....	132
<b>MARINE ECOLOGY .....</b>	<b>140</b>
<b>K.G. Stavrov, V.K. Palamarchuk, L.G. Georgiyevskaya, V.A. Kalinin.</b> Geophysical Monitoring as the Basis of Controlling the Processes of De- sign and Operation Mode of Strategically Important and Ecologically Dangerous Objects in the Nearshore Zones of the North-Western Region .....	140
<b>A.B. Oparin, K.G. Stavrov.</b> The Importance of the Oceanographic and Geophysical Data Bank for Protection of Marine Environment against Pol- lution due to Naval Activities .....	145
<b>PAGES OF HISTORY .....</b>	<b>150</b>
<b>William M. Leary.</b> Waldo Lyon and the arctic submarine .....	150
<b>PORTRAIT OF THE FIRM .....</b>	<b>173</b>
<b>A.A. Shanin, O.A. Borsuk, V.V. Doroshchuk, I.N. Mishchenko.</b> GLONASS and GPS SNS Equipment of NAVIS Design Bureau .....	173
<b>ABSTRACTS .....</b>	<b>185</b>
<b>INFORMATION ABOUT AUTHORS .....</b>	<b>190</b>



---

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

---

ГРНТИ 37.25.33; 36.33.23

### **АРКТИЧЕСКИЙ ШЕЛЬФ РОССИИ – НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РЕЛЬЕФЕ ДНА БАССЕЙНА**

**С.П. АЛЕКСЕЕВ,  
И.С. ГРАМБЕРГ,  
А.А. КОМАРИЦЫН,  
Г.Д. НАРЫШКИН,**

*По результатам анализа отечественных гидрографических и геолого-геофизических исследований составлена карта "Рельеф дна Северного Ледовитого океана" масштаба 1:5 000 000 с сечением рельефа 200 м и "Орографическая карта Арктического бассейна" в том же масштабе. По обоснованности фактическими материалами обе карты не имеют аналогов в отечественной и зарубежной картографии и являются наиболее полным (в масштабе 1:5 000 000) отражением строения поверхности дна Северного Ледовитого океана. Карты служат надежной основой для различного рода научных исследований, а также для решения многих прикладных, в том числе государственных проблем, наиболее важная из которых - определение внешней границы континентального шельфа России в Арктике. В комплексе с геолого-геофизическими исследованиями эти карты позволяют увеличить площадь континентального шельфа России в Арктике на 1200000 км<sup>2</sup>. Если учесть высокую перспективность Арктического шельфа России в отношении нефтегазоносности, то при присоединении новых крупных участков дна нефтегазовый потенциал шельфа России в Арктике возрастет на 9.6 млрд. тонн условного топлива.*

В последние десятилетия в общем комплексе многоцелевых исследований Мирового океана выделяются разработки прикладного характера, наиболее важной из которых является определение внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) прибрежных государств в соответствии с требованиями Конвенции ООН по Морскому Праву [2].

Для России как одной из ведущих морских держав вопросы межгосударственного и международно-правового разграничения Мирового океана наиболее актуальны в Арктическом бассейне в связи с необходимостью решения еще одной проблемы прикладного характера, - оценки и освоения минерально-сырьевого потенциала этого региона.

В соответствии с нормами международного морского права 30 ноября 1995 г. Россия приняла Федеральный закон №187-ФЗ "О континентальном шельфе Российской Федерации", в котором определен статус континентального шельфа России. Федеральным законом №30-ФЗ от 26 февраля 1998 г. Россия ратифицировала "Конвенцию ООН по морскому праву 1982 г.". После ратификации в установленные Конвенцией сроки Россия должна представить в ООН разработки и комплект документов по обоснованию своей внешней границы.

Определение ВГКШ России в Арктике и обоснование этой границы связано с гидрографическими и геолого-геофизическими исследованиями, что определило одно из приоритетных направлений научной и прикладной тематики Министерства природных ресурсов РФ и Министерства обороны РФ. Совместными усилиями этих ведомств разработана и утверждена в 1998 г. "Программа работ по подготовке перечней координат точек, определяющих внешние границы континентального шельфа РФ в Северном Ледовитом и Тихом океанах, и их обоснованию".

Положения Конвенции устанавливают юридическую границу континентального шельфа прибрежных государств на расстоянии 200 морских миль от исходных линий (экономическая зона). В то же время для государств с широким шельфом (например, государства Арктического бассейна) положения Конвенции предусматривают возможность определения внешней границы за пределами экономической зоны, в соответствии со ст. 76 Конвенции. В основу этих требований положены батиметрические и геоморфологические критерии, такие как определение положения континентальной окраины, подножия континентального склона и положения изобаты 2500 м на континентальном склоне. При наличии естественного продолжения континентальной окраины необходимо его геоморфологическое и геологическое обоснование. Конвенцией предусмотрена также возможность определения ВГКШ государств с учетом такого параметра, как мощность осадочного чехла. В этом случае внешняя граница устанавливается в точках, где толщина осадочных пород составляет 1% кратчайшего расстояния от подножия континентального склона. При отсутствии данных по осадочному чехлу ВГКШ устанавливается на расстоянии 60 морских миль от подножия континентального склона. В соответствии с требованиями Конвенции точки ВГКШ определяются на батиметрических профилях, ориентированных вкост простирания континентальной окраины, на интервале от бровки шельфа до абиссальной равнины с расстоянием между профилями не более 600 морских миль.

Анализ требований Конвенции показал, что практическая реализация данной проблемы в Арктическом бассейне возможна при наличии большого объема батиметрических данных, их морфологическом и морфометрическом анализе и подробном картографировании рельефа дна. Кроме того, необходимы результаты геофизических исследований для морфоструктурного анализа рельефа и геологического обоснования построений.

Гидрографическая изученность Мирового океана показала, что к концу XX в. накоплен достаточно большой объем батиметрических данных, которые легли в основу составления разномасштабных морских карт. До недавнего времени исключение составлял Арктический бассейн Северного Ледовитого океана (СЛО), специфика климатических условий которого не позволяла проводить его широкомасштабное изучение, и эта акватория оставалась "белым пятном" на карте Земли. Значительное увеличение объема исследований бассейна произошло в конце XX в. В начале 80-х гг. по материалам зарубежных работ была опубликована батиметрическая карта 5-й коллекции ГЕБКО, лист №17, масштаб 1:6 000 000, проекция стереографическая [6]. Эта карта долгое время оставалась единственным источником сведений о рельефе дна Арктического бассейна. Для реализации требований конвенции по определению ВГКШ России в Арктике

проведен сравнительный анализ рельефа дна ГЕБКО с результатами отечественных гидрографических исследований, который показал, что рельеф дна на ГЕБКО изображен схематично, искажены многие его формы и их границы, а сама карта представляет лишь обобщенную схему рельефа. По этой причине карта ГЕБКО не может служить основой для решения как фундаментальных научных, так и прикладных задач в Арктическом бассейне. Для этой цели необходим банк батиметрических данных отечественной гидрографии.

Широкомасштабные исследования России в Арктическом бассейне начались в 1961 г. и проводились в течение более 30 лет, прежде всего, в интересах ВМФ [5]. За этот период эхолотированием со льда было проведено около 21 тыс. замеров глубин, сейсмическими методами со льда - более 17 тыс. замеров. Промер глубин подводными лодками составил более 90 тыс. линейных километров. По результатам отечественных гидрографических исследований в России было издано более 1350 морских навигационных карт, надежно обеспечивающих безопасность мореплавания в этом районе Мирового океана [3]. Однако морские навигационные карты, предназначенные для обеспечения безопасности мореплавания, содержат данные лишь о части измеренных глубин и по этой причине не могут быть основой многоцелевого анализа рельефа и мелкомасштабного картографирования принципиально важных для ВГКШ районов акватории.

В то же время наличие, такого большого объема батиметрических данных и исключительно интенсивная расчлененность рельефа дна, выявленная в результате экспресс-анализа материалов промера, убеждают в необходимости детального геоморфологического анализа рельефа в масштабе съемки с дальнейшим преобразованием его в батиметрическую карту [3].

В отечественной гидрографии для определения пространственного положения и ориентирования форм рельефа успешно использовался метод структурных линий. В основном этот метод применялся на галсах промера с различной точностью координирования. Вместе с тем этот метод является единственной надежной основой анализа батиметрических данных в районах с интенсивным расчленением рельефа и необходим для средне- и мелкомасштабного батиметрического картографирования. Метод структурных линий рельефа основан на выделении гребневых и килевых линий выпуклого и вогнутого перегибов профиля, при построении которых образуется структурный каркас, определяющий состав картографируемой поверхности. Структурные линии ограничивают элементарные поверхности и их комплексы - разнопорядковые формы вне зависимости от батиметрического уровня структурных линий. Такая карта позволяет давать оценку форм исключительно по морфологическому составу и является двумерной моделью рельефа. Использование структурных линий при анализе батиметрических данных позволяет дать наиболее подробную характеристику рельефа дна, отражает морфологию связанных с разными породами форм и их пространственное взаимоотношение [3].

Для морфологического анализа батиметрических данных и составления орографической карты Арктического бассейна были использованы планшеты промера масштаба 1:500 000, на которых построен структурный каркас рельефа и определено плановое положение комплекса форм [4]. На орографической карте представлен наиболее подробно (в масштабе 1:500 000) состав поверхности

дна и границы форм с выделением форм минимальных размеров до 10 км в сечении вне зависимости от их батиметрического положения. Орографическая карта является двухмерной моделью рельефа, на которой в полном объеме отражены геоморфологические особенности бассейна, необходимые при составлении батиметрической карты. Для этой цели на структурном каркасе рельефа морфологических планшетов масштаба 1:500 000 проведены изобаты с сечением рельефа 200 м, что и составило основу батиметрической карты масштаба 1:5 000 000 (рис. 1). Обе карты не имеют аналогов в отечественной и зарубежной картографии по обоснованности фактическим материалом и являются наиболее полным (в масштабе 1:5 000 000) отражением строения поверхности дна Арктического бассейна.

Результаты анализа рельефа и картографирования привели к переоценке взглядов на рельеф дна Арктического бассейна. Отечественными гидрографическими исследованиями открыто и перенесено на карту много новых, не известных ранее форм рельефа, уточнены и детально закартографированы известные ранее формы, а также определено положение континентальной окраины бассейна [3].

По морфологическому составу и батиметрическому положению в Арктическом бассейне выделяются два различных суббассейна - Евразийский и Амеразийский в установленных ранее границах. Морфологические различия суббассейнов достаточно уверенно коррелируются с аномальным магнитным полем, которое определяет Евразийский бассейн как спрединговый суббассейн с типичной океанической корой, в то время как для Амеразийского суббассейна характерно мозаичное поле, соответствующее континентальному типу коры [1, 3]. В контексте рассматриваемой тематики интерес представляет Амеразийский суббассейн.

Анализ рельефа позволил определить основные особенности Амеразийского суббассейна [1, 3].

1. В Амеразийском суббассейне выделяются две морфологические провинции хребтов и поднятий Канадской котловины.

2. По комплексу и батиметрическому уровню форм провинция хребтов и поднятий разделена на три субпровинции: краевое поднятие, представляющее систему четырех блоков хребта Ломоносова; система поднятий, состоящая из хребта Альфа и поднятий Менделеева, Чукотского и Нортунд, сопряженных с впадинами; Русская депрессия, представляющая пониженную в батиметрическом отношении область, ограниченную первыми двумя провинциями. Осевой зоной этой субпровинции является система впадин Подводников-Макарова-Безымянная.

3. Провинция хребтов и поднятий в рельефе представляет собой единую орографическую систему, морфологически связанных между собой структур с противоположащими континентами на батимальном уровне глубины. Зоны торцевого сопряжения провинции с континентами в рельефе представляют типичное краевое плато с тыловым швом в батимальном диапазоне глубины, не позволяющим относить зоны сопряжения ни к одной из геоморфологических границ, определяющих границу континентальной окраины (подножие континентального склона, континентальное подножие на границе с абиссальной равниной). Таким образом, зона торцевого сопряжения провинций с кон-

тинентальными окраинами в рельефе представляет естественное продолжение континентальных окраин в океан [1, 3].

4. Батиметрический уровень провинции хребтов и поднятий увеличивается от континентальных окраин в северном направлении к зоне максимальных глубин провинции, определяемой границей Элсмирского и Сибирско-Чукотского континентальных выступов оседания (границы естественного продолжения континентальных окраин в океан).

Отечественные геолого-геофизические исследования подтвердили полученные при анализе рельефа дна выводы о естественном продолжении континентальных окраин в океан, а результаты морфоструктурного анализа рельефа дна показали, что морфоструктура Амеразийского суббассейна представлена блоками погруженного континента батиметрического диапазона глубины. Блоки оседания и депрессии согласованно погружаются от континентов в северном направлении (что соответствует утонению континентальной карты), где установлена зона сопряжения континентальных выступов оседания [3].

Таким образом, отечественные батиметрические данные и их геоморфологический анализ в комплексе с современными представлениями о глубинном строении литосферы позволили однозначно определить положение континентальной окраины Арктического бассейна.

Методические разработки, основанные на материалах промера высокой точности, позволили однозначно интерпретировать требования Конвенции. Математический анализ профилей определил положение базовых точек Конвенции для ВГКШ (подножие континентального склона) и показал хорошую сходимость этих точек с орографической картой. Таким образом, комплексный анализ результатов исследований позволил включить в состав юридического шельфа России поднятия и впадины, имеющие континентальную природу и связанные с континентальными окраинами, что позволяет увеличить общую площадь континентального шельфа России на 1 200 000 км<sup>2</sup> (рис. 2). Если учесть высокую перспективность шельфа России в отношении нефтегазоносности, то с присоединением крупных участков дна нефтегазовый потенциал России в Арктике возрастет на 9.6 млрд.т. условного топлива.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. "Безопасность плавания в портовых водах" Погосов С.Г. М., Транспорт, 1977. - 136 с.
2. "Обязательные постановления Морской Администрации порта Санкт-Петербург" Морская Администрация порта Санкт-Петербург 1997 г. 64 стр.
3. "Теория случайных процессов и ее инженерные приложения" Е.С. Вентцель, А.А. Овчаров. М. "Наука". 1999 г. 383 стр.
4. "Основные понятия теории вероятностей" Н.И. Колмогоров М. Наука 1949 г. 116с
5. "Сборник резолюций международной морской организации по вопросам судоходства" М. В/О "Морте-хинформреклама" 1989
6. "IALA AIDS TO NAVIGATION GUIDE" (NAVGUIDE) International Association of Lighthouse Authorities, Paris, 1990.
7. Итоговый отчет по НИР "ЛЕД-1" С.П. 1998 г. ГНИНГИ МО РФ 320 стр.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОЕННОЙ НАВИГАЦИИ, ГИДРОГРАФИИ  
И ОКЕАНОГРАФИИ НА СЛУЖБЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМКИ**

**(Результаты конверсионной деятельности ГНИНГИ в 1995–2000 гг.)**

**С.П. АЛЕКСЕЕВ,  
П.Г. БРОДСКИЙ,  
А.Н. ДОБРОТВОРСКИЙ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Излагается содержание научного и технического потенциала военно-морской навигации, гидрографии и океанографии России. Рассматриваются стадии его развития с использованием в качестве примера конверсионной деятельности ГНИНГИ. Представлены научные и прикладные результаты, полученные к началу XXI века.*

Нынешний этап развития Российской Федерации характеризуется стремлением к равноправному участию в мировых процессах, в связи с чем особую актуальность приобретает следование принципу устойчивого развития, выработанному усилиями мирового сообщества и закрепленному в документах ООН. Необходимым условием устойчивого развития определен быстрый экономический рост. Важным фактором обеспечения быстрого экономического роста является развитие и совершенствование морской деятельности государства, ответственную роль в которой играет Военно-Морской Флот [1].

Указом Президента Российской Федерации от 4 марта 2000 г. на Военно-Морской Флот, в частности, возложено [2]:

- обеспечение навигационной безопасности мореплавания;
- участие в океанографическом, гидрометеорологическом, картографическом и других видах обеспечения государственных органов и иных организаций на море.

Практическое решение указанных задач осуществляет Гидрографическая служба ВМФ, обладающая для этого достаточным производственным и научно-техническим потенциалом.

В исторической ретроспективе создание и последующее наращивание этого потенциала было объективным процессом удовлетворения потребностей строительства океанского Военно-Морского Флота СССР, развития его ракетно-ядерного оружия, совершенствования форм и способов применения сил и средств флота и обеспечения решения народно-хозяйственных задач в зоне прибрежного шельфа.

За сравнительно небольшой (30 – 40 лет) исторический период был решен ряд крупных научно-технических проблем и сложных практических задач навигационной безопасности плавания кораблей ВМФ, судов гражданских ведомств России, навигационного обеспечения длительной автономности атомных подводных лодок, всеширотного применения их оружия, глобального и регионального обеспечения деятельности ВМФ в целом, изучения Мирового океана в прикладных целях.

За этот период были созданы совершенные навигационные комплексы для подводных лодок и надводных кораблей нескольких поколений, развернуты средства и системы навигационного оборудования морских театров,

созданы средства, разработаны методы и технологии высокоточной съемки рельефа и грунта дна, технологии цифровой картографии, гидрометеорологического обеспечения, в том числе полетов корабельной авиации, и др.

Указанные достижения, как и результаты других научных исследований и проработок, обеспечили создание к началу XXI в. достаточно мощного научно-технического потенциала морской военной навигации, гидрографии и океанографии, который в настоящее время включает:

- средства и методы высокоточной навигации морских и воздушных судов;
- средства и системы навигационного оборудования побережья и морских сооружений;
  - электронные навигационные информационные системы;
  - средства, методы и технологии съемки рельефа и грунта дна, картографические комплексы;
  - средства, методы и технологии океанографических исследований и гидрометеорологического обеспечения;
  - специализированные научно-исследовательские суда и катера различных классов, подводные аппараты;
  - фондовые океанографические, картографические материалы, материалы батиметрических съемок и информационные технологии;
  - коллективы дипломированных ученых и специалистов флота, промышленности, учебных заведений;
  - внушительную опытно-экспериментальную базу ряда отечественных предприятий и фирм;
  - развитую, отлаженную кооперацию институтов РАН, отраслевых НИИ и заводов.

Геополитические изменения последних лет и реорганизация военно-научного комплекса РФ обеспечили востребованность научно-технического потенциала морской военной навигации, гидрографии и океанографии в интересах экономики страны и отдельных регионов.

Предпосылки для конверсионного использования научно-технического потенциала Института определены специальным Постановлением Правительства РФ от 19.06.1994 г. № 711, в соответствии с которым ГНИНГИ МО РФ определен головной научно-исследовательской организацией, ответственной за разработку и обоснование технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии, океанографического обеспечения не только обороны, но и экономики страны.

После выхода указанного Постановления Правительства РФ сформировались и приобрели характер устойчивого развития следующие направления деятельности Института в интересах экономики страны:

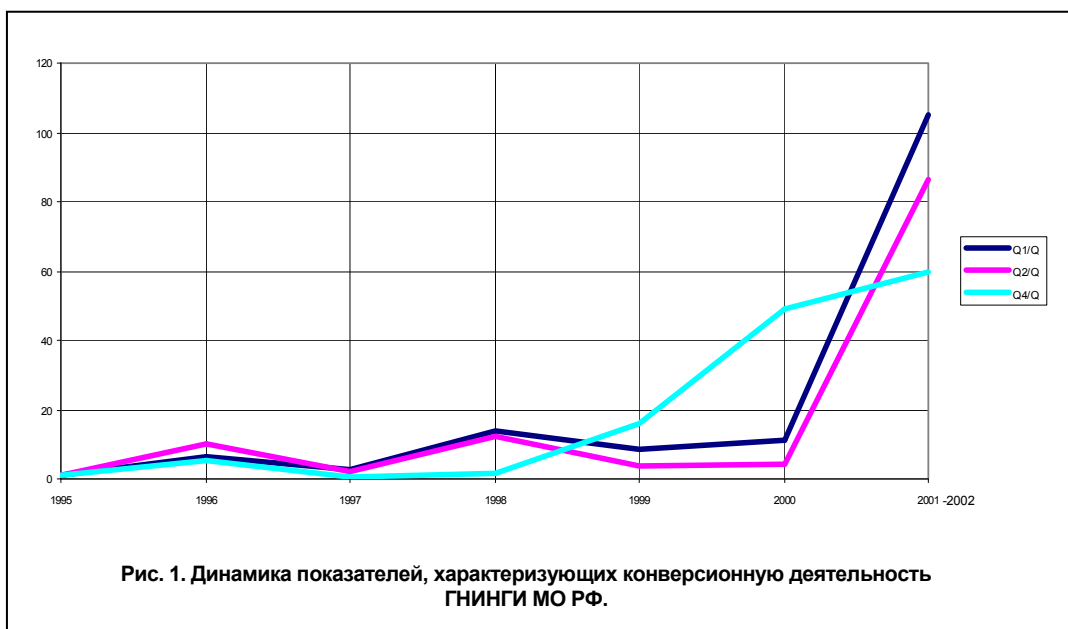
- проектирование систем навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения освоения и эксплуатации нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе;
- производство морских инженерных изысканий в обеспечение проектирования и строительства подводных газопроводов, линий связи, портов и отдельных гидротехнических сооружений;

- обоснование и проектирование средств навигационного оборудования и системы путей движения на акваториях интенсивного судоходства и природопользования в Финском заливе, Баренцевом и Черном морях;
- разработка технических и методических решений, обеспечивающих создание автоматизированных информационно-справочных систем по физико-географическим условиям для поддержки деятельности органов управления различных уровней.

Динамику основных показателей, характеризующих деятельность ГНИНГИ, по указанным направлениям иллюстрирует рис. 1, на котором показаны относительные изменения с 1995 г.:

- общего объема договоров на выполнение конверсионных работ ( $Q_1/Q$ );
- объема договоров на выполнение проектных работ и морских инженерных изысканий ( $Q_2/Q$ );
- объема договоров на выполнение работ по информационному обеспечению органов управления различных уровней данными о состоянии природной среды и создание Единой системы информации о Мировом океане ( $Q_3/Q$ ).

Здесь  $Q$  – объем соответствующих договоров в сопоставимых ценах 1994 г. (после выхода Постановления Правительства РФ от 19.06.1994 г. № 711).



Заметное увеличение значений показателей  $Q_1/Q$  и  $Q_2/Q$  в 1996 и 1998 гг. обусловлено выполнявшимися в эти годы проектированием системы навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения (НГГМО) Приразломного нефтяного месторождения, расположенного в Юго-восточной части Баренцева моря, а также морскими инженерными изысканиями по проектам "Голубой поток" и "Северо - Европейский газопровод". В течение 1999-2000 гг. выполнена необходимая подготовительная работа по участию ГНИНГИ в проектировании Штокмановского газоконденсатного месторождения, путей движения к порту Приморск и других крупных проектах,



что позволяет уверенно прогнозировать существенный рост показателей  $Q_1/Q$  и  $Q_2/Q$  в 2001-2002 гг.

Быстрое увеличение значений показателя  $Q_3/Q$  обусловлено началом работ по федеральной целевой программе "Мировой океан" и определению внешних границ континентального шельфа Российской Федерации.

На рис. 2 представлено изменение относительной доли  $Q_4/Q$  собственного участия ГНИНГИ в общем объеме конверсионных работ ( $Q$ ). Период до 1997г. в основном был посвящен освоению рыночных механизмов и поиску практических путей реализации научно-технического потенциала военной навигации, гидрографии и океанографии. Тематика конверсионных работ в это время имела достаточно узкий характер и поэтому доля собственного участия ГНИНГИ составляла 0,6-0,75. В дальнейшем тематика конверсионных работ приобрела более широкий характер с ярко выраженной системообразующей ролью ГНИНГИ МО РФ. В этот период удалось сформировать базовую кооперацию специализированных предприятий (НПА "Севморгео", ИРЭ РАН, АО "Аквастандарт" и др.) и оптимизировать относительную долю собственного участия на уровне 0,45 - 0,50.

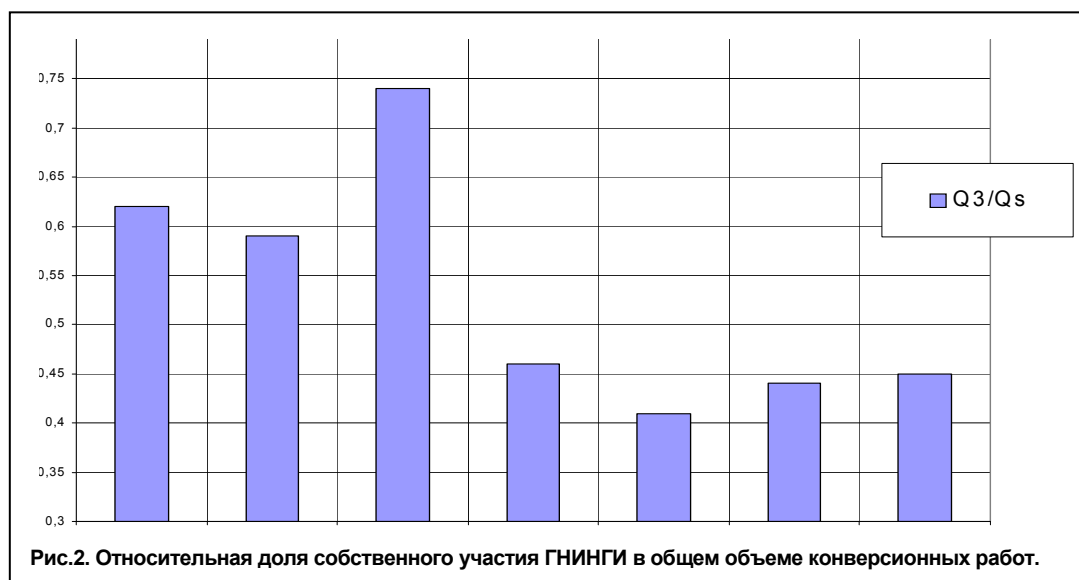


Рис.2. Относительная доля собственного участия ГНИНГИ в общем объеме конверсионных работ.

Рассмотрим более детально основные результаты конверсионной деятельности ГНИНГИ по перечисленным направлениям.

#### Обоснование и техническое проектирование систем НГГМО освоения и эксплуатации нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе.

Здесь можно выделить два крупных блока работ [3-9]:

- техническое проектирование системы НГГМО Приразломного нефтяного месторождения;
- теоретическое обоснование и разработка основных проектных решений по НГГМО транспортной системы нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе России.

К особым условиям выполнения указанных работ можно отнести:

- существенную неполноту нормативной базы проектирования;

- практически полное отсутствие отечественного опыта решения поставленных задач;
  - недостаточную изученность районов проведения работ.
- Последнее обстоятельство, в частности, побудило к разработке:
- предложений по крупномасштабному обследованию рельефа дна в районе установки морской ледостойкой платформы (МЛСП) и маршрута ее буксировки;
  - модели оценки экстремальных высот ветровых волн редкой обеспеченности в Печорском море, позволившей снять значительные расхождения в имевшихся источниках [10];
  - гидродинамической модели приливных течений в Белом море для использования при оперативном обеспечении транспортировки МЛСП [11].

На основании анализа физико-географических условий района проведения работ, требований международных и отечественных документов по обеспечению безопасности плавания и полетов воздушных судов и зарубежного опыта были разработаны основные технические решения по: навигационному оборудованию МЛСП и отгрузочного терминала; системе управления движением судов; системе управления воздушным движением; НГГМО буксировки и установки МЛСП на месторождении; средствам гидрометеорологического обеспечения объектов Приразломного нефтяного месторождения.

В состав технического проекта системы НГГМО вошли также проекты соответствующих организационно-методических документов: ("Положения о службе НГГМО Приразломного нефтяного месторождения", "Требования к средствам навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения ...", Инструкции для операторов и др.).

Практическое применение принципов, методов и рекомендаций, составляющих основу технических и технологических решений по системе НГГМО, предопределило актуальность теоретического осмысления полученных результатов с целью их приложения к навигационно-гидрографическому и гидрометеорологическому обеспечению транспортного обслуживания нефтегазовых месторождений в Арктике.

Решению этой насущной научной проблемы посвящены работы [3, 4, 9]. В результате исследований удалось разработать методологию и комплекс математических моделей формирования рациональной технической структуры системы НГГМО для общего случая нечетких исходных данных и плохо структурированного процесса системотехнического проектирования, оценить влияние навигационно-гидрографических и гидрометеорологических условий на эффективность транспортного обслуживания нефтегазовых месторождений в Арктике и обосновать рациональный облик системы НГГМО транспортного обслуживания Приразломного и Штокмановского месторождений.

Показателем эффективности транспортной системы определена величина  $\bar{M}_s$  – математическое ожидание относительной доли грузов, перевезенных с учетом их относительной значимости за расчетное время. Показателем внутренних свойств системы определена величина  $\omega$  – степень реализации предъявляемых к системе НГГМО требований. Расчеты выполнены на упрощенных моделях транспортного обслуживания месторождений, для проектного состава

сил и средств и трех вариантов системы НГГМО:  $R_o$  – существующая система НГГМО;  $R_{max}$  – система НГГМО, имеющая рациональную техническую структуру, создание которой принципиально возможно на базе современных достижений науки и техники;  $R^*$  – система НГГМО, представленная в разработанном ГНИНГИ проекте "Обустройство Приразломного нефтяного месторождения". Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Численные значения показателей внутренних и внешних свойств системы НГГМО

№№ п/п	Система НГГМО	Показатели		
		$\bar{M}_S$	$\sigma_{m_s}$	$\omega$
1	$R_o$	0,75	0,12	0,46
2	$R_{max}$	0,95	0,08	0,90
3	$R^*$	0,92	0,09	0,83

Примечание:

$\sigma_{m_s}$  – среднее квадратическое отклонение показателя эффективности.

На основании анализа результатов расчетов можно сделать вывод, что система  $R^*$  достаточно близка к  $R_{max}$ , т. е. ее техническая структура близка к рациональной. Для обеспечения корректности при сравнении систем  $R_o$  и  $R^*$  использованы известные модели доминирования (стохастического, средне-дисперсионного и вероятностного). Все модели доминирования свидетельствуют, что система  $R^*$  предпочтительнее системы  $R_o$ . Выполнение этого условия является необходимым для принятия решения о переводе системы НГГМО из состояния  $R_o$  в  $R^*$  ( $R_o \rightarrow R^*$ ). Достаточное условие определяется путем сравнения стоимости перевода  $C(R_o \rightarrow R^*)$  со стоимостью эквивалентного по эффективности наращивания транспортной системы

$$B(R^*) = [1 - \bar{M}_S(R^*)]C_{TC},$$

где  $C_{TC}$  – стоимость транспортной системы.

Установлено, что в данном случае  $C(R_o \rightarrow R^*) < B(R^*)$

Значение  $C(R_o \rightarrow R^*)$  оценивается величиной 38-45 млн. долл., а значение  $B(R^*)$  – величиной 324-396 млн. долл., т. е. выполняется и достаточное условие для принятия решения о наращивании системы НГГМО.

Полученные научные и практические результаты могут быть использованы как аналоги и в других отраслях экономики.

Производство морских инженерных изысканий в обеспечение проектирования и строительства подводных трубопроводов, линий связи, портов и отдельных гидротехнических сооружений.

Это направление играет главную роль в конверсионной деятельности ГНИНГИ МО РФ. К числу наиболее значительных работ можно отнести натурные изыскания:

- по трассам прокладки подводной волоконно-оптической линии связи "Новороссийск – Сочи - Поти" (заказчик "Гипросвязь", 1995 г.);
- по участкам трассы подводного газопровода "Голубой поток" из России в Турцию (заказчики РАО "Газпром" и фирма NeSa, Голландия, 1997 г.);
- по трассам прокладки Северо-Европейского газопровода на акватории Финского залива (заказчик фирма North Transgas Oy, Финляндия, технический контроль фирма Geoconsult, Норвегия, 1998 г.);
- по трассам прокладки волоконно-оптической линии связи Россия - Швеция (заказчик "Гипросвязь", 2000 г.).

Кроме этого, выполнен большой объем камеральных изысканий на основе фондовых материалов:

- по морскому варианту газопровода Джубга - Якорная Щель (заказчик "Гипроспецгаз", 1999 г.);
- по южному маршруту движения судов в порт Санкт-Петербург (заказчик АО "Морской порт", 1998 г.);
- по району строительства нефтеналивного терминала в Финском заливе (заказчик компания NESTE, Финляндия, 1997 г.) и ряд других.

Показательным примером могут служить изыскания по трассам Северо - Европейского газопровода.

Состав работ был определен условиями тендера и уточнен по результатам анализа фондовых материалов [12,15].

Рассмотрим, следуя статьям [13,14], технологию выполнения работ.

Камеральный этап изысканий включает: разработку навигационно-гидрографического описания района; определение картографической и батиметрической изученности; составление инженерно-геологической характеристики района; описание гидрометеорологического режима, включая оценку литодинамических процессов.

Полученные результаты использованы для уточнения трасс и объемов натуральных изысканий. В рассматриваемом случае заказчиком была уточнена трасса трубопровода на участках: западнее острова Гогланд, в районе островов Соммерс и Большой Березовый.

Оценка инженерно-геологической изученности показала, что из первоначально заданного объема работ может быть исключено исследование донного грунта с помощью пенетрационной установки и вибробурение. Тем самым удалось существенно снизить стоимость изыскательских работ.

Попутно отметим, что в настоящее время уточнение трасс производится качественно, методики количественной оценки и сравнения возможных вариантов отсутствуют. В связи с этим нами предпринята попытка разработки методического подхода и соответствующих математических моделей для решения этой задачи [14].

Основной состав оборудования, использованный при производстве натурных изысканий, приведен в табл. 2.

Таблица 2

## Основной состав оборудования

№№ п/п	Тип оборудования	Назначение и основные тактико-технические характеристики
1.	Промерный эхолот ПЭЛ-4М	Измерение глубин и запись профиля дна. Предельная инструментальная погрешность ( $P=0,997$ ) измерения глубин 0,1 м (в диапазоне 0–20 м) и 1% в диапазоне более 20 м.
2.	Автоматизированный гидрографический комплекс площадной съемки АГК ПС-200	Площадное обследование, съемка рельефа и грунта дна в диапазоне глубин 5-200 м. Полоса батиметрической съемки с СКП менее 1% – 6Z (Z – глубина под килем). Полоса гидролокационной съемки – 10Z. Скорость судна при съемке до 5 уз.
3.	Акустический профилогграф ПЦ-8	Сейсмоакустическое профилирование и измерение акустических характеристик выделяемых слоев донного грунта. Изучение донных отложений на глубину до 50 м. Погрешность определения акустических характеристик не более 5%. Разрешающая способность 0,2–0,3 м.
4.	Дифференциальный магнитометр МБГ-05	Измерение магнитного поля с целью обнаружения объектов с собственным магнитным полем. Диапазон измеряемой индукции $(30-70) \cdot 10^3$ нТл. Диапазон измерений приращений индукции $0-1 \times 10^3$ нТл.
6.	Судовой приемник ГЛОНАСС/GPS "Бриз-К" или Trimble NT300D	Определение местоположения судна и датчиков акустических антенн. Точность определения места ( $P=0,683$ ) в дифференциальном режиме 5 м.
7.	Пробоотборники донных грунтов (гравитационные, коробчатые, гравитационные трубки)	Отбор проб донных грунтов для измерения механических и физико-химических свойств в судовой и стационарной лаборатории.
8.	Лабораторное геотехническое оборудование	Исследование свойств донных грунтов в соответствии со стандартом BS 1377: Part 2, 3, 5.1990.

Кроме перечисленного, при выполнении работ использовались: океанографический комплекс "Катран-04" для измерения вертикального распределения скорости звука в воде, геодезические инструменты и мареографы для выполнения высотного обоснования съемки рельефа дна, электронная навигационная информационная система, станция спутниковой связи стандарта ИНМАРСАТ и другое оборудование.

Требования к оборудованию, технологии и процедурам производства изыскательских работ вошли в "Программу обеспечения качества", подготовленную в соответствии со стандартом ISO 9000:94.

По результатам изысканий построены: геологическая модель дна по трассе трубопровода; модель рельефа дна; геоакустические разрезы донных грунтов; таблицы магнитных контактов.

Морские инженерные изыскания по трассам Северо - Европейского газопровода получили высокую оценку РАО "ГАЗПРОМ" и западных партнеров.

Проектирование средств навигационного оборудования и системы путей движения на акватории Финского залива

В настоящее время в восточной части Финского залива сложилась весьма сложная для плавания навигационная обстановка. Это обусловлено:

- ростом судопотока, проходящего через рассматриваемый регион (более 18 тыс. судозаходов в год с учетом транзита, следующего далее по внутренним водным путям);
- значительным увеличением габаритов судов, которые заходят и будут заходить порты восточной части Финского залива (с осадкой от 11 до 17 м в будущем);
- недостаточной изученностью рельефа дна восточной части Финского залива для обеспечения безопасности плавания такого мощного судопотока;
- неспособностью существующей системы путей движения пропускать существенно возросшее количество судов.

Для судов с осадкой 11 м при неблагоприятных гидрометеорологических условиях в восточной части Финского залива реальную опасность представляют глубины менее 17 м. Для таких судов в свое время была разработана достаточно удобная в отсутствие льда система путей движения древовидной структуры, когда судопотоки из Санкт-Петербурга, внутренних водных путей и Выборгского залива поочередно сходились к одному большому пути. Сложность движения по этому пути в период зимней навигации компенсировалась разработкой и освоением Морской администрацией порта Санкт-Петербург и Ассоциацией лоцманов дополнительных ледовых маршрутов. (Например, в 1998 г. ГНИНГИ МО РФ разработал Рекомендации по обеспечению навигационной безопасности плавания Островным проходом в период ледовой навигации на основе анализа фондовых данных по гидрометеорологическому режиму и результатов численного моделирования динамики ледяного покрова и литодинамических процессов [16]. Использование Островного прохода, по оценкам специалистов, может обеспечить в суровые зимы экономический эффект 8 – 10 млн. долл. в год).

Для судов с осадкой 12 м опасными становятся глубины менее 19 м что существенно уменьшает размеры акватории пригодной для их плавания. Для судов же с осадкой 15 и 17 м опасны глубины менее 20 и 21 м соответственно. С достаточной для навигационной безопасности мореплавания точностью обследована только существующая система путей движения, т. е. не более 5% от всей рассматриваемой акватории. Таким образом, сегодня движение перспективных судов вне узкой полосы установленного пути практически невозможно. В ледовых условиях, когда скорость каравана судов на участке к северу от островов Мощный и Сескар из-за усиленного торошения льда не превышает 3-6 уз., что сравнимо со скоростью подвижки льда, безопасный проход судна с осадкой 15 м на расстоянии 8-20 кбт. от опасной глубины представляется маловероятным. Практически на всем протяжении пути от острова Родшер до порта суда с осадкой 15 м будут стеснены своей осадкой и всем встречным судам придется уступать им дорогу. Уже при существующем в настоящее время судопотоке в среднем такая ситуация будет возникать через каждый 27 мин. на траверзе Приемного буя порта Санкт-Петербург

и в районе острова Сескар при начале движения судов в порт Приморск. Расчеты показывают, что прогнозируемый рост судопотока в ближайшем будущем может привести к 3-5 навигационным происшествиям за год в каждом из районов схождения путей. В 2000 - 2001 гг. ГНИНГИ МО РФ начал подготовку к работам по комплексной модернизации всей системы обеспечения навигационной безопасности мореплавания в восточной части Финского залива, включающей в себя: систему установленных путей движения судов, минимизирующую вероятность навигационных аварий; средства навигационного оборудования, обеспечивающие безопасное плавание по путям движения; совершенствование службы движения судов с оснащением ее соответствующими техническими средствами управления движением; нормативно-правовую базу, определяющую ответственность юридических и физических лиц за навигационную безопасность плавания.

К настоящему времени в этом направлении уже выполнен целый ряд работ, в ходе которых накоплен необходимый опыт и созданы современный научно-методический аппарат и технологии проектирования. К числу наиболее интересных можно отнести: проектирование путей движения судов и средств навигационного оборудования на морских подходах к порту Усть-Луга, 1997 г.; разработку Рекомендаций по обеспечению навигационной безопасности плавания Островным проходом в период ледовой навигации в Финском заливе, 1998 г.; разработку основных организационно-методических, технических и проектных решений по НГГМО нового судового хода от Приемного буя Усть-Лужского канала до Приемного буя № 1 устья Луги для плавания судов с объявленной осадкой 3,5 м, 2000 г.; разработку Временного маршрута и рекомендаций для плавания судов с осадкой 11 м в порт Высоцк и ряд других.

В качестве примеров рассмотрим те из них, в которых получены значимые практические и научные результаты.

Так, при разработке Временного маршрута плавания судов с осадкой 11 м в порт Высоцк удалось создать методику комплексного анализа навигационно-гидрографических условий района, минимизирующую риск навигационных происшествий, и соответствующее этой методике программно-математическое обеспечение.

При разработке маршрута выполнены: оценка условий плавания расчетного судна; определение глубин, опасных для расчетного судна; оценка погрешности определения места; оценка достаточности информации о рельефе дна в районе возможного расположения маршрута; определение границ навигационных опасностей; положение маршрута и определение ограничений, накладываемых гидрометеорологическими и гидрографическими условиями; разработка описания маршрута движения судов.

Исходя из размерений судов, планируемых для захода в порт Высоцк, и особенностей гидрометеорологического режима района были рассчитаны параметры "канала", обеспечивающего их безопасный проход: глубина 12,8 м ширина 101 м; скорость движения на участках с глубинами близкими к 12,8 м не более 8 уз.

В результате дополнительного исследования выявлен ряд поднятий рельефа дна, не нанесенных на карту и препятствующих проходу судов с

осадкой 11 м от порта Высоцк к основной системе путей движения в восточной части Финского залива.

Потребовалась разработка временного маршрута как совокупности частных рекомендованных путей, проходящих по безопасной для плавания акватории. На наиболее сложных участках маршрута линия пути выбиралась из следующих условий: равная удаленность от наиболее близких опасностей; наименьшие из возможных погрешности определения места; длина частного рекомендованного пути не менее 7 длин корпусов расчетного судна.

Применение этой методики позволило увеличить допустимую осадку судов, пользующихся портом Высоцк, на 2,5 м и существенно расширить возможности порта.

По результатам работы выпущено извещение мореплавателям и выполнены успешные проводки судов.

Другим убедительным примером эффективного использования научно-технического потенциала является комплексное решение задачи обеспечения навигационной безопасности плавания в районе Усть-Лужского канала.

Возникла проблема: в результате переотложения осадочной толщи дно Усть – Лужского канала на отдельных участках весьма интенсивно заносится. Предпринимавшиеся ранее попытки объяснения наблюдаемой картины переформирования рельефа дна оказались несостоятельными. В связи с планируемым увеличением судоходства по каналу и для сокращения объемов дноуглубительных работ потребовалось определить физические механизмы и параметры протекающих здесь литодинамических процессов.

С этой целью были проведены теоретические и экспериментальные исследования литодинамических процессов, позволившие спрогнозировать стабилизацию линии максимальной глубины и обосновать целесообразность переориентации вдоль нее Усть-Лужского морского и Усть – Лужского речного створов. На период проверки прогноза (1,5 года) в качестве временных средств навигационного оборудования непрерывно использовались две телевизионные навигационные системы ТНС-1 [18 – 20].

Принцип действия телевизионного створа с использованием ТНС-1 основан на передаче по радио на судно специально сформированного телевизионного изображения участка акватории, на котором находится рекомендованный путь движения и совмещенная с осью створа вертикальная визирная линия, а также изображение судна.

За этот период при следовании судов по телевизионному створу не произошло ни одного навигационного происшествия.

Схема оборудования района средствами СНО показана на рис. 3.

Контрольный промер глубин в 2000 г. показал, что прогноз процессов изменения рельефа дна в районе канала полностью оправдался. Это позволило примерно в 20 раз уменьшить объем дноуглубительных работ.



Разработка технических и методических решений для создания автоматизированных информационно-справочных систем по физико-географическим условиям для обеспечения деятельности органов управления различных уровней

Успешное и очень быстрое развитие этого направления обусловлено активизацией потребности использования информационных ресурсов ВМФ в интересах экономики страны.

Информационные ресурсы ВМФ сосредоточены в двух специализированных центрах сбора и обработки данных экспериментальных исследований океана: Научно-исследовательском (океанографическом) центре (НИЦ) ГНИНГИ МО РФ и 280 Центральном картографическом производстве (ЦКП) ВМФ.

В состав информационных ресурсов НИЦ ГНИНГИ МО РФ входят: архив объемом 12 000 отчетов; каталог со сведениями о 21 000 экспедиции; массивы и дисциплинарные базы данных Гидрографической службы ВМФ, а так же массивы и базы данных, полученные от мореведческих организаций страны и в порядке международного обмена данными; база метаданных Гидрографической службы ВМФ; климатические и специализированные информационно-справочные системы; база данных уровенных наблюдений, выполненных Гидрографической службой ВМФ в Баренцевом, Белом, Охотском, Беринговом и Японском морях; база данных сейсмических зондирований со льда в Арктическом бассейне; программные модули подсистемы проблемно-ориентированных приложений.

Ряд дисциплинарных массивов содержат от 20 до 50% уникальных данных, полученных Гидрографической службой ВМФ.

В состав информационных ресурсов 280 ЦКП входят: материалы гидрографических исследований; материалы геофизических исследований и магнитных съемок; карты издания ГУНиО МО; иностранные морские карты; сводные планшеты маршрутного промера; карты грунтов издания ГУНиО МО; атласы грунтов; гидрометеорологические атласы; атласы течений; карты элементов земного магнетизма издания ИЗМИ РАН; топографические карты шельфа, издания Роскартографии; российские топографические и специальные карты различных изданий; материалы топографических съемок различных ведомств.

Основная коллекция морских навигационных карт насчитывает 6500 адмиралтейских номеров; радионавигационных и специальных карт – 1500 адмиралтейских номеров; электронных навигационных карт (аналогов основной коллекции) – более 2000.

Сведения о количестве основных видов морских руководств приведены в табл. 3.

Таблица 3

## Количество основных видов морских руководств

Регионы Вид пособия	Балтийское море	Атлантический океан	Тихий океан	Японское, Охотское, Берингово моря	Индийский океан	Северный Ледовитый океан	Средиземное, Черное, Азовское моря
Лоции	12	26	33	18	12	19	14
Описание огней	8	10	7	5	1	6	5
Описание РТС	5	7	4	6	3	8	7
Правила плавания	4	5	3	-	-	-	1
Всего по регионам	29	48	47	29	16	33	27

Представление информационной продукции в зависимости от решаемых задач производится как в традиционных формах (таблицы, картосхемы, графики, диаграмм), так и в составе специализированных информационно-справочных систем.

В состав специальных методов обработки результатов натурных наблюдений и моделирования природных процессов входят: методы расчетов, рекомендованные действующими нормативно-методическими документами; оригинальные методы и модели, разработанные в ГНИНГИ МО РФ.

Выше указывалось, что наиболее крупные работы в составе рассматриваемого направления конверсионной деятельности ГНИНГИ ведутся в рамках программы подготовки и обоснования перечня географических координат точек, определяющих линии внешних границ континентального шельфа РФ в Северном Ледовитом и Тихом океанах и федеральной целевой программы "Мировой океан".

Использование информационных ресурсов ВМФ при определении внешних границ континентального шельфа позволит закрепить за Россией суверенные права на дополнительную территорию континентального шельфа в Северном Ледовитом океане площадью около 1,2 млн. км.<sup>2</sup>, прирастить за этот счет прогнозируемые запасы углеводородного сырья РФ на 4,9 млрд. т. условного топлива, стимулировать экономическое развитие Арктического региона и примыкающих территорий России.

К настоящему времени разработана методика анализа и произведены оценка, подбор, подготовка и передача исходных геофизических данных для карты осадочного чехла Северного Ледовитого океана; разработаны электронные информационно-справочные системы для Баренцева моря и отдельных акваторий окраинных морей России; построена цифровая модель рельефа дна Баренцева моря.

В рамках Программы "Мировой океан" ведутся работы по научно-методическому и программно-техническому обеспечению интеграции существующих ведомственных информационных ресурсов (в том числе информационных ресурсов ВМФ), имеющие целью формирование единого информационного пространства страны по проблемам морской среды, повышение эф-

эффективности информационного обеспечения и сопровождения решений по экономической, военной и научной деятельности в Мировом океане, сокращение ущерба хозяйству страны от стихийных природных явлений.

Достижение указанных целей в конечном счете призвано обеспечить эффективную реализацию основных направлений морской деятельности государства в рамках концепции устойчивого развития.

Кроме работ, выполняемых в составе рассмотренных федеральных программ, ГНИНГИ разработаны по заказу правительства Ленинградской области и муниципальных образований системные проекты:

- создание комплексного территориального кадастра природных ресурсов и системы информационного обеспечения управления природопользованием и экологической безопасностью Ленинградской области;
- создание территориальной автоматизированной информационной (АИС) системы муниципального образования "г. Сосновый Бор Ленинградской области";
- создание системы автоматизированного информационного обеспечения управления недропользованием и ряд других.

Разработаны также территориальные автоматизированные информационные системы, например, – автоматизированная информационная система "Природопользование и экологическая безопасность Ленинградской области".

Все разработанные АИС основаны на использовании геоинформационных технологий и цифровых топографических, тематических и кадастровых карт территорий.

Для обеспечения функционирования АИС в формате ГИС ArcInfo созданы более 400 слоев топогеодезической и тематической информации в масштабах 1:500 000, 1:100 000, 1:10 000, 1:2000. Созданы и практически используются 150 картографических проектов (цифровых карт), функционирующих в ArcView.

Значение выполненных работ и исследований, по нашему мнению, исключительно велико для России. Решенные Институтом за короткий срок задачи в интересах экономики обеспечивают своевременное и качественное выполнение обязательств Российской Федерации по международным соглашениям (газопровод Россия – Турция, Северо-Европейский газопровод и др.), снижают уязвимость российского транспорта углеводородов, поскольку перспективные маршруты их транспортировки не будут проходить по территории сопредельных государств или нестабильных районов (проекты освоения Штокмановского и Приразломного месторождений), обеспечивают безопасность торгового мореплавания и увеличивают допустимую осадку судов при заходе в действующие порты (например, транспортный узел "Большой порт Санкт-Петербург").

Таким образом, научно-технический потенциал военной навигации, гидрографии и океанографии, используемый в интересах экономики, отвечает требованиям реализации единой скоординированной государственной политики по совершенствованию и развитию морской деятельности России.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Куроедов В. И. Стратегия государства по защите и реализации национальных интересов России в Мировом океане//Дисс. на соискание уч. степени доктора полит. наук - М.: Морской научный комитет ВМФ, 2000г. – 268с.
2. Основы политики Российской Федерации в области военно-морской деятельности на период до 2010 г. М. – 12 с.

3. Алексеев С. П. Теоретическое обоснование и разработка основных проектных решений по навигационно-гидрографическому и гидрометеорологическому обеспечению транспортной системы нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе России//Дисс. на соискание уч. степени доктора техн. наук – СПб. ГНИНГИ МО РФ, 1988г. – 263с.
4. Алексеев С. П., Добротворский А. Н. Теоретические основы построения адаптивной подсистемы навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения транспортной системы нефтегазового комплекса на арктическом шельфе России//Монография – СПб. Министерство обороны РФ (в надзаг. ГНИНГИ МО РФ), 1998г. – 118с.
5. Алексеев С.П., Герасимов В.М., Добротворский А. Н., Дерцакян А. К. Пути решения проблемы навигационного обеспечения освоения и эксплуатации нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе//Навигация и гидрография – СПб, ГНИНГИ МО РФ, 1997. № 4 – с. 9-19.
6. Алексеев С. П., Герасимов В. М., Добротворский А. Н. и др. Результаты технического проектирования системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок Приразломного нефтяного месторождения. 1. Физико-географические условия района. Общие требования к системе навигационного обеспечения//Третья межд. конф. "Освоение шельфа арктических морей России" 23-26 сент. 1997г. (РАО-97)/Рефераты докл. – СПб, ЦНИИ им. А. Н. Крылова, 1997. – с. 194-195.
7. Алексеев С. П., Герасимов В. М., Добротворский А. Н. и др. Результаты технического проектирования системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок Приразломного нефтяного месторождения. 2. Навигационное оборудование МЛСП и ОТ//Там же – с. 196-197.
8. Алексеев С. П., Герасимов В. М., Добротворский А. Н. и др. Результаты технического проектирования системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок Приразломного нефтяного месторождения. 3. Гидрометеорологическое обеспечение морской и воздушной навигации//Там же – с. 198-199.
9. Алексеев С. П., Добротворский А. Н. Проблемы навигационно-гидрографического и гидрометеорологического (НГГМО) обеспечения работ по освоению природных ресурсов Арктики//Сборник документов/Международная конференция "Развитие Арктической транспортной системы в XXI веке" – Санкт-Петербург, 24-28 января 1999. – с. 128-129. (В надзаг.: Северный Фонд).
10. Лавренов И. В., Боков В. Н., Дымов В. И. и др. Оценка экстремальных высот ветровых волн в Печорском море//Навигация и гидрография – СПб, ГНИНГИ МО РФ, 1997, № 4 – с. 144-152.
11. Матрюков С. И. Модель расчета течений в Белом море//Навигация и гидрография – СПб, ГНИНГИ МО РФ, 1997, № 4 – с. 94-99.
12. North European Gas Transmission Route Tender Bid-Feasibility Survey – 1998. Giprospezgaz, RAO GAZPROM. – 460 p.
13. Alekseev S. P., Dobrotvorskyy A. N., Druzhevskyy S. A. Technology of Carrying Out the Sea Engineering Investigations Intended to Choose the Submarine Pipeline Routes at Preliminary Design Stage//The Proceedings of the Second (1999) ISOPE European OFFSHORE MECHANICS SYMPOSIUM/Pipelines – Moscow, Russia (ISOPE EUROMS-99). - 1999. - pp. 92-93.
14. Alekseev S. P., Dobrotvorskyy A. N., Serebrjakov A. M. Complex Assessment of Natural Conditions for Offshore Pipeline Route Optimization//Proceedings RAO-99/Development of Russian Arctic Offshore (Fourth International Conference, St. Petersburg, 1999). Part I, - pp. 254-266/
15. Office Analysis Engineering-Surveys for the Clarification of Survey Paths on Lines of the North-European Gas Pipeline in Russian Territorial Waters. Theme "NTG-0010-STANDART" GNGI 3. 60.030 KI 6.0 The State Research Navigation – Hydrographic Institute. – 1998 – 96p.
16. Предварительный анализ гидрометеорологической обстановки в районе Островного прохода и на проходах к нему в период ледовой навигации//Отчет по НИР (научн. руков. Матрюков С. И.) – СПб. ГНИНГИ МО РФ, 1998 – 109с.
17. Разработка рекомендованного маршрута для следования судов с осадкой 11 м к порту Высоцк//Отчет по НИР (научн. руков. Авдонушкин В. А.)– СПб. ГНИНГИ МО РФ, 2000 – 98с.
18. Исследование литодинамических процессов в районе Усть-Лужского канала путем математического моделирования на основе анализа фоновых материалов//Отчет по НИР (научн. руков. Добротворский А. Н.) – СПб. ГНИНГИ МО РФ, 1999 – 200с.
19. Разработка необходимых для выбора и проектирования СНО уточненных оценок литодинамических процессов в районе Усть-Лужского канала//Отчет по НИР (научн. руков. Добротворский А. Н.) – СПб. ГНИНГИ МО РФ, 1999 – 139с
20. Dobrotvorskyy A. N., Kushnir V. M. Prognostical Account of the Characteristics of Dangerous Lithodynamic Effects for Sea Main Pipelines//Proceedings RAO-99/Development of Russian Arctic Offshore (Fourth International Conference, St. Petersburg, 1999). -Part I, - pp. 436-439.

**СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ КАК МЕЖДУНАРОДНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ  
МАГИСТРАЛЬ – СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ****В.И. ПЕРЕСЫПКИН,  
А.Н. ЯКОВЛЕВ  
(ЗАО “ЦНИИМФ”)**

*Кратко освещаются проблемы организации международного коммерческого судоходства по Северному морскому пути и перспективы создания на нем Евроазиатского транспортного коридора.*

Северный морской путь (СМП) благодаря своему особому географическому положению может стать в XXI веке важным коммерческим связующим звеном между мощными Европейским и Азиатско-Тихоокеанским экономическими центрами. На эталонном международном маршруте Йокогама-Роттердам трасса СМП на 34% короче южных маршрутов через Суэцкий и Панамский каналы. Кроме того, плавание через эти каналы сопряжено с рядом ограничений, в том числе по размерам и осадке судов. При использовании высокоширотных трасс СМП эти ограничения снимаются, одновременно дополнительно сокращается дальность транзитного плавания при следовании по так называемой “арктической дуге большого круга”.

История эксплуатации Суэцкого и Панамского каналов свидетельствует и о негативном влиянии региональной военно-политической нестабильности на судоходство в этих районах. Например, во время израильско-арабского военного конфликта Суэцкий канал был закрыт с 1967 по 1975 г. Именно поэтому в качестве альтернативы по инициативе Минморфлота СССР в 1967 г. предпринималась попытка открыть СМП для международного судоходства. Потенциальным иностранным судо- и грузовладельцам были направлены соответствующие приглашения в виде буклетов на английском языке. Гарантировалась безопасная проводка судов по СМП российскими ледоколами, определялся порядок допуска к плаванию по трассам СМП и объявлялись ледокольные сборы, уровень которых обеспечивал иностранцам значительный экономический эффект по сравнению с транспортными затратами при перевозке грузов традиционным южным морским путем через Суэцкий канал.

К тому времени уже седьмой год трассы СМП обслуживал атомный ледокол “Ленин” мощностью 44 тыс. л. с. [1]. Эксплуатация его в Арктике оказалась успешной. Обладая высокой ледопроемкостью и хорошей маневренностью, ледокол во многом способствовал успеху целого ряда морских операций на трассах СМП и заслуженно стал именоваться флагманом арктического ледокольного флота. В составе последнего на тот момент на смену паровым ледоколам уже пришли 5 дизель-электрических ледоколов типа “Москва” мощностью 26 тыс. л. с. (построены в Финляндии в 1960–1969 гг.). Использование этих судов повышенной мощности и ледопроемкости значительно продлило сроки арктической навигации.

Транспортный флот арктического плавания также постоянно обновлялся, причем новые транспортные суда по прочности корпуса соответствовали возможностям ледопроемкости новых ледоколов – в 1954 – 1972 гг. были построены серии дизель-электрических судов типов “Лена” и “Амгуэма” арк-

тического класса УЛА. Они имели грузоподъемность до 8 тыс. т и энергетическую установку мощностью до 9 тыс. л. с. Наряду с перевозкой грузов эти суда применялись как вспомогательные ледоколы в караванном плавании, а также самостоятельно совершали двойные сквозные рейсы по СМП [1].

В целом советская морская арктическая транспортная система в те годы функционировала с высокой степенью надежности и могла обеспечить не только национальные перевозки, но и транзит иностранных грузов по трассам СМП в продленную летнюю навигацию. Однако возможность открытия СМП для международного коммерческого судоходства так и не была реализована. Негативную роль определенно сыграли военно-политические соображения, прямые силовые акции ВМФ СССР против несанкционированного проникновения на трассы СМП ледоколов Береговой охраны США.

С началом политики разрядки новый импульс идее международных транзитных перевозок по СМП дали Мурманские инициативы 1987 г. В них указывалась принципиальная готовность СССР предоставить ледоколы для проводки иностранных судов по СМП при условии нормализации международной обстановки.

В развитие Мурманских инициатив были поставлены задачи создать необходимую правовую базу, разработать и ввести в действие документы, регламентирующие плавание судов по СМП. Итогом соответствующих работ стало опубликование в 1990 г. утвержденных Минморфлотом СССР "Правил плавания по трассам СМП".

В объявленных "Правилах" доминирует примат действующих международно-правовых норм, в частности, ст. 234 ("Покрытые льдом районы") Конвенции ООН по морскому праву 1982 г., дающих право прибрежным государствам принимать и обеспечивать в своих водах соблюдение недискриминационных законов и правил по предотвращению загрязнения морской среды с судов и обеспечению безопасности судоходства.

"Правила плавания по трассам СМП" исходят из концепции единого статуса СМП, распространяемого на всю пространственную сферу действий судоходных трасс СМП – на внутренние морские воды, территориальное море, воды арктических проливов и исключительную экономическую зону. Тем самым созданы предпосылки для исключения в дальнейшем острых политических инцидентов, возникающих в связи с "мирным проходом" иностранных торговых и военных судов через территориальные воды и пересечением "внутренних" вод арктических проливов.

Установленный "Правилами" уведомительный порядок доступа на СМП всех судов фактически открывает СМП для иностранного коммерческого судоходства. В дальнейшем, в развитие этого документа, в духе наибольшего благоприятствования для международного судоходства были опубликованы "Руководство для сквозного плавания судов по СМП" на русском (1995 г.) и английском (1996 г.) языках, включающее "Правила ледокольно-лоцманской проводки судов по СМП" и "Требования к конструкции, оборудованию и снабжению судов, следующих по СМП".

Для захода иностранных судов на трассе СМП в первую очередь открываются порты Диксон, Тикси, Певек и Дудинка. Местным органам власти предстоит оборудовать в указанных портах пункты таможенного и пограничного контроля.

Параллельно по инициативе Минморфлота СССР в 1991 г. разработаны и одобрены ГКНТ СССР условия проведения предварительного международного научно-исследовательского проекта "Транзитная перевозка грузов по СМП". Однако вопросы финансирования исследований определились только в 1993 г.

В группу спонсоров вошли норвежские государственные организации и частные фирмы и Японский фонд "Судно и океан" (некоммерческая частная организация). Трехстороннее соглашение о сотрудничестве на трехлетний период с возможным продлением его еще на два года по Международной программе Северный морской путь (INSROP) было подписано в мае 1993 г. По решению Администрации Северного морского пути в качестве российского координатора договор подписал ЦНИИМФ, в качестве норвежского – Институт Фритьофа Нансена и японского – Фонд "Судно и океан".

Проект был реализован на основе двустороннего соглашения о научно-техническом сотрудничестве между ЦНИИМФом и Институтом Фритьофа Нансена (Норвегия) с участием специалистов Великобритании, Финляндии, Канады, США и др.

В рамках названного проекта на базе ранее проведенных исследований и практического опыта сделана концептуальная оценка возможности транзитного плавания транспортных судов по СМП в продленные сроки навигации между западноевропейскими портами и портами Тихого океана, а также разработаны концепция и структура международной программы дальнейших исследований.

Основная цель программы INSROP – привлечь внимание деловых кругов, грузоотправителей и судовладельцев к СМП, показать экономическую эффективность использования этой трассы по сравнению с южным вариантом транспортировки грузов и за счет этого сохранить и задействовать российский арктический флот и ледоколы, поддерживать и развивать инфраструктуру СМП, обеспечить работой население арктических городов, поселков, полярных станций, получить прибыль от эксплуатации национальной транспортной магистрали.

Вторая задача – это оценка потенциального воздействия повышенной интенсивности судоходства на окружающую среду Арктики и ее коренное население, разработка рекомендаций по минимизации и смягчению возможных отрицательных последствий.

Выполненные в 1993-1998 гг. исследования по программе INSROP подтвердили техническую возможность и экономическую эффективность использования СМП для международного коммерческого судоходства без ущерба для экологии региона [2]. Как показал проведенный в рамках этой программы транзитный научно-коммерческий рейс российского транспортного судна "Кандалакша" в августе 1995 г. по маршруту Йокогама–СМП–Киркенес, иностранный грузоотправитель в период летней навигации может ускорить по сравнению с южным путем доставку грузов на 10–15 сут. При этом в каждом рейсе за счет снижения себестоимости перевозок может быть получена экономия в размере до 500 тыс. дол. Доход российских ледоколов за проводку одного судна может составить более 100 тыс. дол.

Результаты программы INSROP были доложены на Первой Международной Евроазиатской конференции по транспорту в мае 1998 г. в Санкт-

Петербурге. СМП определен как самостоятельный Евроазиатский транспортный коридор под контролем и управлением России (рис. 1).

Вторая Международная Евроазиатская конференция по транспорту, проходившая в сентябре 2000г. также в Санкт-Петербурге, была посвящена дальнейшему поиску новых путей интеграции транспортных систем Юго-Восточной Азии и Западной Европы. Безусловный интерес для всех представлял СМП. Как отмечалось, он может обеспечить кратчайшие транспортные связи портов Северной и Западной Европы с портами Северной Америки, Японии, Кореи и Китая [3].

В первых двух десятилетиях XXI века, по оценке зарубежных экспертов, объемы транзитных перевозок иностранных грузов по СМП в восточном направлении могут составить 5–6 млн. т, в западном – 2–3 млн. т [4]. По данным ЦНИИМФ, экспорт в Европу сырой нефти из Тимано-Печорской провинции и бассейнов рек Обь и Енисей оценивается в 23–35 млн. т, сжиженного газа с полуострова Ямал – 15–20 млн. т, газоконденсата из бассейнов рек Обь и Енисей 1–3 млн. т; экспорт в страны Юго-Восточной Азии (Китай, Япония, Корея) минеральных удобрений – 1–2 млн. т, черных металлов – 1–2 млн. т и лесных грузов – 1–2 млн. т в год [5].

Для выполнения прогнозируемых объемов транзитных региональных перевозок потребность в новых специализированных транспортных судах арктического плавания составит 85 судов суммарных дедвейтом 3,87 млн. т (таблица) [6].

Потребность в специализированных транспортных судах арктического плавания

№№	Тип и вместимость судна	Количество, ед.	Дедвейт, тыс. т
1.	Метановоз грузоместимостью 90 тыс.м <sup>3</sup>	14	670
2.	Танкер для перевозки нефтепродуктов дедвейтом 20 тыс.т	10	200
3.	Танкер для перевозки сырой нефти дедвейтом 80 тыс.т	15	1200
4.	Танкер для перевозки сжиженных нефтяных газов грузоместимостью 24 тыс.м <sup>3</sup>	6	150
5.	Танкер для перевозки сжиженных нефтяных газов грузоместимостью 40 тыс.м <sup>3</sup>	10	330
6.	Контейнеровоз вместимостью 3000 ДФЭ	20	770
7.	Навалочник дедвейтом около 60 тыс.т	10	550
Итого		85	3870



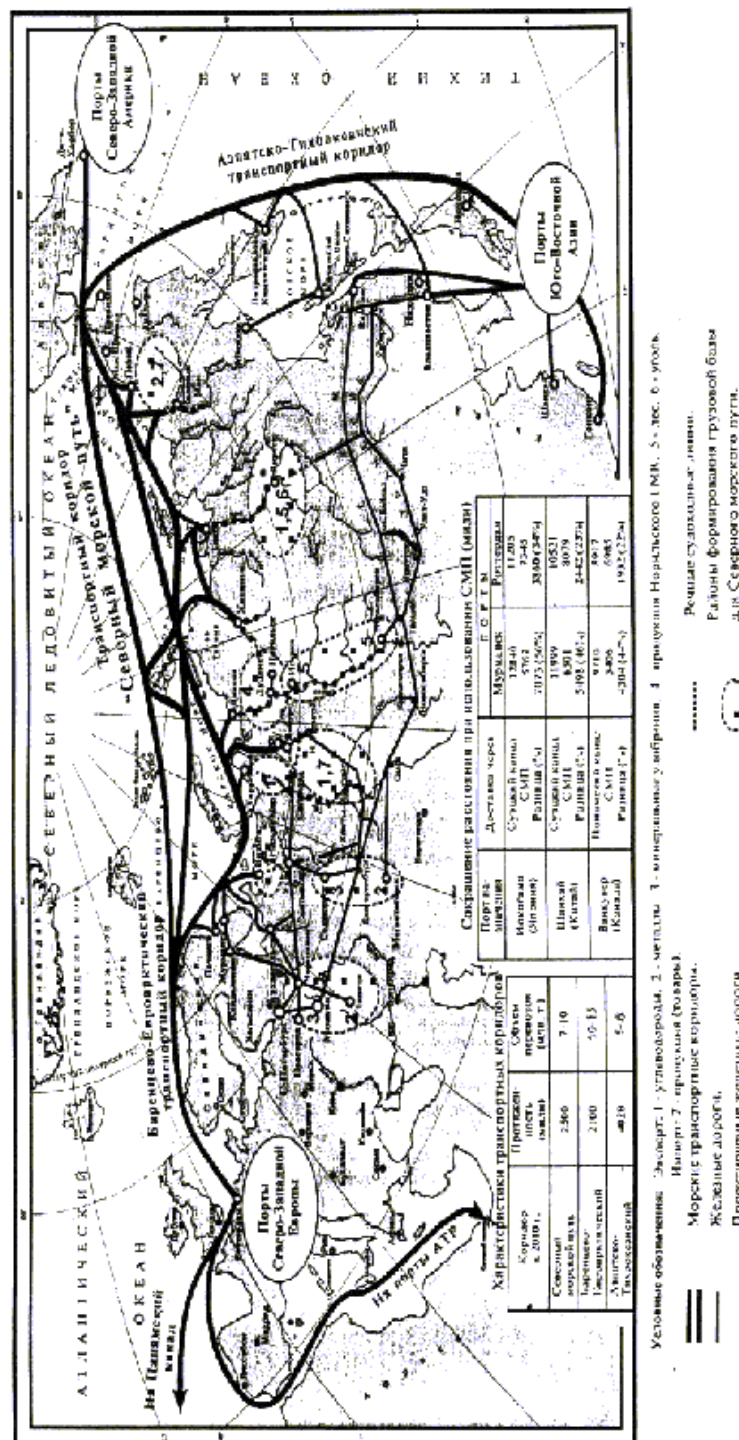


Рис. 1. Российский транспортный коридор "Северный морской путь" в системе международных транспортных коридоров Запад-Восток-Запад

Предполагается, что строительство указанных в таблице транспортных судов ледового класса будет осуществляться за счет средств производственно-транспортных АО. В частности, нефтяная компания “Лукойл” к 2002 г. вводит в эксплуатацию 10 танкеров дедвейтом до 20 тыс.т. Она же в период до 2005 г. планирует строительство еще 5 танкеров дедвейтом 80 тыс.т. РАО “Газпром” намерено к 2005 г. построить 2 танкера дедвейтом 90 тыс.т; в перспективе – еще 18 танкеров дедвейтом 60 тыс. т. АО “Совкомфлот” планирует строить танкеры ледового класса дедвейтом 100 тыс. т, а РАО “Норильский никель” обосновывает необходимость строительства собственных навалочников (контейнеровозов) [5].

Участие иностранных танкеров в экспорте нефти и газа с месторождений Баренцева и Карского морей возможно на условиях Соглашений о разделе продукции (вывоз не более 30% продукции иностранными танкерами). В 1991–1999 гг. для завоза нефтепродуктов в арктические районы уже использовалось до 12 иностранных (финские, немецкие, латвийские) танкеров (в 2000 г. такая необходимость отпала – северный завоз нефтепродуктов полностью осуществлен вновь построенными танкерами нефтяного концерна “Лукойл”). В апреле–мае 1998 г. по Международному проекту ARCDEV финский танкер “Uikku” участвовал в экспериментальном рейсе по экспорту газового конденсата из Обской губы. Успешное завершение рейса под проводкой российских атомного и дизельного ледоколов в самой тяжелой ледовой обстановке в зимне-весенний период еще раз подтвердило возможность круглогодичного морского экспорта углеводородов из Карского моря по линейному графику.

Предполагается, что строительство указанных в таблице транспортных судов ледового класса будет осуществляться за счет средств производственно-транспортных АО. В частности, нефтяная компания “Лукойл” к 2002 г. вводит в эксплуатацию 10 танкеров дедвейтом до 20 тыс.т. Она же в период до 2005 г. планирует строительство еще 5 танкеров дедвейтом 80 тыс.т. РАО “Газпром” намерено к 2005 г. построить 2 танкера дедвейтом 90 тыс.т; в перспективе – еще 18 танкеров дедвейтом 60 тыс.т АО “Совкомфлот” планирует строить танкеры ледового класса дедвейтом 100 тыс.т, а РАО “Норильский никель” обосновывает необходимость строительства собственных навалочников (контейнеровозов) [5].

Участие иностранных танкеров в экспорте нефти и газа с месторождений Баренцева и Карского морей возможно на условиях Соглашений о разделе продукции (вывоз не более 30% продукции иностранными танкерами). В 1991–1999 гг. для завоза нефтепродуктов в арктические районы уже использовалось до 12 иностранных (финские, немецкие, латвийские) танкеров (в 2000 г. такая необходимость отпала – северный завоз нефтепродуктов полностью осуществлен вновь построенными танкерами нефтяного концерна “Лукойл”). В апреле–мае 1998 г. по Международному проекту ARCDEV финский танкер “Uikku” участвовал в экспериментальном рейсе по экспорту газового конденсата из Обской губы. Успешное завершение рейса под проводкой российских атомного и дизельного ледоколов в самой тяжелой ледовой обстановке в зимне-весенний период еще раз подтвердило возможность кругло-

годового морского экспорта углеводородов из Карского моря по линейному графику.

Реально также участие иностранных транспортных судов ледового класса в транзитных перевозках по СМП. Пока с момента открытия СМП для международного судоходства (с 1 июля 1991 г.) транзитом по нему в летнюю навигацию 1991 г. проведено только одно иностранное судно – французский полярный снабженец “Астролябия”.

В транспортно-технологических схемах организации региональных и транзитных перевозок по СМП за счет собственных средств коммерческих предприятий (а также средств Морских администраций портов) планируется строительство новых портов-терминалов Харасавэй, Печенга и Индига; новых отгрузочных терминалов Варандей, Приразломное и Яся; контейнерных терминалов в портах Тикси, Провидения (Эгвекино) и Петропавловск. Кроме того, Эгвекино рассматривается в качестве базового регионального (приемного) порта Чукотки с организацией в перспективе круглогодичной навигации на линии Владивосток (Находка, Восточный, Ванино) – Эгвекино.

На основе многолетнего опыта арктического судоходства и изучения перспектив развития грузопотоков по трассам СМП разработана Концепция пополнения ледокольного флота. Для обеспечения круглогодичной проводки перспективных крупнотоннажных танкеров и газовозов, а также надежного обслуживания круглогодичных линейных транзитных перевозок по транспортному коридору “Северный морской путь” необходимо строительство атомного ледокола-лидера мощностью 110 МВт (после 2017 г.), 4 универсальных атомных двухосадочных ледоколов мощностью 60 МВт (к 2014 г.), 5 дизельных линейных ледоколов мощностью 25 МВт (к 2015 г.) и 3 портовых ледоколов мощностью 4 - 7 МВт (к 2015 г.). При ограниченных возможностях федерального бюджета основным источником финансирования их постройки, по мере появления на СМП постоянных и крупных грузопотоков объемом более 3-4 млн.т в год, могут стать привлеченные инвестиции, в том числе и иностранные [5].

Динамика поступления нового поколения ледоколов и транспортных судов арктического плавания на период до 2010 г. будет определяться продленной Программой возрождения торгового флота России на 2002–2010 гг. а в долгосрочной перспективе – Программой комплексного развития СМП, разработка которой (головной разработчик – ЦНИИМФ) будет завершена в 2002 г. С учетом перспектив ввода в эксплуатацию нового поколения ледоколов и транспортных судов арктического плавания через 10–15 лет СМП может стать реальной альтернативой существующим морским транзитным маршрутам через Суэцкий и Панамский каналы.

В качестве возможной круглогодичной транзитной транспортной альтернативы в Арктике рассматривается и подводная система. В настоящее время разработан ряд концептуальных предположений по подводным атомным транспортным судам для использования в Арктике – танкерам, газовозам, универсальным сухогрузам, рудовозам, контейнеровозам. При круглосуточной перевозке по жесткому графику они будут иметь экономические преимущества по сравнению с надводными судами. Однако практическое воплощение данной идеи сдерживается рядом обстоятельств, в том числе высокой стоимостью постройки подводных атомоходов, в 2–5 раз превышающей таковую у надводных судов;

сложностью базирования и эксплуатации атомных судов, связанной, прежде всего, с мелководьем на фарватерах, ведущих к арктическим отгрузочным терминалам; экологическими соображениями.

Россия, будучи заинтересованной в развитии СМП как международного арктического транспортного коридора, проявляет особую заботу о соблюдении высоких стандартов безопасности мореплавания и обеспечении тем самым сохранности окружающей среды. Безопасность мореплавания по СМП должна совершенствоваться путем перевода на автоматический режим работы средств навигационного оборудования, ввода в эксплуатацию 12 береговых дифференциальных станций глобальной СНС ГЛОНАСС/GPS, использования спутниковых систем освещения ледовой и гидрометеорологической обстановки, создания 38 автоматических гидрометеостанций, использования международных и отечественных систем морской спутниковой связи, создания в порту Архангельск пункта системы КОСПАСС-САРСАТ, восстановления аварийно-спасательных и ремонтных партий на буксирах-спасателях ледового класса в портах Диксон и Певек.

Совершенствование управления СМП в части, касающейся международного судоходства, направляется на повышение конкурентоспособности этой трассы по сравнению с другими вариантами перевозок экспортно-импортных и транзитных грузов. Установлено, что конкурентоспособность арктической морской транспортной системы (АМТС) зависит от объемов перевозок, фрахтовых ставок, ставок потонного (ледокольного) сбора и становится рентабельной при грузопотоке от 6 до 10 млн. т/год и ставке потонного сбора 5–7 дол. С целью повышения конкурентоспособности АМТС ЦНИИМФом подготовлен и проходит в настоящее время необходимые согласования проект “Положения по оплате услуг при плавании по трассам Северного морского пути”. Предлагается замена системы потонного сбора оплатой за оказанные услуги при общем снижении тарифов на перевозки по СМП экспортно-импортных и транзитных грузов.

В последнее время отмечается возросшее внимание к проблемам Арктики и, в частности СМП на государственном уровне. В августе 1999 г. Правительством РФ поставлена задача разработать проект Программы комплексного развития СМП и его использования на коммерческой основе. Предварительно разработанный проект Концепции комплексного развития СМП (головной разработчик – ЦНИИМФ) в принципе был одобрен Координационным советом Ассоциации “Северо-Запад” 20 октября 2000 г. в Мурманске. В его работе приняли участие представители федеральных и региональных органов исполнительной власти, морских пароходств, государственных, коммерческих и научных организаций. На начало 2001 г. Концепция проходила согласование на правительственном уровне.

Главной задачей Программы комплексного развития СМП будет укрепление материально-технического обеспечения этой трассы как самостоятельного Евроазиатского транспортного коридора, способного предоставить полный перечень транспортных услуг для международного судоходства. Для ее решения доходы, поступающие от оплаты за услуги, предоставляемые при плавании по транспортному коридору “Северный морской путь”, будут направляться на развитие его инфраструктуры.

С целью объединения усилий федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти арктических субъектов РФ, национальных и иностранных юридических лиц в обеспечении устойчивого и безопасного функ-

- направить грузоотправителям и судовладельцам стран Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона приглашения о принятии участия в навигацию 2001 г. в экспериментальных коммерческих транзитных рейсах российских и иностранных транспортных судов ледового класса на экономически выгодных условиях;
- информировать заинтересованные деловые круги Запада и Востока о том, что наблюдаемый подъем экономической активности России открывает перспективы взаимовыгодных иностранных инвестиций в строительство транспортных судов ледового класса и развитие арктических портовых транспортно-технологических комплексов на СМП, в том числе на условиях Соглашения о разделе продукции;
- развивать научное сотрудничество ученых разных стран в международных исследовательских программах, касающихся использования в Арктике надводных и подводных транспортных систем и технологических схем;
- развивать разработки оптимальных вариантов взаимодействия (по сезонам года) морского транспорта на СМП и железнодорожного транспорта на Транссибе и БАМе в целях обеспечения круглогодичных транзитных перевозок грузов из Европы в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (и в обратном направлении) с перевалкой контейнерных и других грузов в портах Баренцева (Мурманск, Печенга, Индига) и Белого (Архангельск) морей;
- поддержать целесообразность создания международного банка реконструкции и развития Арктики и СМП в рамках Северного форума (предложение Республики Саха (Якутия));
- развивать международное сотрудничество в решении экономических и юридических проблем транспортного коридора “Северный морской путь” в рамках Арктического совета, а также Совета Баренцева моря и его рабочей группы по СМП, Арктической инициативы, Стратегии защиты окружающей среды Арктики, Северного измерения, Северного форума;
- информировать заинтересованных зарубежных грузо- и судовладельцев о проводимых в России мероприятиях по укреплению материально-технической базы транспортного коридора “Северный морской путь” с целью предоставления полного перечня транспортных услуг для международного судоходства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пересыпкин В. И., Яковлев А. Н. Северный морской путь//Навигация и гидрография. 1998 №6. С. 7-12.
2. Peresyypkin V. I. The Northern Sea Route Acknowledged as an Independent Euro-Asiatic Transport Corridor//The INSROP Newsletter, Issue no. 2, Vol. 6. -Lysaker, Norway: INSROP Secretariate, 1998. P. 1-2.
3. Россия распахивает окно в Европу и Азию//Морской флот. – 2000. №11-12. С. 3-8.
4. Ramsland T. R. The Potential for Transit Traffic on the Northern Sea Route//INSROP Working Paper 145, - 1999. – Lisaker, Norway: INSROP Secretariate, 1999. 202 pp.
5. Пересыпкин В. И., Цой Л. Г. Арктические ледоколы России, состояние и перспективы развития. ICETECH 2000 Proceedings, St.Petersburg, 12–14 сентября 2000 г., с. 141–146.
6. Иванов Ю. М., Исаков Н. А., Яковлев А. Н. Перспективы развития Северного морского пути как международного арктического транспортного коридора//Сборник научных трудов “Проблемы развития морского флота”. СПб: ЦНИИМФ, 1999. С. 120–124.

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БАНКА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 2001–2010 гг.**

**А.Б. ОПАРИН**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье рассмотрены вопросы формирования и развития банка океанографических и геофизических данных ВМФ на основе первичных материалов, сконцентрированных в фонде Гидрографической Службы ВМФ*

Эффективное использование современных средств и методов вооруженной борьбы на море требует точной и всесторонней информации о состоянии физических полей океана. Для проведения исследований в области использования результатов океанографического изучения Мирового океана в интересах ВМФ в 1972 г. был создан Научно-исследовательский океанографический центр (НИЦ) Министерства обороны [1]<sup>1</sup>. В настоящее время банк океанографических данных (БОД) этого центра (с 1988 г. НИЦ ГНИНГИ МО РФ), является компонентом общегосударственной системы сбора, хранения, обработки и научного анализа океанографической информации и содержит:

- сведения о 21 тыс. отечественных и зарубежных экспедициях, выполненных в Мировом океане;
- более 12 тыс. отчетов архивного хранения, которые в соответствии с Положением об архивном фонде РФ (Указ Президента РФ от 17.03.1994 г. № 552) являются частью Архивного Фонда РФ;
- данные более 1.6 млн. гидрологических станций, около 60 тыс. наблюдений за течениями, более 19 млн. судовых метеорологических наблюдений, свыше 12 млн. аэрологических зондирований. Кроме того, в архивном фонде НИЦ сконцентрированы первичные материалы океанографических и сейсмических исследований ГС ВМФ в Северном Ледовитом океане с дрейфующего льда более чем за 30-летний период. Однако на начало текущего года на технические носители занесено только около 30% имеющейся в наших фондах первичной информации, поэтому задача по полному ее переносу является первоочередной.

В настоящее время научно-практическая деятельность Центра в оборонной сфере осуществляется по четырем, ставшим уже традиционными, направлениям:

- формирование и ведение банка океанографических и геофизических данных Министерства обороны в целях повышения эффективности использования результатов океанографических исследований в интересах обороны страны;

---

<sup>1</sup> По этому вопросу см. также материалы журнала "Навигация и гидрография" 1998, №7 (С.Б. Балясников, С.И. Матрюков. Состояние и проблемы развития БД океанографических данных МО РФ); 2000, № 11 (С.И. Матрюков, В. Ю. Тугарев. Технология контроля качества данных батитермографных наблюдений НИЦ ГНИНГИ МО РФ; В.Г. Лямзина и др. Принципы контроля качества гидролого-гидрохимических данных ГНИНГИ МО РФ). Прим. ред.

- разработка методов обобщения и использования океанографической и геофизической информации для обеспечения действий сил, применения оружия и использования технических средств;
- анализ океанографической и геофизической изученности Мирового океана и разработка предложений по проведению этих исследований в интересах ВМФ;
- обеспечение штабов, частей и учреждений Министерства обороны по их запросам океанографической и геофизической информацией, содержащейся в банке данных.

В 90-е годы резкое снижение целевых экспедиционных исследований привело к сокращению объемов поступлений в БОД океанографических отчетов от мореведческих организаций страны с 200 - 250 до 2 - 5 отчетов в год [1]. В то же время известно, что во многих организациях накоплены значительные объемы первичных материалов экспедиционных исследований, до сих пор не систематизированных и не занесенных на современные технические носители. Этот факт специально подчеркивался в концепции федеральной целевой программы (ФЦП) "Мировой океан", подготовленной во второй половине 90-х годов: "в настоящее время информация по проблемам Мирового океана, являющаяся основой решения научно-технических, экономических, политических и военных задач, разбросана по различным ведомствам, результаты решения этих задач совместно не анализируются, взаимный обмен данными на регулярной основе не осуществляется" [2].

Именно поэтому на правительственном уровне и был поднят вопрос о создании в рамках ФЦП "Мировой океан" единой общегосударственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО). Она должна базироваться на существующей системе сбора океанографических данных в различных ведомствах, в том числе и в Министерстве обороны (Главное управление навигации и океанографии МО РФ – ГУНиО МО РФ). Основные целевые задачи данной системы [3] ориентированы на удовлетворение запросов уже самого широкого круга потребителей, а не только МО РФ:

- сбор, обработка, накопление и распространение данных и информации о Мировом океане;
- долговременное гарантированное хранение информации и создание специализированных баз данных;
- производство информационной продукции и обеспечение ею заинтересованных потребителей;
- информационное сопровождение программ и проектов исследования и практического использования океанов и морей (в том числе и в интересах обороны страны).

Основные элементы инфраструктуры системы должны включать [3]:

- информационные ресурсы о природной среде Мирового океана и прибрежных территорий;
- информационные технологии управления данными и информацией;
- организационные структуры, поддерживающие функционирование и развитие системы, состоящей из специализированных Центров различной ведомственной принадлежности.

Научно-исследовательский океанографический центр ГНИНГИ входит в военный контур ЕСИМО как специализированная подсистема, обеспечивающая информационное взаимодействие существующих систем гидрометеорологического и навигационно-гидрографического обеспечения Министерства обороны. Военный контур ЕСИМО планируется базировать на выделенных для информационного взаимодействия в составе ВМФ центрах сбора, обработки, хранения, защиты и распространения навигационно-гидрографической, геофизической, гидрометеорологической и гидроакустической информации на различные районы Мирового океана.

Особое место в Мировом океане принадлежит Северному Ледовитому океану и центральной его части – Арктическому бассейну.

Несмотря на относительно малые размеры по сравнению с другими океанами, Северный Ледовитый вплоть до середины XX столетия, оставался наименее изученным, особенно его центральная часть, круглый год покрытая дрейфующими льдами. Вместе с тем, интересы национальной обороны потребовали от России ускоренного его исследования с целью создания навигационных морских карт, обеспечивающих безопасность плавания подо льдом подводных лодок. В связи с этим с 1961 г. ВМФ (ГУНиО МО РФ), параллельно с Росгидрометом и РАН, а также заинтересованными ведомствами, стал проводить собственные комплексные океанографические исследования с дрейфующего льда. Проведенные многолетние крупномасштабные работы в 90-х годах вывели Россию на качественно новый уровень физико-географического и геологического познания Северного Ледовитого океана, обеспечили получение комплекта навигационных карт, создание специальных пособий и руководств для плавания, привели к ряду крупных географических открытий [4].

В ходе систематических площадных исследований, в частности, были получены уникальные по своему содержанию и объему первичные материалы на акваторию Арктического бассейна, включающие результаты:

- съемки рельефа дна;
- морской гравиметрической съемки;
- морской магнитной съемки;
- сейсмических наблюдений;
- океанографических наблюдений (характеристика ледяного покрова, температура и соленость морской воды, параметры течений и др.);
- метеорологические наблюдения.

В результате этих исследований ВМФ (ГУНиО, ГНИНГИ) сосредоточил в своих руках первичные сейсмические материалы на акваторию Арктического бассейна, которые составляют около 75-80% всех отечественных материалов сейсмических исследований данной акватории.

Как уже было отмечено выше, на протяжении ряда десятилетий в исследовании Арктического бассейна активное участие принимали РАН, Росгидромет, Министерство природных ресурсов РФ, и другие министерства и ведомства. Накопленные в результате этой деятельности в различных организациях уникальные научные материалы несомненно должны быть использованы в комплексе с материалами ВМФ при создании государственно-



го распределенного межведомственного банка данных (МБД) о среде этого региона, информационный массив которого с успехом может использоваться в интересах как обороны страны, так и ее народного хозяйства.

Учитывая, что значительный объем первичного материала (МБД) пока носит закрытый характер и представляет большой интерес, прежде всего, для обеспечения обороноспособности страны, центр сбора, обработки и хранения информации по Арктическому бассейну целесообразно сосредоточить в НИЦ ГНИНГИ, в фондах которого собраны основные океанографические и сейсмические материалы комплексных исследований Арктики, проведенных ВМФ.

Имеющийся к настоящему времени научный потенциал НИЦ ГНИНГИ, как представляется, позволит успешно выполнить все необходимые работы по созданию общегосударственного МБД о среде Арктического бассейна с учетом интересов различных министерств и ведомств.

Для обеспечения успешной реализации проекта создания такого банка данных уже начато выполнение следующих работ:

- разработка концептуальной и логической модели построения Банка данных о физических полях в Арктическом бассейне с учетом интересов регионов России и владельцев первичной информации;
- анализ современной океанографической, метеорологической, гидрографической, геофизической изученности Арктического бассейна, оценка качества исходных данных, имеющихся в РАН, МО РФ, Министерстве природных ресурсов и других министерствах и ведомствах;
- систематизация и анализ исходных данных, пригодных для дальнейшей обработки и создания баз данных на Арктический бассейн;
- создание унифицированных автоматизированных рабочих мест для обработки исходных данных и разработка соответствующего программно-технического обеспечения, а также нормативно-технической документации;
- оцифровка аналоговых записей первичной информации о физических полях океана и атмосферы;
- разработка общей архитектуры и индивидуальных конструкций баз данных среды;
- разработка системы защиты информации;
- разработка структуры и технологии функционирования МБД о среде Арктического бассейна.

Реализацию основных Положений по созданию МБД целесообразно осуществить в рамках ассигнований по ФЦП "Мировой океан" в период 2001 - 2005 гг. в объеме 35 млн. руб. (2001 г. – 15 млн. руб., 2002 г. – 5 млн., 2003 г. – 5 млн., 2004 г. – 5 млн., и 2005 г. – 5 млн. руб.).

Создание общегосударственного МБД на Арктический бассейн позволит:

- повысить эффективность информационного обеспечения и сопровождения принятия решений по военной, хозяйственной и научной деятельности в Арктическом бассейне, включая учет соответствующих аспектов национальной безопасности России;
- сформировать единое информационное пространство на Арктический бассейн;

- оценить минерально-сырьевой потенциал Арктического бассейна;
- сократить ущерб хозяйству страны, наносимый стихийными природными явлениями;
- создать предпосылки к улучшению экологической обстановки в Арктике;
- подготовить для ООН материалы и данные, которые лягут в основу межгосударственного разграничения и международно-правового регулирования отношений между мировым сообществом и приарктическими государствами;
- разработать систему акустического контроля обоснования в акватории центральной Арктики;
- обосновать трассировку экономически целесообразных транспортных магистралей (в том числе, и международных), с использованием надводных и подводных судов.

Настоятельная необходимость создания отечественного общегосударственного МБД о среде Северного Ледовитого океана обусловлена также необходимостью защиты национальных интересов, т. к. зарубежные потребители в настоящее время стремятся всеми путями обеспечить себе доступ к первичным данным, а не к результатам их интеллектуальной обработки. Этот вопрос, в частности, рассматривался на международном совещании, проведенном ВНИИ Океангеология в г. Санкт-Петербурге 5–9 июня 2000 г., где обсуждалась:

- положение внешней границы континентального шельфа в Северном Ледовитом океане;
- "Арктический гравиметрический проект";
- создание карты осадочного чехла Северного Ледовитого океана.

Проведенное совещание показало, что все научные арктические проекты зарубежными специалистами тесно увязаны между собой и целью этих проектов является концентрация и систематизация первичных сейсмических материалов на Северный Ледовитый океан.

В настоящее время ГНИНГИ совместно с другими организациями ГУ-НиО и Министерства Природных Ресурсов РФ (ВНИИ Океангеология, ГНПП "Севморгеология") подготовлен ряд материалов по национальной "Программе работ по подготовке географических координат точек, определяющих линии внешних границ континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане...":

- составлена схема сейсмической изученности Арктического бассейна по материалам экспедиций "Север" (1962 – 1966 гг., 1968 – 1971 гг., 1975 г.);
- сформирован каталог осциллографических и магнитных записей сейсмических работ по центральным и выносным базам (и частично площадным наблюдениям) для построения сейсмических профилей, соответствующих выбранным батиметрическим профилям;
- проанализированы данные геодезического обеспечения результатов комплексных геофизических съемок (гравика, сеймика, батиметрия) для последующей обработки;

- закончена оцифровка первичных сейсмических данных и обработка экспериментальных сейсмических профилей определения внешней границы континентального шельфа.

Полученные материалы положены в основу формирования информационных баз данных на Арктический бассейн.

Во всей этой работе важное место в деятельности НИЦ занимает формирование и укрепление связей с океанографическими и геофизическими центрами других государств. В рамках выполнения соответствующих функций, закрепленных действующим положением о НИЦ, наш Центр:

- по линии Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО осуществляет подготовку и передачу материалов гидрологических исследований, выполненных гидрографической службой ВМФ, в Мировой центр данных "Б" для международного обмена;

- участвует в осуществлении межправительственного проекта международного океанографического Комитета "Археология и спасение глобальных океанографических данных" (ГОДАР);

- представляет национальные интересы РФ в рабочей группе по приливам в Международной гидрографической организации.

В связи с изложенным основными перспективными направлениями развития банка данных НИЦ о природной среде Мирового океана на период 2001 – 2010 гг., наряду с традиционными, упомянутыми в начале этой статьи, могут быть названы:

- комплексный детализированный анализ информационных фондов о природной среде Мирового океана, имеющихся в подразделениях Гидрографической службы ВС РФ, мореведческих организациях России и за рубежом;

- разработка и внедрение современных методов и средств сбора, накопления, анализа, обработки и распространения океанографической и геофизической информации о полях Мирового океана; формирование, поддержание и развитие соответствующих распределенных баз данных;

- участие в выполнении ФЦП "Мировой океан" по созданию ЕСИМО;

- создание в системе ВМФ общегосударственного МБД о среде Арктического бассейна как элемента ЕСИМО;

- формирование и ведение банка данных о природной среде Мирового океана не только в интересах обороны, но и для нужд народного хозяйства страны;

- укрепление и расширение связей с зарубежными океанографическими и геофизическими центрами с целью дальнейшего развития международного обмена информацией для наращивания имеющейся отечественной базы данных;

- участие в международных программах, направленных на сохранения океанографических и геофизических данных о полях Мирового океана.

Реализация перечисленных, в известной мере еще новых для нас направлений, позволит значительно расширить потенциальные возможности

информационных ресурсов ВМФ, будет способствовать повышению обороноспособности страны и укреплению ее суверенитета в Арктическом регионе, а также существенно повысит обоснованность соответствующих управленческих решений различного уровня.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Балясников С. Б., Матрюков С. И. Состояние и перспективы развития банка океанографических данных Министерства обороны РФ. 3-я Российская научно-техническая конференция "Современное состояние проблемы навигации и океанографии". Материалы конференции, 20-23 мая 1998 г. С. 145-146.
2. Концепция Федеральной целевой программы "Мировой океан". Москва, 17.01.1997 г. №11, Указ Президента Российской Федерации "О федеральной целевой программе "Мировой океан". 30 с.
3. Единая система информации об обстановке в Мировом океане. ФЦП "Мировой океан", Москва, 1999 г., 10 с.
4. Российские сейсмические исследования с дрейфующих льдов Северного Ледовитого океана. ГУНИО МО РФ. С-Петербург. 1997 г. 31 с.

ГРНТИ 78.21.41.19.99

**О НЕОБХОДИМОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ПУТЕЙ ДВИЖЕНИЯ В  
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА**

**В.А. АВДОНЮШКИН,  
А.М. ЧЕРНЕНКО**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье рассмотрены проблемы обеспечения навигационной безопасности в восточной части Финского залива, возникшие с развитием торгового мореплавания. Предлагаются принципы реконструкции системы путей движения в рассматриваемом районе.*

**1. Общий анализ структуры путей движения**

Предпосылки к реконструкции системы путей движения могут быть различными, и не только навигационными. Но в настоящее время существующая в восточной части Финского залива система путей движения судов постепенно утрачивает свои положительные навигационные характеристики. Это предопределяется как внешними, не зависящими от системы путей движения факторами, так и ее основными свойствами. Ниже приведен самый общий анализ свойств системы, предполагающих необходимость ее реконструкции.

Известно (см. ИМО А.572(14), адм. нр. 9036, 9036.1) что "целью установления путей движения судов является повышение безопасности плавания в районах где сходятся потоки движения судов и в районах с большой интенсивностью движения судов или в районах где, свобода движения судов затруднена ограниченным морским пространством, наличием препятствий, ограниченными глубинами или неблагоприятными метеорологическими условиями".

В восточной части Финского залива присутствуют все причины навигационной аварийности, перечисленные в приведенной цитате. Рассмотрим их последовательно, начиная с навигационной обстановки на акватории большого порта Санкт-Петербург, которая объективно предполагает высокий риск навигационных аварий, **связанный с чрезмерной плотностью судопотока на акватории порта.**

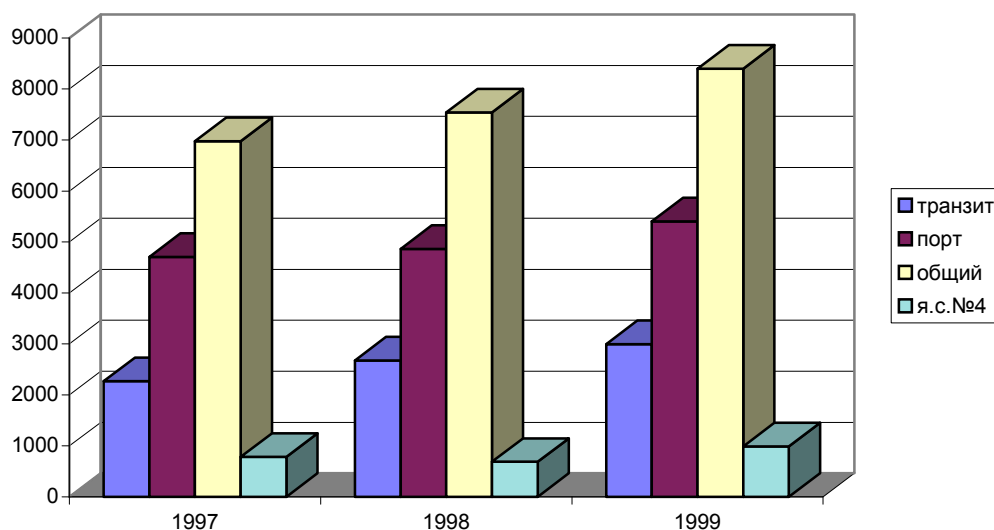


Рис. 1. Структура судопотока приемного буя порта Санкт-Петербург

На рис. 1 представлены результаты анализа записей о движении судов по акватории порта в летние навигации 1997 и 1999 года (данные для анализа были любезно предоставлены Морской Администрацией Порты). На нем представлено число судопроходов по трем основным направлениям:

- суда, обрабатывавшиеся у причалов порта (поток порта);
- суда, следовавшие дальше вверх по Неве и вышедшие из Невы в Финский залив (танзит);
- суда, заходившие на якорную стоянку №4.

Суда, входящие в порт и выходящие из него, должны быть подвергнуты различным процедурам контроля – таможенного, санитарного, пограничного и т.д. Не всегда это возможно сделать у причала, то есть судно должно встать на якорь на подходах к порту (якорная стоянка №4) и после соответствующих проверок зайти в порт, заняв свою “полосу движения” на Морском канале. Возможно и другое направление движения с якорной стоянки на запад, но и в этом случае судно должно следовать по узкой полосе установленной системы путей движения. Входя в систему путей движения или в Морской канал, судно практически всегда оказывается в состоянии маневрирования на пересекающихся курсах с судами, уже идущими своим путем. Сама по себе ситуа-

ция маневрирования на пересекающихся курсах не может повлечь навигационную аварию, так как права и обязанности судов регламентированы Международными Правилами Предупреждения Столкновений Судов (МППСС-72), если только судам хватает времени и места для выполнения безопасного маневра. Примем, как рекомендовано в [1], что между судами должно быть не менее дистанции полной остановки, равной 5 длинам корпуса. Длину корпуса примем для наибольшего судна заходящего в порт 200 м, а средние скорости ( $V_{cp}$ ) их движения 12 узлам ( $6,1733... м/сек=370,4 м/мин$ ) в соответствии с Постановлением капитана порта [2]. Ситуацию, когда к точке пересечения путей подходят два судна и обоим до точки пересечения курса останется пройти 1000 м можно считать предаварийной. Оценим вероятность такой ситуации, воспользовавшись теорией случайных процессов, предположив, что моменты подхода судов к точке пересечения курсов можно описать законом Пуассона [3, 4]. Конечно, такая модель очень груба, но обоснование и применение более точной модели не может быть помещено в одну статью и является предметом отдельного, достаточно серьезного исследования.

На рис. 2 приведена схема участка пути движения судов. Так как для нас неважно, как будут маневрировать суда, а необходимо лишь оценить частоту появления предаварийной ситуации, суда движутся по нему в одну сторону.

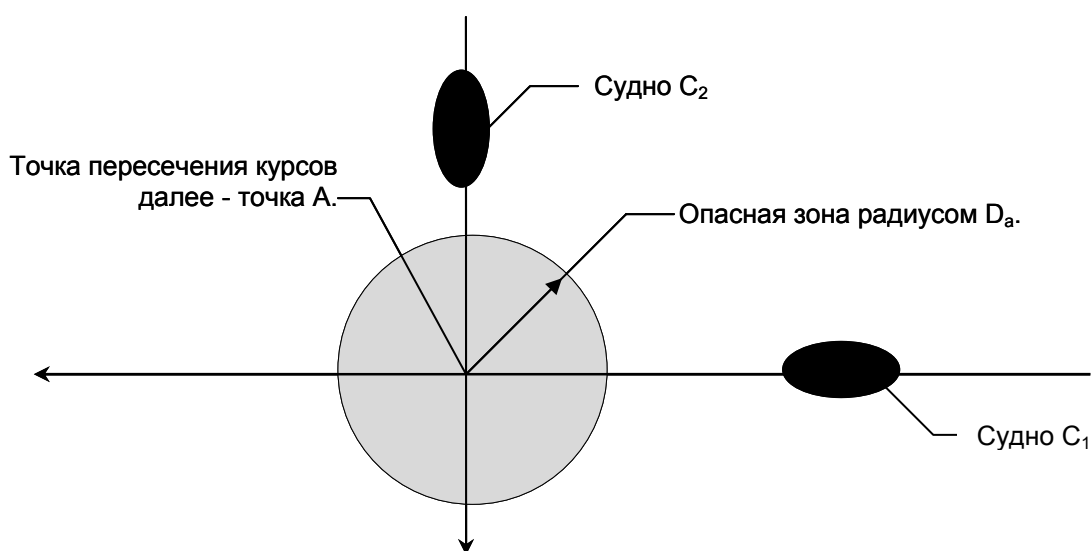


Рис. 2. Схема участка пути движения судов

Ситуацию в месте пересечения путей можно описать марковской системой с непрерывным временем, имеющей следующие состояния:

- $S_0$  - ни одно из судов не пересекает опасную зону;
- $S_1$  - судно, следующее установленному пути движения, пересекает опасную зону;
- $S_2$  - судно, входящее в установленный путь движения, пересекает опасную зону;
- $S_3$  - два судна пересекают опасную зону;

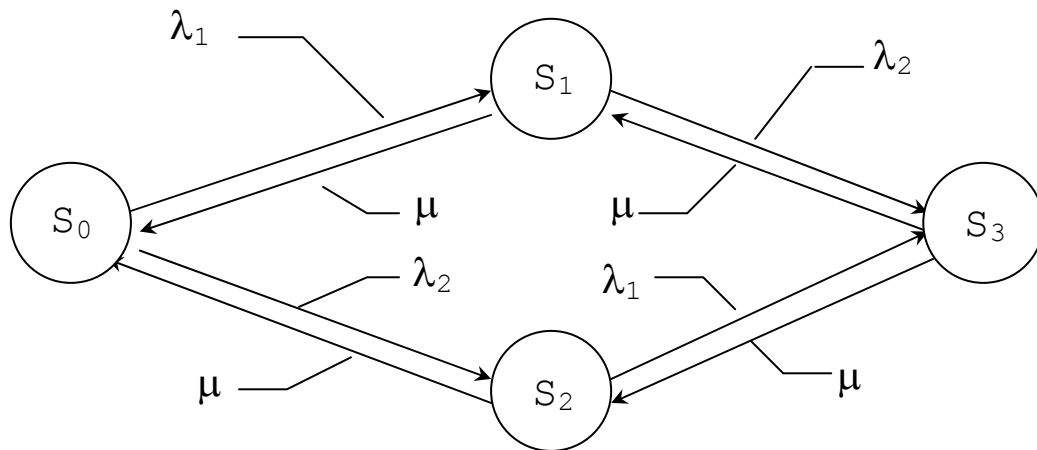


Рис. 3. Граф состояний марковской системы для оценки вероятности предаварийных ситуаций у приемного буя порта Санкт-Петербург

На рис. 3:

$\mu$  - интенсивность потока событий состоящих в прохождении судами опасного участка  $m = V_{cp}/1000=0,3704 \text{ мин}^{-1}$ ;

$\lambda_1$  - интенсивность потока событий состоящих в приближении к точке пересечения судов  $S_1$ , следующих по установленному пути движения  $\lambda_1 = (N_{суд}-N_{яс})/T$  ( $\lambda_1$  равно числу судов, пошедших мимо приемного буя без остановки на якорных стоянках, отнесенному к длительности рассматриваемого периода);

$\lambda_2$  - интенсивность потока событий, состоящих в приближении к месту пересечения судов  $S_2$ , входящих в путь движения  $\lambda_2=N_{яс}/T$ ;

Из графа состояний системы [3, 4] видно, что для нее можно вычислить финитные вероятности, решив систему уравнений:

$$\begin{aligned} -(\lambda_1+\lambda_2) \times P_0 + \mu \times P_1 + \mu \times P_2 &= 0 \\ \lambda_1 \times P_0 - (\lambda_2 + \mu) \times P_1 + \mu \times P_3 &= 0 \\ \lambda_2 \times P_0 - (\lambda_1 + \mu) \times P_2 + \mu \times P_3 &= 0 \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 &= 1 \end{aligned} \quad (1)$$

Получаемые в результате решения уравнения (1) вероятности имеют смысл относительного времени, т.е. показывают, какую долю из всего рассматриваемого периода система будет находиться в соответствующем состоянии. Тогда математическое ожидание числа предаварийных ситуаций можно определить, умножив вероятность  $P_3$  на время рассматриваемого периода  $T$  и поделив на время прохождения судном опасного участка,  $t_{оп}$ :

$$N_{ав} = P_3 \times T / t_{оп} = P_3 \times T \times \mu \quad (2)$$

Для вычислений по формулам 1, 2 осталось выяснить количество судов, стоящих на якоре. Записи о передвижениях судов по акватории порта позволяют проанализировать и эту величину. На рис. 1 она соответствует самым низким столбикам.

На рис. 4 приведено математическое ожидание предаварийных ситуаций, рассчитанное по формулам 1, 2 для реальной судоходной обстановки на акватории порта. Для того чтобы можно было сопоставить изменения плотности судопотока и возможность возникновения предаварийной ситуации, на диаграмму на рис. 5 вынесены относительные приросты числа судов, прошедших через приемный буй за летнюю навигацию, и относительный прирост математического ожидания предаварийных ситуаций.

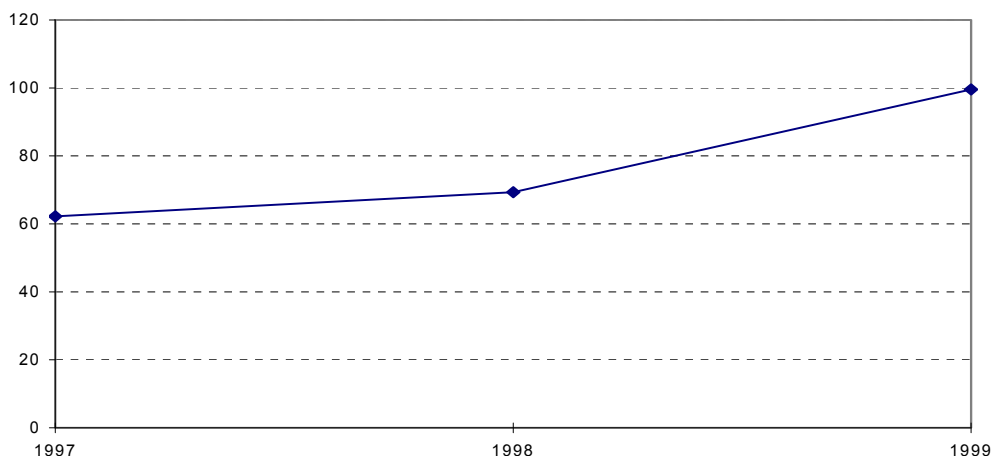


Рис. 4. Математическое ожидание числа предаварийных ситуаций у приемного буя порта Санкт-Петербург

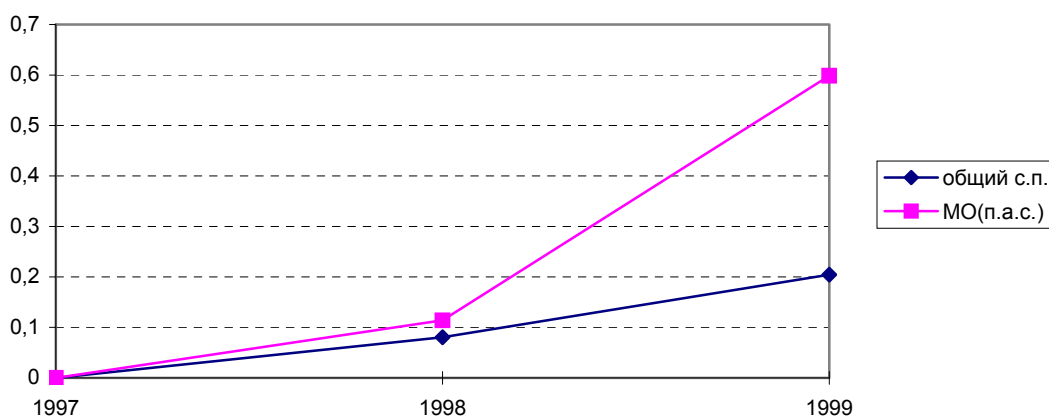
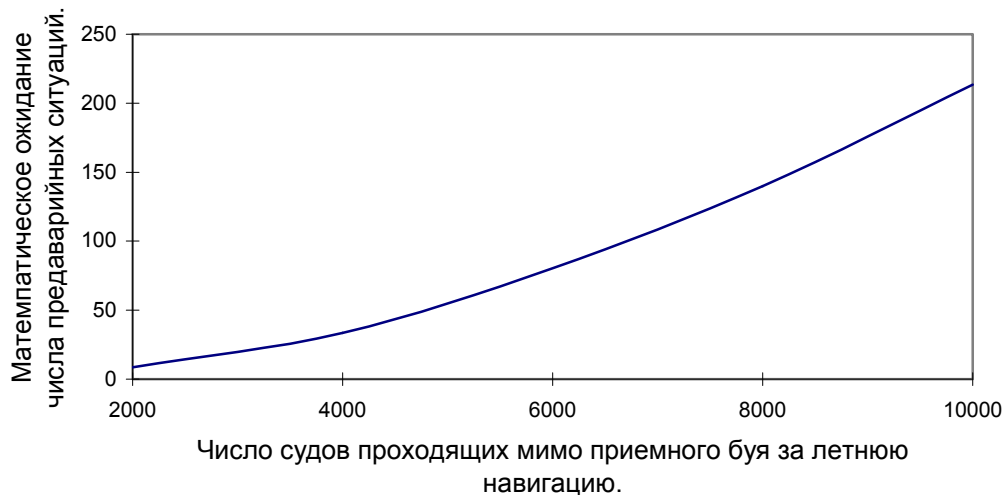


Рис 5. Относительные приросты числа судопроходов и предаварийных ситуаций

Сопоставив эти диаграммы, легко заметить, что относительный прирост числа предаварийных ситуаций увеличивается быстрее относительного прироста судопотока. В предположении, что скорость нарастания числа предаварийных случаев зависит от интенсивности судопотока, для получения полной картины явления были проведены расчеты для произ-



вольно заданного числа судопроходов через акваторию порта. При этом было сделано допущение о линейной зависимости числа судов, стоящих на якоре, от интенсивности общего судопотока, так как коэффициент корреляции между этими величинами близок к 0,9. Результаты расчета приведены на рис. 6.



**Рис. 6. Математическое ожидание числа предаварийных ситуаций на траверзе приемного буя порта Санкт-Петербург в зависимости от общего судопотока**

Расчеты показывают, что число предаварийных ситуаций на подходе к порту Санкт-Петербург начинает стремительно возрастать при превышении общим судопотоком величины 5000 судов. Ежегодный прирост числа судов, проходящих мимо приемного буя в летние месяцы, составляет в среднем 500 судов. Так как в 1999 году общее число судопроходов в летние месяцы достигло значения 8400, то в 2000 году оно было не менее 8900, то есть за период летней навигации возле приемного буя должно быть наблюденно около 200 предаварийных ситуаций. Конечно, не каждая предаварийная ситуация завершается аварией или катастрофой. Для того чтобы оценить серьезность полученных оценок, можно вспомнить “морское суеверие о девятом вале”. Суть его в том, что из девяти случаев один обязательно будет более тяжелым чем все остальные. То есть на 9 ситуаций одно происшествие, на 9 происшествий одна авария и т.д. Тогда по полученному прогнозу за летний период 2000 года должно было произойти не менее 2 аварий. Конечно, информация об аварийности наиболее конфиденциальная из всех сведений, которые исследователь хотел бы знать о мореплавании в прибрежной зоне, но наши вездесущие СМИ дважды оповестили весь мир о столкновениях судов на подходах к порту Санкт-Петербург летом 2000 года, подтверждая приведенные оценки. Необходимо отметить, что район приемного буя находится в зоне действия системы управления движением судов, но, очевидно, и самые сложные системы имеют предел, после которого теряют свою эффективность.

Возникает естественный вопрос, есть ли какой-либо выход из сложившейся ситуации, кроме ограничения числа судов заходящих в порт.

Из диаграмм на рис. 1 видно, что 1/3 всего судопотока - суда река-море, следующие транзитом через акваторию порта. Приведенные выше расчеты показывают, что если бы можно было направить транзитные суда и суда с осадкой не более 5 метров по другому пути, - например, через не работающее ныне судопропускное сооружение С-2, обстановка на подходах к порту улучшилась бы не менее, чем в 4 раза. На подходах к приемному бую наблюдалось бы около 50 предаварийных ситуаций. В этом случае риск аварий, наблюдавшийся в 2000 году, вновь будет достигнут только через 10 лет при условии сохранения роста числа судов заходящих на акваторию порта.

Таким образом, решительное улучшение судоходной обстановки на подходах к порту Санкт-Петербург возможно в первую очередь, а, может быть, и только за счет реконструкции системы движения путей на акватории порта, предполагающей открытие судопропускного сооружения С-2 защитной дамбы.

## **2. Анализ структуры путей движения в восточной части Финского залива**

Изменение путей движения на акватории порта Санкт-Петербург не может не повлечь за собой необходимость изменения системы путей движения на всей акватории восточной части Финского залива. Это предопределено тем, **что система путей движения восточной части Финского залива имеет древовидную структуру с одним главным входом и несколькими ответвлениями (на Выборг, на Лугу, на Приморск и т.д.)**. Рассмотренная выше ситуация у приемного буя порта Санкт-Петербург будет характерна для каждого места схождения путей, и, по мере увеличения интенсивности движения, риск столкновений будет нарастать. То есть вероятность столкновения у о. Сескар, где сходятся пути судов из Приморска и Санкт-Петербурга, будет больше, чем, у приемного буя порта Санкт-Петербург. Даже небольшие изменения в структуре судопотоков в такой системе путей могут существенно изменить навигационную обстановку, как в лучшую, так и в худшую сторону.

Необходимо отметить, что основные узлы пересечения потоков судов находятся в районах неблагоприятных в навигационном отношении и разнообразных по характеру навигационных опасностей. Привычная для всех трактовка навигационной опасности, как некоторой заданной на все случаи жизни глубины или границы, при современном уровне мореплавания в восточной части Финского залива некорректна. Здесь и во всех остальных работах по вопросам навигационной безопасности ГНИНГИ придерживается резолюции ИМО А.629 [5], где под навигационной опасностью понимаются "любые признанные или нанесенные на карту объект или граница, препятствующие движению судна, или ограничивающие свободу его маневра". Исходя из этого определения, степень влияния на плавание судна как естественных, так и антропогенных опасностей определяется всей совокупностью факторов навигационной обстановки и свойств судна, а не только положением опасности и глубиной над ней. Например, все отмели в Лужской губе имеют дюнообразный характер, то есть при подходе к ним с запада глубина уменьшается медленно и суда с умеренной инерцией способны предпринять эффективные меры по предотвращению посадки на мель, ориентируясь по глубине под килем. С восточной стороны отмелей в Лужской Губе глубина уменьшается очень быстро, расстояние между изобатами 20 и 10 м не превышает 1 кбт. Поэтому

при оценке опасности с восточной стороны Лужских отмелей можно применять опасную изобату, а с западной необходимо оценивать безопасное положение судна, которое зависит от характеристик судна, гидрометеорологической обстановки и способов контроля за местом судна. Описывая навигационную опасность и разрабатывая способы предотвращения навигационных аварий даже в одном и том же районе, необходимо применять разные оценки их границ, соотносясь с гидрографическими, гидрометеорологическими и другими особенностями района, а так же с доступными судоводителю средствами контроля за местом судна и безопасностью плавания. Из сказанного следует, что для разработки действительно безопасных путей движения необходимо разделение всех судов, плавающих в рассматриваемом районе, на группы, для каждой из которых навигационные опасности будут одинаковы.

Для многих участков существующей системы характерны недостаточная точность контроля за местом судна по стационарной системе средств навигационного оборудования и недостаточный объем навигационной информации, представляемый системой. МАМС по согласованию с ИМО рекомендовала в NAVGUIDE-90 рассматривать следующие основные виды навигационной информации:

- данные для определения места;
- предупреждения об опасности;
- подтверждение (контроль за правильностью работы МСН за счет определения навигационных параметров по другим средствам или подтверждение безопасности плавания судна)
- указание рекомендованных путей.

Анализ морских навигационных карт на рассматриваемый район показывает, что не везде мореплаватель обеспечен всей необходимой информацией.

Неудовлетворительное знание места судна порождает ситуации неоднозначного толкования правил плавания судов по путям движения, и, как следствие, возникновение предпосылок к столкновениям. Например, в результате погрешностей в определении своего места, встречное судно может рассматриваться как судно, идущее вне системы путей движения, и обязанное уступить дорогу.

Увеличение осадки судов, заходящих в порты восточной части Финского залива, до 12 – 15 м, вызывает значительное ограничение свободы маневрирования из-за большого количества навигационных опасностей для них в том, числе и на установленных путях движения.

В 1997 году по заказу МАП Санкт-Петербург ГНИНГИ МО РФ провел НИР "ЛЕД-1". Полученные в результате нее оценки гидродинамики восточной части Финского залива убедительно показывают, что Большой корабельный фарватер расположен в зоне максимальных ветровых течений, вызывающих опасный дрейф судов в сторону навигационных опасностей. То есть, **существующие пути движения расположены в областях существенного влияния гидрометеорологических факторов на безопасность плавания.**

Точностные характеристики системы средств навигационного оборудования позволяют ввести полосу разделения встречных потоков судов только на участке от маяка Нерва до о. Гогланд. В остальных районах установлен-

ной системы путей движения гидрографическая служба отмечает линию разделения движения плавучими предостерегательными знаками (буями). В результате смещения плавучих знаков и погрешностей в определении места возможно неверное толкование навигационной ситуации при маневрировании на встречных курсах. Иначе говоря, **система путей движения имеет навигационное оборудование, не в полной мере соответствующее навигационным задачам, решаемым при плавании по установленным путям.**

Из выше сказанного можно сделать вывод о том, что к настоящему времени существующая система путей движения судов перестает эффективно выполнять свои функции, в связи с:

- ростом интенсивности судоходства;
- увеличением размерений судов и объема перевозимых опасных грузов;
- сложными навигационно-гидрографическими условиями.

### **3. Обоснование принципов построения системы путей движения судов в восточной части Финского залива**

Разработанная к настоящему моменту ЦНИИМФ региональная система управления движением судов представляет сеть береговых радиолокационных станций и средств связи и передачи радиолокационной информации. При введении ее в строй на акватории восточной части Финского залива практически не будет мест, не контролируемых инспекцией безопасности плавания Морской администрацией портов (МАП). Но способна ли столь мощная система предотвратить навигационную аварийность без реконструкции системы путей движения? Опыт навигации 2000 на акватории порта Санкт-Петербург года показывает, что даже наличие полного радиолокационного контроля за судами, число навигационных аварий определяется количеством судов проходящих по пути движения за единицу времени. Поэтому, не отрицая необходимости развития радиолокационных систем обеспечения безопасности плавания, необходимо уменьшение числа маневрирований судов на встречных и пересекающихся курсах. А это, при ежегодном (500 судов) приросте числа судов, заходящих в порты восточной части Финского залива, возможно только при изменении системы путей движения.

При этом не всегда необходимо будет существенно изменять систему средств навигационного оборудования. Возможности судов по точности контроля за местом во время плавания в определенной степени зависят от их водоизмещения. В соответствии с правилом 5 главы 12 Конвенции СОЛАС наиболее точные морские средства навигации устанавливаются на суда с большим водоизмещением. Поэтому в местах, где дальности существующих средств навигационного оборудования уже не обеспечивают безопасность малых судов, крупнотоннажные суда могут идти вполне безопасно. Группируя суда по общим для них навигационным опасностям, можно определить маршруты движения, не требующие значительного развития системы средств навигационного оборудования.

По типам навигационных опасностей восточную часть Финского залива можно условно разделить на 6 районов:

1. Невская губа (мелководье, плавание только по искусственным каналам или узким естественным фарватерам);

2. Копорская губа (ограничена с севера группой симметричных пологих банок; рельеф дна на большей части ровный);
3. Лужская губа (изобилует несимметричными отмелями, банками, рифами; имеет четко выраженную замкнутую циркуляцию вод, в значительной степени защищена от волнения);
4. Выборгский залив (большое количество малых по размерам симметричных банок на значительном удалении от берега);
5. Акватория, ограниченная островами Гогланд, Нерва, Соммерс, Мощный (район схождения судопотоков, имеет сложные гидродинамические условия; банки и отмели вблизи островов; ветровые течения в период штормов сносят суда в сторону навигационных опасностей);
6. Акватория ограниченная островами Гогланд, Мощный, Большой и Малый Тютерсы, Родшер (основные навигационные опасности расположены вблизи островов; рельеф дна ровный; в зимний период этот район характерен наибольшей изменчивостью ледовой обстановки).

Существующая система путей движения, как отмечалось выше, имеет в каждом из этих районов только один установленный путь. Все остальные возможные маршруты по разным причинам не рекомендуются для плавания. Однако анализ маршрутов ледовых проводок осуществляемых МАП Санкт-Петербург, показывает, что в большинстве случаев караваны судов проводятся вне установленных путей движения. Так, в если в зиму 1998-99 годов основной поток судов проводился мимо Большого и малого Тютерсов в Островной проход и далее южнее о. Сескар на Большой корабельный фарватер, то в зиму 1999-2000 года маршруты движения судов пролегли севернее Большого корабельного фарватера, где были более благоприятные условия для организации ледового канала. То есть в восточной части Финского залива, имеется достаточное количество безопасных маршрутов плавания, позволяющих организовать движение различных групп судов вне существующей системы путей. Это позволяет сформулировать основной принцип реконструкции системы путей движения: **новая система путей движения должна представлять из себя сеть путей, в том числе и глубоководных (с гарантированной минимальной глубиной), позволяющей региональной службе движения оперативно изменять маршрут судна с целью минимизации частоты маневрирования на встречных и пересекающихся курсах.**

Примером такой реконструкции может быть возможное изменение маршрута подхода к приемному бую порта Санкт-Петербург так, чтобы суда, идущие в порт, оставляли якорную стоянку №4 с юга (с правого борта). С другой стороны, после открытия судопропускного сооружения С-2 возможен такой же маршрут относительно якорных стоянок №5 и №5а. Внешне похожее решение в целях разделения потоков можно найти для прохода судов в пролив Бьерке-зунд. Наличие достаточного количества маршрутов позволит в будущем отказаться от так называемых зон кругового движения, где встречные суда предоставлены сами себе, и невозможно предотвратить встречу судов в местах пересечения путей, направляя их по соответствующему маршруту.

Наличие в восточной части Финского залива разнородных по навигационно-гидрографическим условиям участков требует проведения в них раз-

личных комплексов исследований и инженерных мероприятий, связанных с реконструкцией системы путей движения.

При анализе возможной структуры путей движения в восточной части Финского залива как возможная альтернатива существующей была рассмотрена структура, имеющая вид общего кольца с главным направлением движения против часовой стрелки. Такая система представлялась наиболее удачной, так как:

- в большей степени соответствует МППСС-72 и хорошей морской практике то, что судно, находящееся на менее опасной акватории, должно уступать дорогу судну, находящемуся в более сложных условиях;
- требует наличия якорных стоянок для ожидания очереди захода в главный путь только возле портов.

Однако такой подход обладает достаточно серьезными экономическими и организационными недостатками:

- необоснованное увеличение пути в порт для судов, не идущих в Санкт-Петербург;
- в зимнее время большое количество отрезков пути находится в неблагоприятных по ледовым условиям районах;
- в рамках такой системы путей движения невозможно организовать рациональное движение в переходный период от летней к зимней навигации.

Поэтому наиболее рациональной представляется структура путей, позволяющая организовать по необходимости любой тип маршрутов движения судов в рамках плана движения в зоне действия Службы Движения Судов (Государственной Инспекции безопасности плавания МАП). С учетом навигационно-гидрографических особенностей и задач, решаемых системой путей движения, можно выделить следующие ее блоки:

- акватория порта Санкт-Петербург (основная задача – развязка транзитного потока судов и судов, следующих в порт);
- западная часть Невской губы (не закольцованные маршруты, обеспечивающие развязку судопотока по направлению на Приморск и судопотока порта Санкт-Петербург);
- акватория, ограниченная островами Соммерс, Нерва, Большой и Малый Березовые, Сескар, Мощный (основная задача - развязка судопотоков судов река-море, морских судов с осадкой менее 12 и крупнотоннажных судов с осадкой 12 – 15м, дополнительное обеспечение рационального плавания в зимнее время);
- акватория, ограниченная островами Родшер, Гогланд, Соммерс, Мощный, Большой и Малый Тютерсы (задача – развязка всех потоков судов как в летнее, так и в зимнее время, предполагаемая структура путей – кольцо с основным направлением движения против часовой стрелки).

Портовые комплексы восточной части Финского залива находятся в различных стадиях развития и строительства. Поэтому **целесообразно проводить реконструкцию системы поэтапно на каждой из указанных акваторий по мере необходимости.**

**Выводы:**

1. Существующая система путей движения в восточной части Финского залива в настоящее время перестала удовлетворять требованиям торгового мореплавания.

2. Развитие береговых радиолокационных средств обеспечения навигационной безопасности не позволит в полной мере решить задачу безопасности плавания и предотвратить загрязнение акватории Финского залива;

3. Анализ навигационной обстановки в восточной части Финского залива показывает, что разработка новой системы путей движения должна соответствовать следующим основным правилам:

- навигационная опасность должна признаваться таковой с учетом не только рельефа дна и гидрометеорологических особенностей района, но и с учетом динамических и навигационных свойств судна, в том числе и установленных на нем морских средств навигации;
- все суда, плавающие в регионе должны быть разделены на группы по общим для них навигационным опасностям и, соответственно, маршрутам движения;
- система путей движения должна представлять из себя сеть путей, в том числе и глубоководных, позволяющую региональной службе движения оперативно изменять маршрут судна с целью минимизации частоты маневрирования на встречных и пересекающихся курсах;

4. Существенное различие в плотности судопотоков на акватории восточной части Финского залива позволяет реконструировать систему путей движения поэтапно по мере ввода в строй новых портовых сооружений. При этом рассматриваемую акваторию можно разбить на районы, в которых система путей движения решает свойственные им задачи.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. "Безопасность плавания в портовых водах" Погосов С.Г. М., Транспорт, 1977. - 136 с.
2. "Обязательные постановления Морской Администрации порта Санкт-Петербург" Морская Администрация порта Санкт-Петербург 1997 г. 64 стр.
3. "Теория случайных процессов и ее инженерные приложения" Е.С. Вентцель, А.А. Овчаров. М. "Наука". 1999 г. 383 стр.
4. "Основные понятия теории вероятностей" Н.И. Колмогоров М. Наука 1949 г. 116с
5. "Сборник резолюций международной морской организации по вопросам судовождения" М. В/О "Морте-хинформреклама" 1989
6. "IALA AIDS TO NAVIGATION GUIDE" (NAVGUIDE) International Association of Lighthouse Authorities, Paris, 1990.
7. Итоговый отчет по НИР "ЛЕД-1" С.П. 1998 г. ГНИНГИ МО РФ 320 стр.

## **ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПО РАДИОНАВИГАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ**

**Ю.И. НИКИТЕНКО,  
Ю.М. УСТИНОВ**  
(ГМА им. адм. С.О. Макарова)

*Обсуждаются существовавшие недостатки и возникающие возможности в подготовке научных работников по системам и устройствам радионавигации (РНС) в рамках специальности 05.12.04. Намечаются основные разделы и темы программы-минимум по РНС.*

### **1. Исходные положения**

Системы и устройства радионавигации осуществляют определение местоположения, скорости и/или других характеристик объекта, используя свойства распространения радиоволн. Эти системы, называемые также радионавигационными (РНС), применяются в интересах навигации, гидрографии, геодезии, управления движением транспортных средств и предупреждения их столкновения. Совокупность результатов радиоопределения обобщается в понятии вектор положения [1].

До 2000 г. перечень специальностей научных работников относил системы радионавигации к специальности 05.12.04 "Радиолокация и радионавигация" в рубрике 05.12.00 "Радиотехника и связь" (где все другие наименования специальностей четко указывали, что они относятся к устройствам, системам и/или радиотехническим процессам).

С конца 2000 г. специальность 05.12.04 приобрела более общий характер и стала формулироваться как "Радиотехника, в том числе системы и устройства радионавигации, радиолокации и телевидения". В связи с изменением перечня специальностей ВАК РФ теперь, по-видимому, должен будет выработать рекомендации по содержанию программы-минимума подготовки специалистов соответствующего профиля высшей квалификации. В настоящей статье рассматривается ряд вопросов, характеризующих существовавшие недочеты в подготовке специалистов по РНС и возможности ее улучшения. Частично они затрагивались авторами ранее [2].

### **2. Некоторые общие аспекты подготовки инженеров и научных работников по радиотехническим специальностям**

2.1. Существовавший ранее перечень научных специальностей ограничивал выбор тем при оформлении и защите диссертаций. В то же время создавались комплексные подразделения, например, кафедры, которым не всегда обоснованно присваивались названия не соответствующие перечню специальностей.

2.2. В последние десятилетия (и у нас более явно, чем за рубежом) наблюдается целенаправленное исключение слова "радио" из адекватного реальности термина "радионавигационные системы". То же самое уже имело место в послевоенные годы, что тогда привело, в частности, к ликвидации кафедры РНС в ВМА и попыткам такой же реорганизации в ЛВИМУ. Упоминание



о "радио" отсутствует в наименовании ГЛОНАСС отечественной спутниковой РНС, в ряде официальных документов, статей и книг (см., например [3]).

2.3. Еще с послевоенных лет можно было наблюдать, что радиотехника, обогащаясь достижениями соседних отраслей науки и техники (статистики, информатики, теории автоматических измерительных систем и систем управления, бионики), одновременно подвергалась размыванию, подмене модными интерпретациями с их односторонним раздуванием.

Такой упрек можно отнести, например, к объемным трудам Мидлтона, Левина, представителей школы ВВА им. Н. Е. Жуковского и др. Однако издание этих книг массовыми тиражами и соответственно чрезмерное внедрение в учебники модных разделов современной статистики привели к чрезмерному наукообразию последних за счет несоразмерного использования аппарата статистических решений для синтеза и оценки оптимальных схем (которые можно обосновать и более компактными методами с достаточной для практики точностью). Вместо "Теоретических основ радиотехники" на первый план сначала выдвинулась новая дисциплина "Статистическая радиотехника", изложение основ которой заполонило первые издания "Радиотехнических цепей и сигналов", а за ней и другие дисциплины.

Не минула чаша сия и специальности 05.12.04. Здесь, кроме подготовленных разработчиками книг [5, 6, 7], вышли и [8, 9]. При этом в последнем из названных учебных пособий, предназначенном для ВУЗов "автор наибольшее внимание ... уделит наиболее трудным для усвоения студентами материалов статистической теории" радионавигации, но отнюдь не радионавигационным системам и устройствам.

2.4. Шел и объективный процесс формирования понятий, свойственных различным областям приложения радиотехники (морским, воздушным, космическим и др.). В интересах дела это позволяет, в частности, поставить вопрос о целесообразности принятия более четкого определения терминов "морской радиоинженер", "морская радиотехника" и т. п. По данному вопросу необходимо и усиление взаимосвязи между создающими и эксплуатирующими соответствующую аппаратуру организациями.

2.5. Каждой области радиотехники, как и любой другой специальности, соответствует некоторый объем базовых закономерностей в сфере интеллектуальной деятельности и производства. Предмет нашего обсуждения – свод взаимосвязанных закономерностей – "кирпичиков" знаний радиоинженера и научного работника, лежащих в основе теории данной конкретной технической дисциплины. Свод этот меняется со временем за счет как видоизменения и уточнения существующих "кирпичиков", так и добавления новых, могущих образовывать новые "колоннады и перепланировки" под общим сводом. Поколения специалистов таким образом постепенно (позапно) приобретают умение критически оценивать (рассчитывать) принятые ранее инженерные решения и характеристики уже созданных радиотехнических систем, формировать научно-технический задел на перспективу. В процессе обучения и самообучения каждый инженер должен научиться выводить "на кончике пера" основные положения своей профильной дисциплины, находить в пособиях и справочниках необходимые на практике соотношения и алгоритмы. Именно из такого инженера, очевидно, и можно подготовить специалиста высшей квалификации.

2.6. Нельзя пройти мимо того факта, что в настоящее время вся аппаратура потребителя приобретает вид "черных ящиков" с кнопками и дисплеем, по которым нет возможности, как при элементной базе предыдущих поколений наглядно локализовать и освоить узлы приемоизмерительного тракта. Изготовитель часто не раскрывает особенности своих схемных решений. В этих условиях на первый план при обучении и освоении радиотехнических процессов выступают описывающие их модели, аналитические соотношения и алгоритмы. Среди учебных пособий, таким образом необходимы как превосходные справочники по современной элементной базе [10], так и соответствующие учебники [11, 12].

### **3. Недостатки и особенности подготовки специалистов по РНС**

3.1. Наименование существовавшей ранее специальности 05.12.04 "Радиолокация и радионавигация" позволило авторам существовавшей тогда программы-минимума ВАК уделить внимание главным образом вопросам приложения статистики к алгоритмам обработки сигналов. Это не могло не создавать впечатления неадекватности ее содержания целостной картине физических процессов, закономерностей и приоритетных направлений развития РНС [2].

3.2. Одним из положительных факторов пересмотра перечня научных специальностей является переход от термина "радионавигация" к термину "системы и устройства радионавигации" с явным указанием, на то, что эти системы и устройства – составная часть радиотехники.

3.3. Программа учебной подготовки специалиста высшей квалификации по радионавигационным системам должна включать разделы, знание которых необходимо как для оценки современного состояния и перспектив дальнейшего совершенствования данной области науки и техники, так и для разработки предложений по модернизации существующих РНС и, главное, для определения облика РНС нового поколения.

3.4. К отрицательным методическим особенностям используемой для обучения литературы в прошедшие годы (после разработки и развертывания спутниковых РНС) следует прежде всего отнести отсутствие увязки и преемственности с заложенными ранее в наземных РНС основами и принципами как формирования и синхронизации сигналов, так и первичной их обработки в приемоизмерительной аппаратуре. При этом сложилось представление о безусловной оптимальности принятых в спутниковых РНС решений. Известная книга о СРНС ГЛОНАСС [11] перенасыщена сведениями теории автоматических систем слежения и управления, а не теории радиотехнических схем и процессов.

В настоящее время возникают возможности принятия единого подхода к изложению вопросов первичной обработки принимаемых сигналов наземных и спутниковых РНС [12] и формирования излучаемых ими сигналов.

3.5. Опыт убеждает, что для обоснования, оптимального синтеза и статистического анализа подавляющего большинства радиотехнических схем достаточны простые соотношения существующего 200 лет метода наименьших квадратов (МНК [13, 14]), а рекуррентные алгоритмы МНК [15] в ряде приложений (например, [16]) могут конкурировать с фильтрами Калмана.

Следует особо подчеркнуть, что МНК является базовым элементом основ теории и навигации и гидрографии. Поэтому представляется полезным,

чтобы в морских ВУЗах дополнительной дисциплиной (по выбору) была такая, как, например, "Использование МНК в радиотехнике и навигации". С одной стороны это дало бы возможность упростить методику изложения необходимых знаний в учебниках и учебных пособиях без снижения уровня подготовки радиоинженера, а с другой, – облегчило бы освоение радиотехники и РНС инженерами смежных морских специальностей.

3.6. Новая программа-минимум, как представляется, должна базироваться на известных вузовских дисциплинах, определяющих электродинамические и схемотехнические основы радиотехники. Чтобы стать достаточно сведущим специалистом в области создания и эксплуатации РНС, инженеру необходимо пройти серьезную радиотехническую школу, изучить и знать теорию и особенности физических процессов и схем в радиоканале от точки радиопередатчика, на которую в условно нулевой момент времени подаются "точечные" стробы для формирования излучаемого сигнала, до точки приемоизмерительного тракта, с которой снимаются результаты первичных измерений временного положения огибающей или фазы ВЧ-заполнения сигнала. Приступающий к выполнению программы-минимум должен знать и о наличии четвертого тракта аппаратуры потребителя – тракта извлечения информации о векторе положения объекта (тракта вторичной обработки результатов первичных измерений).

#### 4. Основные темы программы-минимум

Содержание действующих программ изучения традиционных знаний по ДВ-СВ ИФ РНС и спутниковых РНС известно. Поэтому достаточно далее в разделах (соответствующих отмеченным выше четырем трактам) новой программы-минимум отразить лишь те темы (вопросы), проработка которых, по нашему мнению, будет полезна для получения необходимого багажа знаний в обеспечение как модернизации существующих, так и для определения облика перспективных СРНС нового поколения. Для конкретизации дальней перспективы развития СРНС полезно не исключать и возможности реализации импульсно-фазовых СРНС с однозначным переходом от огибающей к фазе ВЧ-заполнения. Представляется, что соответствующие дополнения могут быть сформулированы следующим образом.

*4.1. Тракт формирования и излучения сигнала.* Основные схемы для формирования излучаемых сигналов и обеспечения их круговой поляризации. Взаимосвязь качества функционирования радиосистемы, параметров излучаемых сигналов и требований электромагнитной совместимости. Необходимая и занимаемая полосы частот, скорость убывания огибающей спектра, внеполосные излучения. Аппроксимирующие функции формы огибающей элементарного радиоимпульса. Основные типы и характеристики сложных сигналов с дискретными видами модуляции. Принципы оптимизации формы элементарных радиоимпульсов при наличии приходящих позже переотражений [17]. Алгоритмы синхронизации (поддержания фиксированной разности моментов излучений) разнесенных передающих устройств РНС. Методы поддержания и контроля формы огибающей и привязки фазы ВЧ заполнения к огибающей. Основные источники инструментальных погрешностей в передающих устройствах. Методы модуляции и кодирования навигационного сигнала для передачи служебной информации.

*4.2. Тракт распространения радиоволн.* Особенности распространения радиоволн УКВ диапазона на трассе ИСЗ–Земля с учетом влияния магнитного поля Земли. Уравнения для описания распространения радиосигналов в ионосфере (компактный без тензоров вывод этого уравнения. [18] Методы оценки искажений формы огибающей и привязки фазы ВЧ заполнения сигнала в ионосфере [19]. Необходимость использования двух несущих частот сигналов ИСЗ для уменьшения влияния ионосферы на точность определения по СРНС. Необходимость использования антенн круговой поляризации. Определение несущих частот, для которых эффекты Фарадея и Коттон-Мутона могут прогнозироваться или не приниматься во внимание. Многолучевое распространение. Флуктуации параметров принимаемого сигнала. Естественные помехи в радиоканале ИСЗ – Земля.

*4.3. Тракт приема и измерения параметров сигналов.* Приемные антенны. Входные цепи приемного тракта. Отношение сигнал/шум на входе первого активного элемента. Фазовые и временные соотношения в отдельных узлах супергетеродинного приемника радиоимпульсов. Динамический диапазон и автоматическая регулировка усиления для принимаемых в одном периоде повторения полезных сигналов существенно отличающихся интенсивностей. Использование предельного ограничителя и оценка вносимых им потерь [20]. Приемники прямого преобразования. Аналоговые и цифровые фильтры высокочастотного тракта.

Основы теории оптимального приема и оценки параметров сигналов на фоне шумов [5, 6, 12, 14]. Методы устранения многозначности фазовых измерений.

Неэффективность используемых кодов для уменьшения влияния переотраженных (от близко расположенных к приемной антенне предметов) сигналов, задержанных на интервал менее длительности элементарного радиоимпульса [12]. Методы борьбы с коррелированными и узкополосными помехами.

Основные источники инструментальных погрешностей в приемном тракте. Результирующая погрешность измерения параметров сигнала в приемо-измерительном тракте с учетом источников погрешностей в передающем тракте и тракте распространения радиоволн.

*4.4. Тракт извлечения информации о векторе положения судна.* Составляющие вектора положения:

- координаты точки судна, выбранной в качестве начальной;
- их производные (т. е. путевая скорость и путевой угол);
- поправки к местной шкале времени;
- параметры [16] угловой ориентации судна (истинный курс, крен, дифферент).  
Возможность дополнительного определения [21]:
- параметров текущего положения оси вращения судна;
- оценки координат центра масс судна;
- разности между длинами намеченной и истинной траектории движения.

Информация о векторе положения извлекается из двух видов серий результатов измерений параметров принимаемых радиосигналов каждого ИСЗ:

- полученных по огибающей сигналов квазидальностей от ИСЗ до судна;
- более точных (на порядки), получаемых по фазе ВЧ-заполнения однозначных приращений квазидальностей.

С учетом изученных по предыдущим темам функциональных зависимостей этих параметров от взаимного расположения и ориентации передающих и приемных антенн, а также свойств среды распространения электромагнитных волн изучаются алгоритмы оценки составляющих вектора положения и оценки погрешностей составляющих этого вектора [5, 6, 14, 22, 23].

Необходимо включить в новую мини-программу курс по основам комплексирования радионавигационных средств и других средств навигации [4]. Существенное внимание должно быть уделено разновидностям дифференциальных подсистем (ДСРНС); здесь целесообразно учитывать то, что отведенные для ДСРНС радиоканалы могут использоваться и при создании РНС наземного базирования излучателей [14]. В программе следует охарактеризовать и современные средства отображения информации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Международный союз электросвязи. Регламент радиосвязи. 2000 г. Кн. 1.
2. Ю.И. Никитенко, Ю.М. Устинов, В.К. Корниенко. О целесообразности изменения программы–минимума подготовки специалистов высшей квалификации по радиолокации и радионавигации//Тезисы докладов 2-й Российской научно–технической конференции 14–17ноября 1995 г. ГНИНГИ.
3. Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко–Трендз. 2000 г.
4. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах. М.: Машиностроение, 1991. 512с.
5. Гришин Ю.П., Ипатов В.П., Казаринов Ю.М. и др. Радиотехнические системы. М.: Высш. шк. 1990.
6. В.С. Шебшаевич и др. Сетевые спутниковые РНС. М.: Радио и связь. 1993. 408 с.
7. И.В. Кудрявцев, Ю.М. Устинов и др. Бортовые устройства спутниковой радионавигации. М. Транспорт. 1988. 80 с.
8. Ярлыков М.С. Статистическая теория радионавигации. М.: Радио и связь. 1985. 344 с.
9. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. М.: Радио и связь. 1992. 304 с.
10. Жоздишский М.И., Мазера Р. Б., Овсянников Е. Р. и др. Цифровые радиоприемные устройства. М.: Радио и связь. 1986 г.
11. Глобальная СРНС ГЛОНАСС. Под ред. Харисова В. Н. и др. М.: ИПРЖР. 1998. 400 с.
12. Курчанов И.А., Никитенко Ю.И. Сравнение одноканальной и двухканальной схем измерения задержки сигналов СРНС//Навигация и гидрография. 2000. № 10.
13. Никитенко Ю.И., Устинов Ю.М. Оптимальные алгоритмы и схемы измерения параметров радиосигнала в шумах. М.: В/О "Мортехинформреклама", 1991. 36 с.
14. Никитенко Ю.И., Быков В. И., Устинов Ю. М. Судовые радионавигационные системы. М.: Транспорт. 1992. 336с.
15. К. Хартман и др. Планирование эксперимента в исследованиях технологических процессов. М.: Мир, 1977. 552 с.
16. Лукьянова М.А., Никитенко Ю. И. Особенности алгоритмов однозначной пространственной угловой ориентации судна по многозначным одномоментным интерферометрическим отсчетам фаз сигналов всех видимых ИСЗ СРНС.//Навигация и гидрография. 2000. № 11.
17. Иванцевич Н.В. Синтез огибающей радиоимпульса, содержащего максимум энергии на переднем фронте//Реф. инф. по радиоэлектронике. 1969, № 18.
18. Никитенко Ю.И., Бахвалов В.Н., Неволин Т. Н. Электродинамика и распространение радиоволн; Учеб. пособие. – М.: В/О "Мортехинформреклама", 1992. 69 с.
19. J. R. Johler. The Propagation Times of a Radio Pulse. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1965, XI, vol. AP-II, № 6, pp. 661–668.
20. Никитенко Ю. И., Богачкин Ю. И., Лукьянова М. А., Устинов А. В. К оценке параметров сигнала в шумах на выходе радиоприемника с предельным амплитудным ограничением.//Радионавигация и время. 1996. №1, 2 (7).
21. Никитенко Ю. И. Расширение круга навигационно– динамических параметров, оцениваемых по фазе сигналов спутниковых РНС.//Навигация и гидрография 2000. № 10.
22. Никитенко Ю. И., Егоров Е. В. Сравнение дальномерного и разностно–дальномерного методов местопредопределения в РНС с методом А. Ф. Смирновского. Вопросы радиоэлектроники. Серия общетехническая. Вып. 5., 1973. С. 3–10.
23. Болошин С. Б., Головушкин Г. В., Олянюк П. В. и др. Радионавигационные системы сверхдлинноволнового диапазона. М.: Радио и связь. 1995. – 264 с.



---

# МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

---

ГРНТИ 78.21.36.17.19

## О ПРОЕКЦИЯХ МОРСКИХ И ОЗЕРНЫХ КАРТ В ЭПОХУ КОМПЬЮТЕРИЗЦИИ

**А.И. СОРОКИН**  
(ИНОЗ РАН)

*Рассмотрены вопросы переоценки требований к выбору проекций морских и озерных карт под влиянием компьютеризации как процесса картосоставления, так и методов использования картографических материалов.*

Существует бесконечное множество картографических проекций. Также очень много их предложено к использованию. Причем по мнению А. П. Ющенко, “придумано и даже на практике использовано излишнее количество проекций” [1]. Поэтому естественным образом возникает вопрос о необходимости их выбора для построения карт в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями.

Основным требованием при выборе картографической проекции в большинстве случаев является обеспечение наиболее правдоподобного изображения земной поверхности, т. е. с минимумом его угловых и линейных искажений. Другим важным требованием, предъявляемым к проекциям уже специальных карт, является возможность проведения каких-либо линий в виде прямых или окружностей на карте. К этим проекциям, являющимся по сути дела картами-номограммами, следует отнести меркаторскую проекцию (на которой сферическая спираль изображается прямой линией), гномоническую (прямыми изображаются линии кратчайших расстояний – ортодромии), проекцию Литтрова (с помощью которой построена номограмма Вейра, позволяющая проводить изоазимуты в виде прямых линий), равноугольную коническую с удвоением долгот (в которой линии равных углов – изогоны – являются окружностями) и некоторые другие.

Следующим требованием, определяющим целый класс проекций, является обеспечение оптимальных условий для решения различных картометрических задач (измерения углов, длин, площадей). Сюда можно отнести проекцию Постеля (позволяющую измерять без введения поправок направления и кратчайшие расстояния из центральной точки), двуазимутальную (для измерения направлений из двух заданных точек), двуэквидистантную (позволяющую измерять истинные расстояния также от двух заданных точек), любые равновеликие проекции (для измерения площадей) и т. п. Могут быть предъявлены и другие требования, обеспечивающие, например:

- простоту построения географической сетки (глобулярная проекция, проекция Аитова и др.);
- заданную форму карты, охватывающей всю земную поверхность или отдельные ее крупные части (например, проекция А. П. Ющенко, изображающая земной шар в виде пятиконечной звезды);
- наилучшее изображение всех материков или всех океанов (разрезные проекции);
- соответствие картографического изображения визуальному восприятию картографируемой поверхности, наблюдаемой из удаленной точки (внешние перспективные проекции, в том числе, ортографическая);
- упрощение решения управленческих задач с помощью визуальной оценки географической и навигационно-гидрографической информации (например, ортогиперболическая проекция [2]).

Иногда действуют и довольно иррациональные требования, в частности, когда вместо оптимальной проекции предпочитают иметь неудобную или почти непригодную для решения поставленных задач проекцию только из-за того, что она является более привычной. Так, например, при использовании обзорных карт для решения задач оперативного планирования в Северной Атлантике и других высокоширотных районах часто предпочитают иметь дело не со специально созданными с этой целью картами в равноугольной конической проекции [3], а с обычными меркаторскими картами, изображающими всю оперативную обстановку, как в кривом зеркале. Вызывает также серьезные сомнения целесообразность составления карт в этой проекции для морских атласов, как известно, не предназначенных для ведения навигационной прокладки.

Попутно заметим, что сам Меркатор, составляя свой знаменитый атлас мира, ни одной карты в нем не изобразил в проекции, названной впоследствии его именем, хотя и не совсем обоснованно. Дело в том, что географические сетки в равноугольной цилиндрической проекции строились уже до него и идея о целесообразности создания морской карты в данной проекции была высказана в трудах, ознакомление с которыми, по-видимому, и навело Меркатора на мысль о практическом изготовлении такой карты. Далее им была проделана огромная работа по созданию первой многолистной карты мира в этой проекции [4]. Поэтому эти карты вполне заслуженно называются меркаторскими, что нельзя сказать о самой проекции, идея создания которой и расчетные формулы для построения географической сетки в прямом и поперечном положениях для шара и, тем более, для сфероида были предложены другими картографами и математиками.

Меркаторская проекция (будем называть ее традиционно) триумфально эксплуатировались четыре столетия, хотя сначала и была воспринята мореплавателями с недоверием (сходящиеся к полюсу меридианы на этой карте параллельны между собой). Однако, использовавшиеся курсоуказатели – магнитный, а затем и гироскопический компасы – обеспечили ей долгое и прочное существование.

В настоящее время с развитием автоматизированных средств навигации, обеспечивающих плавание судна по кратчайшему расстоянию или иному



маршруту по произвольной траектории движения, применение меркаторской карты-номограммы, предназначенной для прокладки пути судна по сферической спирали - локсодромии, становится анахронизмом. Замена в морской картографии меркаторской проекции другими проекциями уже началась. Однако она еще далека от завершения. Кроме того, меркаторская проекция, по видимому, сохранится в обозримом будущем для изображения экваториальной зоны, а также составления крупномасштабных карт для каботажного плавания и тех малотоннажных судов, основным курсоуказателем которых будет оставаться компас.

Рассмотрим некоторые аспекты влияния процесса компьютеризации на развитие морской картографии. Это влияние сказывается двояким образом. Во-первых, при использовании компьютерных технологий значительно упрощается составление карт в различных проекциях и появляется возможность варьирования ими в соответствии с поставленной задачей для оптимизации картографического изображения, что дает возможность ведения более активного диалога с геоинформационными системами. Во-вторых, в связи с резким ускорением вычислительного процесса многие функции географических карт (например, графическое решение картометрических задач) теряют свой смысл. В результате происходит переосмысление требований, предъявляемых к картографическим проекциям при решении как традиционных, так и вновь возникающих задач.

Первым из рассмотренных выше требований была поставлена необходимость обеспечения минимума искажений изображения земной поверхности, поскольку этому вопросу всегда придавалось большое значение. Однако при решении ряда задач названным требованием приходится пренебречь. Здесь необходимо различать две стороны вопроса: правдоподобное изображение географических объектов на мелкомасштабных картах и сведение к минимуму искажений длин и углов на крупномасштабных для обеспечения высокоточных картометрических измерений. По этому вопросу, касающемуся выбора так называемых "наивыгоднейших" и "идеальных" проекций, имеется большая литература. Известна теорема П.Л. Чебышева для равноугольных проекций, утверждающая, что "крайнее уклонение логарифма масштаба от логарифма общего масштаба" (что принимается за оценку достоинства проекции) будет минимальным в той проекции, "в которой на границе изображения масштаб сохраняет одну и ту же величину" [5, 6]. Однако обстоятельное изучение этого вопроса показало, что он имеет больше теоретическое, чем практическое значение, поскольку, несмотря на весьма сложные вычисления, получаемый выигрыш является несущественным, и даже часто, из-за допустимых при вычислениях неизбежных приближений, лучшие показатели дает обычная равноугольная коническая проекция (например, для карт России) [1]. Более того, наилучшие результаты в соответствии с выбранным критерием оценки получаются при использовании известных равнопромежуточных проекций (например, равнопромежуточной конической проекции или проекции Постеля).

Все вышеприведенные рассуждения относятся к увеличению масштаба в точке. Если же перейти от дифференциальных искажений к интегральным, с которыми мы имеем дело при измерении конечных длин, то, как было показано еще около 30 лет назад [7], искажения расстояний, измеренных по карте от

расположенного на ее рамке географического полюса, при использовании равноугольной конической проекции (которая, согласно теореме П. Л. Чебышева, вообще непригодна для этих целей, поскольку в точке полюса увеличение длин стремится к бесконечности) будут значительно меньше, чем в стереографической проекции, которая, согласно той же теореме, считается наилучшей из равноугольных проекций для приполюсного района, ограниченного одной из параллелей.

Неоправданно большое внимание, как представляется, уделялось также отысканию “наивыгоднейших” параметров уже выбранных проекций. Например, применяя при отыскании произвольных постоянных для равноугольной конической проекции способы В. В. Витковского или В. В. Каврайского и произвольно задавая так называемые “параллели сечения”, равномерно расположенные относительно середины карты, получаем практически одинаковые отношения наибольшего увеличения масштаба к наименьшему, что, кстати, следует из соответствующей таблицы [5]. При измерении же расстояний с помощью шкал меридианного масштаба (что обычно и делается на практике) способ выбора произвольных постоянных проекции вообще перестает сказываться на точности результатов.

Наконец, с появлением возможности простого и быстрого решения картометрических задач аналитическим путем вопрос об искажениях проекций крупномасштабных карт, используемых в автоматизированных системах, как уже было отмечено выше, почти полностью теряет свою актуальность.

Что же касается морских и озерных карт, используемых традиционными методами, то вопрос искажения их проекций остается по-прежнему одним из главных и решается он с учетом основной поставленной задачи. Если таковой является измерение площадей акваторий, то целесообразно использовать одну из равновеликих ортогональных проекций. Если же планируется применение карты для выполнения любых картометрических работ, то для озер округлой формы лучше подойдет косая равнопромежуточная азимутальная проекция (проекция Постеля); для озер, вытянутых по долготе, – равнопромежуточная коническая проекция; для вытянутых по широте – нормальная равнопромежуточная цилиндрическая в малых широтах и косая равнопромежуточная коническая в средних и высоких.

При обычно небольших размерах озер все искажения углов, длин и площадей не будут практически превышать погрешность графических построений и измерений на картах. Так, например, при изображении в указанных проекциях самого крупного озера Европы – Ладожского, имеющего угловые размеры порядка  $2^\circ$ , наибольшее искажение угла не превышает одной минуты, чем можно пренебречь.

Перейдем к мелкомасштабным картам, представленным в современных атласах. Они составлены в основном в давно существующих и широко известных проекциях: равноугольной, равнопромежуточной и равновеликой конической, равновеликой азимутальной Ламберта, поперечной цилиндрической Меркатора, полярной и косо́й стереографической, псевдоцилиндрической Эккерта, двуазимутальной, двухэвидистантной и некоторых других [8, 9].

В последнее время в картографии все большее применение находят внешние перспективные проекции, позволяющие отображать географическую

ситуацию в виде, в котором она представляется с самолета или ИСЗ. Вообще говоря, эти проекции, а точнее, эта проекция с переменным параметром, зависящим от удаления точки зрения, является той, в которой мы видим любой объект окружающего нас мира. Представляется, что со временем роль ее будет возрастать, особенно при использовании автоматизированных систем картографического отображения.

Что касается других требований, то в условиях компьютеризации они также получают новую оценку. Сводится до нуля значение требования простоты построения географической сетки. В качестве заданной формы границы карты может выступать рамка экрана дисплея, а наименьшие искажения изображения могут быть достигнуты путем максимального приближения вогнутости экрана форме земной поверхности в определенном масштабе.

Для карт средних масштабов значительно упрощаются расчеты, связанные с поиском оптимальных проекций при условии минимизации дифференциальных или интегральных искажений [2].

Наиболее впечатляющие возможности открываются при построении электронных карт. Последние не только отражают динамику реальной ситуации, но и легко адаптируются в целях облегчения визуального решения задач сравнения и выбора с использованием функционально целевых проекций, например, ортогиперболической, масштаб изображения которой в каждой точке и по любому направлению зависит от погрешности определения места корабля по данному направлению. Это позволяет, наряду с использованием другой навигационной информации, быстро выбрать оптимальный маршрут перехода корабля в сложных условиях плавания [2]. В процессе ведения диалога между потребителем картографической информации и автоматизированной информационной системой возможны и многие другие направленные адаптации проекций к решаемым задачам.

Таким образом, можно утверждать, что независимо от перспектив и темпов постепенной замены традиционных картографических материалов электронными картами и геоинформационными системами сохраняют свое значение многие другие направления картосоставления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ющенко А. Картография. Л. М.: Изд. Главсевморпути, 1953. 299 с.
2. Сорокин А. И. Морская картография. Л.: ГУНиО МО, 1985. 254 с.
3. Сорокин А. И. О проекции морской обзорной карты//Морской сборник. 1978. N 3. С. 58–59.
4. Алейнер А. З., А. Н. Ларионова, В. Г. Чуркин. Герард Меркатор. М.: Гос. изд. геогр. лит., 1962. 79 с.
5. Каврайский В. В. Избранные труды. Том II. Вып. 1. Л.: УНГС ВМФ, 1958. 319 с.
6. Вахрамеева Л. А., Л. М. Бугаевский, З. Л. Казакова. Математическая картография. М.: "Недра", 1986. 286 с.
7. Сорокин А. И. Теоретические основы гидрографических исследований. Л.: ГУНиО МО, 1972. 196 с.
8. Times Atlas of the World. New generation edition. London. Times books, 1999. 143pp.
9. Атлас мира. Дорлинг Киндерсли. Лондон. Нью-Йорк. Штутгарт. М. "Слово", 1999. 338 с.

### ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛАПЛАСА

**Б.Е. ИВАНОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Рассматриваются особенности решения навигационных задач в случае, когда погрешности выработки навигационных параметров подчиняются распределению Лапласа. Получены и проанализированы зависимости для статистических характеристик суммарной погрешности выработки навигационных параметров. Составляющие эту погрешность частные погрешности подчиняются распределению Лапласа.*

При решении навигационных задач широко применяется нормальное распределение погрешностей выработки навигационных параметров. В то же время, в работе [1] в качестве закона распределения этих погрешностей предлагается использовать распределение Лапласа. Это распределение уже нашло применение в некоторых методиках [2].

Использование распределения Лапласа при решении навигационных задач имеет ряд особенностей по сравнению с нормальным распределением. При использовании нормального распределения изолиния плотности распределения погрешности определения места представляет собой эллипс, а при использовании распределения Лапласа – параллелограмм [3]. Решение навигационных задач, связанных с интегрированием плотности распределения погрешности, значительно проще выполняется при использовании распределения Лапласа, чем при использовании нормального распределения, которое вызывает необходимость применения численного интегрирования [4]. При нормальном распределении погрешностей выработки навигационных параметров погрешность определения места в любом произвольном направлении также будет подчиняться нормальному распределению, а в случае распределения Лапласа такая погрешность будет иметь распределение Лапласа только в двух направлениях [3].

В морской навигации часто рассматривается суммарная погрешность выработки навигационных параметров, представляющая собой сумму частных погрешностей. Если последние будут подчиняться нормальному распределению, то такому же виду распределения будет подчиняться и суммарная погрешность. Соотношение между законами распределения суммарной и частной погрешностей при использовании распределения Лапласа неизвестно. Решение задачи, направленной на получение такого соотношения, рассматривается ниже.

Пусть частные погрешности  $x$  и  $y$  выработки навигационного параметра являются независимыми случайными величинами, подчиняются распределению Лапласа и, согласно [5], имеют плотности распределения

$$\left. \begin{aligned} f(x) &= \frac{1}{2} \alpha e^{-\alpha|x-M_x|}; \\ \varphi(y) &= \frac{1}{2} \beta e^{-\beta|y-M_y|}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры распределения Лапласа;

$M_x$  и  $M_y$  – математические ожидания частных погрешностей  $x$  и  $y$  соответственно.

В соответствии с [5] параметры распределения Лапласа связаны со средними квадратическими отклонениями (СКО)  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  частных погрешностей  $x$  и  $y$  соотношениями  $\alpha = \sqrt{2}/\sigma_x$  и  $\beta = \sqrt{2}/\sigma_y$ .

Суммарная погрешность  $z$  представляет собой сумму частных погрешностей  $x$  и  $y$ . Тогда на основании теорем сложения математических ожиданий и дисперсий [6] математическое ожидание  $M_z$  и СКО  $\sigma_z$  систематической погрешности будут равны

$$M_z = M_x + M_y;$$

$$\sigma_z^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2.$$

Исходя из формулы композиции законов распределения [6], получим выражение плотности распределения суммарной погрешности в общем виде

$$\phi(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\varphi(z-x)dx. \quad (2)$$

Подставив формулы (1) в равенство (2), после преобразования получим

$$\phi(z) = \frac{1}{2} \frac{\alpha\beta}{\alpha^2 - \beta^2} \left[ \alpha e^{-\beta|z-M_z|} - \beta e^{-\alpha|z-M_z|} \right]. \quad (3)$$

При  $\alpha = \beta$ , в соответствии с правилом Лопиталя, формула (3) преобразуется к виду

$$\phi(z) = \frac{1}{4} \alpha [1 + \alpha(z - M_z)] e^{-\alpha|z-M_z|}.$$

Формула (3), выражающая плотность распределения суммарной погрешности, не относится к распределению Лапласа, но является алгебраической суммой плотностей распределения Лапласа с соответствующими коэффициентами. Продифференцировав эту формулу по  $z$ , получим производную плотности распределения суммарной погрешности

$$\frac{d\phi}{dz} = -\frac{1}{2} \operatorname{sgn}(z - M_z) \frac{\alpha^2 \beta^2}{\alpha^2 - \beta^2} \left[ e^{-\beta|z-M_z|} - e^{-\alpha|z-M_z|} \right], \quad (4)$$

где  $\operatorname{sgn}(z - M_z)$  – оператор определения знака выражения  $z - M_z$ .

При  $\alpha = \beta$  формула (4) преобразуется к виду

$$\frac{d\phi}{dz} = -\frac{1}{4} \alpha^3 (z - M_z) e^{-\alpha|z-M_z|}.$$

Производная плотности распределения частной погрешности, полученная дифференцированием первой из формул (1), равна

$$\frac{df}{dx} = -\frac{1}{2} \operatorname{sgn}(x - M_x) \alpha^2 e^{-\alpha|x-M_x|}. \quad (5)$$

Из анализа выражений (4) и (5) следует, что производные плотности распределения суммарной и частной погрешностей существенно различаются. При значении погрешностей, равном их математическому ожида-

нию, производная для частной погрешности терпит разрыв, изменяя значение от  $+\alpha^2/2$  до  $-\alpha^2/2$ , а производная для суммарной погрешности непрерывна и равна нулю.

**Эксцесс суммарной погрешности**

$\sigma_x/\sigma_y$	$E_z$
0,0	3,000
0,1	2,941
0,2	2,778
0,3	2,545
0,4	2,287
0,5	2,040
0,6	1,832
0,7	1,676
0,8	1,572
0,9	1,517
1,0	1,500

Используя полученную в [6] зависимость с учетом выражения (3) найдем эксцесс суммарной погрешности

$$E_z = 3 \frac{\alpha^4 + \beta^4}{(\alpha^2 + \beta^2)^2}. \quad (6)$$

По этой формуле были вычислены значения эксцесса суммарной погрешности в зависимости от отношения  $\sigma_x/\sigma_y$ . СКО частных погрешностей (таблица).

Из таблицы видно, что эксцесс суммарной погрешности изменяется от 1,5 до 3. Последнее значение соответствует эксцессу частной погрешности, подчиняющейся распределению Лапласа [5].

Рассмотрим функцию распределения  $F(z)$  суммарной погрешности, для чего прежде всего получим центрированную суммарную погрешность  $z^* = z - M_z$  и определим вероятность  $P(z^*)$  попадания значений этой погрешности в интервал от 0 до  $z^*$ .

Проинтегрировав выражение (3) при  $M_z = 0$  на этом интервале, получим

$$P(z^*) = \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^2 - \beta^2} \left[ \alpha^2 (1 - e^{-\beta z^*}) - \beta^2 (1 - e^{-\alpha z^*}) \right]. \quad (7)$$

При  $\alpha = \beta$  данное выражение преобразуется к виду

$$P(z^*) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} e^{-\alpha z^*} - \frac{1}{4} \alpha z^* e^{-\alpha z^*}.$$

Тогда функция распределения будет равна

$$F(z) = \frac{1}{2} + \operatorname{sgn}(z - M_z) P(|z - M_z|).$$

Полученные статистические характеристики суммарной погрешности выработки навигационного параметра следует учитывать при решении навигационных задач в случае, когда частные погрешности подчиняются распределению Лапласа.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Кондрашихин В. Т. Определение места судна. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1989. 230 с.
2. Методики вероятностных расчетов при решении навигационных задач на кораблях и судах ВМФ (МВР-96). СПб.:ГУНиО МО, 1999. 218 с.
3. Иванов Б. Е. Оценка точности определения места при использовании распределения Лапласа//Навигация и гидрография. 1996. N 2. С. 66-72.
4. Беляев Б. Н., Иванов Б. Е. К вопросу использования распределения Лапласа в навигации//Навигация и гидрография. 1996. No 3. С. 43-44.
5. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям. СПб.: ВМА им. Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова, 1996. 282 с.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. 3-е изд., испр. М.: Наука, 1964. 576 с.

---

# НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

---

---

ГРНТИ 78.25.31.35.29.29.29.35

## **ОТ РАДИООПТИЧЕСКИХ СЕКСТАНОВ К МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПЕРИСКОПНЫМ КОМПЛЕКСАМ**

**В.Г. ПЕШЕХОНОВ,  
В.М. ЗИНЕНКО,  
В.Ф. САВИК,  
В.Е. ЯНУШКЕВИЧ**

(ФГУП ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор")

*Кратко характеризуется комплекс исследований ЦНИИ "Электроприбор", выполненных в 1960–1998 гг. в обеспечение разработки первого отечественного многофункционального перископного комплекса "Гарус-98". Приводятся основные данные командирского перископа и оптронной мачты, входящих в этот комплекс.*

В 60-е годы в связи с повышением требований к навигационному обеспечению подводной лодки (ПЛ) выявилась необходимость резкого повышения эффективности использования средств астрокоррекции автономных гироскопических навигационных комплексов. Традиционные автономные средства коррекции – астрооптические измерительные перископы – не обеспечивали требуемую вероятность использования из-за существенных метеорологических ограничений по видимости звезд.

В результате исследований и разработок, выполненных ЦНИИ "Электроприбор" при участии ряда промышленных и военных организаций было создано нескольких поколений нового средства высокоточной морской автономной навигации – радиоастрооптикотелевизионных систем (радиооптических секстанов). Эти приборы обеспечивают измерение угловых координат Солнца, Луны и навигационных ИСЗ при работе в радиодиапазоне независимо от метеоусловий, а также звезд в оптическом диапазоне в светлое и темное время суток. В процессе их создания был выполнен цикл теоретических и прикладных исследований в области радиофизики и радиоастрономии. В итоге удалось решить целый ряд научных и инженерных вопросов, в том числе:

- разработать методы и средства пространственно-частотной фильтрации фонового радиоизлучения атмосферы, создать высокочувствительные приемные устройства для радиометрического приема сверхслабых сигналов;
- исследовать оптические свойства атмосферы, фона неба и разработать методы селекции излучения звезд, разработать телевизионную фотоприемную аппаратуру, исследовать влияние динамики движения изображения при пеленговании;

- разработать методы и устройства высокоточной пространственной гироскопической стабилизации с использованием безредукторных следящих систем;
- создать базовые конструкции перископных систем с учетом требований герметизации и гидродинамики.

Основная составная часть радиооптического секстана – перископический визирный прибор, головная часть которого при нахождении ПЛ на перископной глубине выдвигается для проведения обсервации над поверхностью моря. При проведении обсервации визирный элемент радиооптического секстана наводится на астроориентир по расчетным данным угла места и азимута, которые преобразуются с учетом углов качки, получаемых от гировертикали, в приборные углы наведения. Сигнал от радиоприемного или фотоприемного устройства обеспечивает слежение – коррекцию наведения.

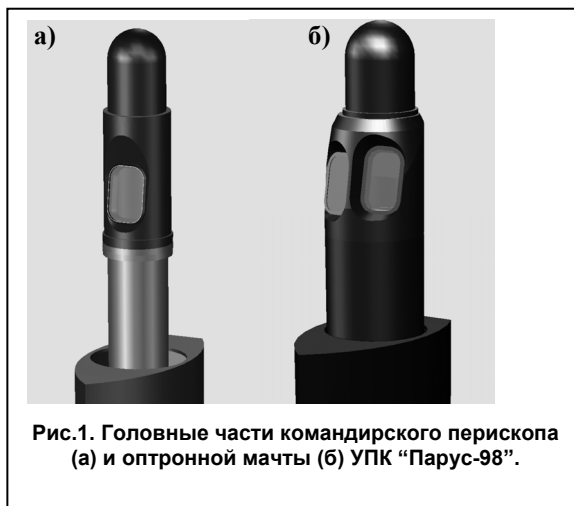
Во второй половине XX столетия эволюция техники радиосекстанов нескольких поколений заключалась:

- в комплексировании оптических, оптоэлектронных и радиоэлектронных каналов приема и обработки информации, систем гироскопической стабилизации и прецизионного углового сопровождения;
- в повышении точности измерения угловых координат ориентиров.

Достигнутое пятнадцатикратное повышение точности астроопределений обеспечило эффективное решение задачи коррекции навигационных комплексов, в том числе в Арктическом бассейне.

Реализованные технические решения и накопленный научно-технический опыт ЦНИИ "Электроприбор" в области перископных радиооптических секстанов были широко использованы в работах по проектированию современного отечественного перископного комплекса. Подобные комплексы, так же как и радиооптические секстаны, представляют собой многофункциональные устройства, интегрирующие в своем составе радиотехнические, оптические, оптикоэлектронные и гироскопические системы. Они включают, наряду с традиционными визуальными оптическими каналами, наблюдения, телевизионные ночные и дневные системы, тепловизионные системы, лазерные дальномеры, антенные системы, радиоприемные устройства и гироскопические системы наведения и стабилизации линии визирования.

В зарубежной технике наблюдательных перископов традиционно существует функциональное разделение их на два типа: перископ атаки и перископ поиска.





Перископ атаки (ПА) используется для оперативной оценки надводной и воздушной обстановки. Основным каналом ПА является визуально-оптический канал окулярного наблюдения оператором, что определяет основную его конструктивную особенность – “проникающую” через основной корпус ПЛ трубу перископа с оптической системой, передающей изображение на окуляры наблюдения. Визуальный канал дополняется телевизионной системой ночного наблюдения и малогабаритной радиоэлектронной системой обнаружения внешних радиотехнических средств.

Перископ поиска (ПП) включает значительно больший комплект датчиков внешней информации. При отсутствии видимости традиционным визуальным каналом он обеспечивает возможность наблюдения за счет использования главным образом тепловизионной и телевизионной систем. Прогресс в области электронных средств наблюдения позволил перейти для ПП на новую конструктивную схему построения, обеспечивающую размещение выдвигаемого прибора полностью в ограждении ПЛ без использования проникающей в основной корпус трубы. Перископы такого типа (по зарубежной терминологии – оптронные мачты) вытесняют в зарубежном перископостроении традиционные, проникающие в основной корпус, конструкции окулярного наблюдения. Разработанный ЦНИИ “Электроприбор” перископный комплекс “Парус-98” включает в себя перископ классического проникающего типа (командирский перископ) и перископ типа “оптронной мачты” (рис. 1) с чисто оптоэлектронными датчиками информации. При его создании реализован ряд принципиально новых для отечественного перископного приборостроения технических решений в части:

- создания тепловизионного канала;
- создания малогабаритного канала обнаружения и анализа внешних радиосигналов с использованием сверхширокополосных радиоприемных устройств высокой интеграции и микропроцессоров анализа и обработки информации;
- создания прецизионных безредукторных цифровых систем наведения и пространственной стабилизации с использованием специализированных микропроцессоров и нового поколения разработанных специализированных моментных двигателей и датчиков угла;
- использования для пространственной стабилизации линии визирования миниатюрных и высоконадежных волоконно-оптических гироскопов;
- создания нового поколения телевизионных каналов наблюдения с цифровой обработкой видеоинформации;
- использования в перископах мультипроцессорной распределенной системы управления и обработки информации;
- конструктивного исполнения герметичного выдвигаемого прибора перископа, обеспечивающего его размещение полностью вне основного корпуса ПЛ (т. н. оптронная мачта);
- использования в конструкции перископов гидродинамических обтекателей, снижающих вибрационные нагрузки на аппаратуру и позволяющих обеспечить повышенную скорость хода, при которой может использоваться перископный комплекс.

Командирский перископ комплекса “Парус-98” включает в себя:

- визуальный оптический канал с переменным увеличением (от  $\times 1,5$  до  $\times 12$ );
- телевизионный ночной канал (поле зрения  $12,5^\circ$ );
- систему обнаружения излучения радиотехнических средств.

Универсальный перископ непроникающего типа (оптронная мачта) включает в себя:

- телевизионный дневной (цветной) и ночной (черно-белый) каналы с переменным полем зрения (от  $32$  до  $5^\circ$ );
- тепловизионный канал ( $\lambda = 8-12$  мкм) с переменным полем зрения ( $9 \times 2^\circ$ ;  $3 \times 4^\circ$ );
- лазерный дальномер ( $\lambda = 1,54$  мкм);
- систему обнаружения излучения радиотехнических средств;
- антенну с антенным усилителем приема сигналов спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS.

В целом реализуемые технические характеристики универсального перископного комплекса “Парус-98” позволяют ликвидировать существующее отставание отечественной перископной техники от современных зарубежных образцов.

---

# СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

---

ГРНТИ 47.43

## **ОЦЕНКА ЗАТУХАНИЯ И ИСКАЖЕНИЯ РАДИОВОЛН СВЕРХДЛИННОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА МОРСКИМ ЛЕДЯНЫМ ПОКРОВОМ**

**Д.Л. ЩЕННИКОВ**  
(ГУНиО МО РФ)

*Рассматривается влияние морского дрейфующего льда на характеристики электромагнитных волн, приходящих от бесконечно удаленных источников. Оценивается коэффициент затухания электромагнитных волн в морском дрейфующем льду.*

Основным средством управления силами и оружием является связь. Опыт боевой подготовки и боевой службы показывает, что роль и значение связи в управлении силами и оружием постоянно возрастают. Наиболее значительна при этом роль радиосвязи, которая не только является основным, но часто и единственным средством управления, а также широко используется в навигации.

В военно-морском флоте в общем случае применяются средства радио, радиорелейной, тропосферной, оптической, космической, гидроакустической, проводной, подвижной и зрительной связи. Этими средствами обеспечиваются следующие виды связи: телефонная, телеграфная, фото-телеграфная и телекодированная. Причем для конкретных условий роль тех или иных средств определяется их способностью удовлетворить требованиям, предъявляемым со стороны управления к надежности, скорости, достоверности и скрытности связи.

Достоинства и недостатки тех или иных средств связи и радионавигации чаще всего определяются диапазоном используемых частот. Сегодня в основе классификации электромагнитных волн (ЭЛМВ) по диапазонам лежат различия в их физическом происхождении, способах генерации и условиях распространения. Согласно этим особенностям все ЭЛМВ делятся на четыре диапазона:

- радиодиапазон ( $3 - 3 \times 10^{12}$  Гц);
- оптический диапазон ( $3 \times 10^{12} - 10^{16}$  Гц);
- рентгеновский диапазон ( $10^{16} - 10^{19}$  Гц);
- гамма-диапазон (более  $10^{19}$  Гц).

Большое значение при распространении радиоволн имеет земная атмосфера, т. к. в зависимости от ее состояния радиоволны испытывают различное поглощение, преломление и рассеивание. В общем случае радиоволны могут распространяться как поверхностные и пространственные. Причем их

способность распространяться вдоль земной поверхности за счет рефракции определяется длиной волны. Чем она больше, тем сильнее проявляется способность радиоволн огибать препятствия и распространяться в качестве поверхностных [1].

Важной особенностью радиоволн является их способность проникать в толщу воды и обеспечивать связь с погруженными объектами (причем эта способность возрастает при увеличении длины волны). Для оценки затухания воспользуемся известным положением теории электродинамики, согласно которому электромагнитное поле (ЭМП) затухает на расстоянии  $z_o$ , на котором амплитуды электрического  $E$  и магнитного  $H$  векторов уменьшаются в  $10^6$  раз; так, например, для  $E$  имеем

$$\frac{E_o}{E_z} = \frac{E_o}{E_o \cdot e^{-\beta z_o}} = 10^6,$$

где  $\beta = \sqrt{\frac{\omega \mu_o \sigma_B}{2}}$  – коэффициент затухания;

$\omega$  – круговая частота приложенного поля,  $c^{-1}$ ;

$\mu_o$  – магнитная проницаемость воздушной среды, Гн/м;

$\sigma_B$  – электрическая проводимость воды, см/м.

Для частоты 100 Гц –  $\beta \approx 0,0345$  и  $z_o \approx 400$  м. Естественно, что с ростом частоты коэффициент затухания также возрастает, и следовательно, в морской воде на расстояния, сравнимые по величине с размерами подводных объектов, могут распространяться лишь ЭЛМВ диапазона частот 1–100 Гц.

Необходимо отметить, что глубина подводного приема во многом зависит от солености воды, определяющей ее проводимость. Чем ниже соленость воды, тем меньше ее проводимость и больше возможная глубина приема. В морских акваториях северных районов на качество радиосвязи определенное влияние оказывает ледяной покров. Оценим затухание и искажение ЭЛМВ морским дрейфующим льдом.

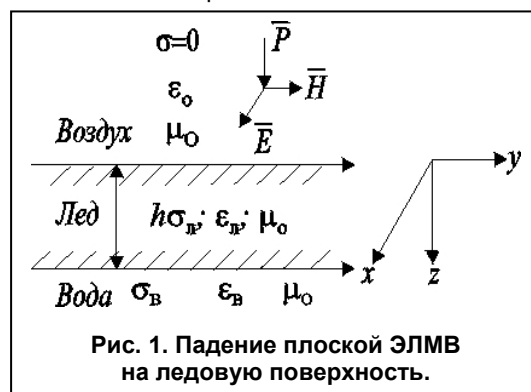


Рис. 1. Падение плоской ЭЛМВ на ледовую поверхность.

Рассмотрим трехслойную систему "атмосфера – морской ледяной покров – морская вода". Распространение ЭМП в трехслойной среде определяется системой классических уравнений Максвелла и граничными условиями, связанными с непрерывностью на границах раздела касательных составляющих компонент  $E$  и  $H$  ЭМП. Примем, что верхняя и нижняя границы поверхности ледяного покрова идеально ровные, т. е. рассеяния энергии не происходит. В связи со значительным удалением источника, ЭЛМВ, падающую на ледовую поверхность, в первом приближении можно считать плоской. Вектор Умова-Пойнтинга  $\bar{p}$  такой волны будет направлен, как показано на рис. 1 [2].

Применяя в случае однородной среды к первому уравнению Максвелла операцию  $rot$  и воспользовавшись вторым уравнением, получим

$$\begin{aligned} rot\ rot\ \bar{H} &= (\sigma + j \cdot \omega \cdot \varepsilon) \cdot rot\ \bar{E} = -(\sigma + j \cdot \omega \cdot \varepsilon) \cdot j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \bar{H} = \\ &= \omega \cdot \mu \cdot (\omega \cdot \varepsilon - j \cdot \sigma) \cdot \bar{H}, \end{aligned}$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м;  
 $j$  – мнимая единица.

Используя векторное тождество  $rot\ rot\ \bar{A} = grad\ div\ \bar{A} - \nabla^2\ \bar{A}$  и третье уравнение Максвелла в виде  $div\ \bar{H} = 0$ , получим

$$\nabla^2\ \bar{H} + \omega \cdot \mu \cdot (\omega \cdot \varepsilon - j \cdot \sigma) \cdot \bar{H} = 0. \quad (1)$$

Уравнение (1) является дифференциальным уравнением для составляющей  $H$  ЭЛМВ в однородной проводящей среде.

Предполагая, что интенсивность поля зависит только от координаты  $z$ , для  $H_y$  имеем

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} + k^2 \cdot H_y = 0, \quad (2)$$

где  $k = \sqrt{\omega^2 \cdot \mu \cdot \varepsilon - j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \sigma}$  – волновое число. (2')

Граничными условиями для системы уравнений  $H_{y_l}$  и  $H_{y_e}$  являются при  $z = 0$ :  $H_{y_l} = H_o$ ;

при  $z = h = h_l$ :  $E_{x_l} = E_{x_e}$  или  $\frac{dH_{y_l}}{dz} = \frac{\sigma_l + j \cdot \omega \cdot \varepsilon_l}{\sigma_e} \cdot \frac{dH_{y_e}}{dz}$ ;

при  $z = h = h_l$ :  $H_{y_l} = H_{y_e}$ .

Решая уравнение (2) при данных граничных условиях и принимая во внимание порядки величин  $\mu, \varepsilon$  и  $\sigma$  [3, 4] всех сред, получим

$$H_{y_l} = H_o \left[ 1 - \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_o}{2\sigma_e}} (\sigma_l + \omega \varepsilon_l) z - j \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_o}{2\sigma_e}} (\omega \cdot \sigma_l - \sigma_l) z \right] = \quad (3)$$

$$\begin{aligned} &= H_o \left[ 1 - \sqrt{f} \cdot 10^{-3} (10^{-6} + 5f \cdot 10^{-5}) z \right] - j \left[ \sqrt{f} \cdot 10^{-3} (5f \cdot 10^{-5} - 10^{-6}) z \right]. \\ \varphi_{H_{y_l}} &\approx -f^{-3/2} \cdot 10^{-7} z. \end{aligned} \quad (4)$$

$$E_{x_l} = H_o \left[ \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_o}{2\sigma_e}} - j \cdot \left( \sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_o}{2\sigma_e}} - \omega \cdot \mu_o \right) \right] z. \quad (5)$$

$$|E_{x_l}| \approx 1,3 \cdot \sqrt{f} \cdot 10^{-3} \cdot H_o \approx 3,5 \sqrt{f} \cdot 10^{-6} \cdot E_o. \quad (6)$$

$$\varphi_{E_{x_l}} \approx -arctg(1 - \sqrt{f} \cdot 10^{-2} \cdot z). \quad (7)$$

$$H_{y_e} = H_o \cdot e^{k_o \cdot (1-j)(h-z)}. \quad (8)$$

$$\varphi_{H_{y_e}} = k_o \cdot (h - z). \quad (9)$$

$$E_{x\sigma} = \frac{k_o}{\sigma_\sigma} \cdot H_o \cdot (1-j) \cdot e^{k_o \cdot (1-j)(h-z)}. \quad (10)$$

$$|E_{x\sigma}| = \frac{k_o}{\sigma_\sigma} \cdot H_o \cdot e^{k_o \cdot (h-z)} \approx |E_{xл}| \cdot 7,7 \cdot 10^2 \cdot \sqrt{\frac{I}{f}} \cdot \frac{k_o}{\sigma_\sigma} \cdot e^{k_o \cdot (h-z)}. \quad (11)$$

$$\varphi_{E_{x\sigma}} = k_o(z-h) - \frac{\pi}{4}. \quad (12)$$

Таким образом, при падении плоской ЭЛМВ на поверхность раздела "атмосфера – морской ледяной покров" магнитная составляющая в слое льда по фазе и амплитуде практически не изменяется, электрическая же составляющая по амплитуде падает на 4÷5 порядков. Результаты расчетов составляющих ЭМП в слое льда и под ним приведены на рис. 2.

Если проанализировать выражение для волнового числа в ледяном покрове, получим

$$k_\lambda = \omega \cdot \sqrt{\mu_o \cdot \varepsilon_\lambda} \left( 1 - j \frac{\sigma_\lambda}{1 \cdot \omega \cdot \varepsilon_\lambda} \right) = \alpha_\lambda - j \cdot \beta_\lambda$$

где  $\alpha_\lambda$  – коэффициент фазы.

Определим значение  $\beta_\lambda$

$$\beta_\lambda = \frac{\sigma_\lambda}{2} \cdot \sqrt{\frac{\mu_o}{\varepsilon_\lambda}} = \frac{10^{-6}}{2} \cdot \sqrt{\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 36\pi \cdot 10^9}{10^6}} \approx 2 \cdot 10^{-7}.$$

Сравнив коэффициенты затухания плоской ЭЛМВ в морской воде и морском льду, имеем

$$\frac{\beta_\lambda}{\beta_\sigma} = \frac{2 \cdot 10^{-7}}{3,45 \cdot 10^{-2}} \approx 6 \cdot 10^{-4}.$$

Следовательно, затухание ЭЛМВ в морском льду на четыре порядка меньше, чем в морской воде.

Таким образом, изменение морским ледяным покровом составляющих ЭЛМВ сверхдлинноволнового диапазона, приходящих от достаточно удаленного источника, подчиняется своим собственным, отличным от зависимостей распространения в атмосфере и морской воде, законам. Из-за аномальных электромагнитных свойств морского льда, можно представить слой льда как некий волновод, подобный подводным звуковым каналам в морской воде, в котором ЭЛМВ должны распространяться на значительные расстояния без заметного затухания.

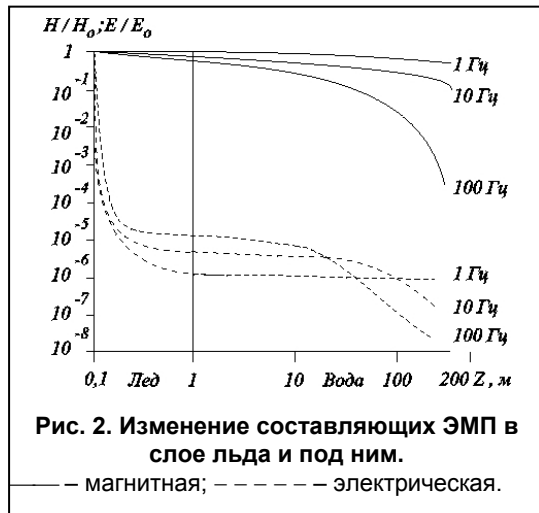


Рис. 2. Изменение составляющих ЭМП в слое льда и под ним.  
— магнитная; - - - - - электрическая.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 2. Электричество. М.: "Наука", 1973.
2. Дмитриев В. И. Общий метод расчета электромагнитных полей в слоистой среде. // Вычислительные методы и программирование, N16. – М., 1968.
3. Богородский В. В., Гаврило В. П. Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии. Л.: Гидрометеиздат, 1980.
4. Щенников Д. Л. Результаты экспериментальных исследований диэлектрической проницаемости в диапазоне частот  $1 \div 100$  Гц. // Проблемы Арктики и Антарктики, N69. – СПб.: Гидрометеиздат, 1994.

ГРНТИ 78.21.41.19

**ПРОГРАММНЫЙ МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ ОШИБОК МНОГОЛУЧЕВОСТИ В СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ПРИЕМНИКАХ**

**Ю.С. ДУБИНКО,  
Т.Ю. ДУБИНКО**  
(С-Пб филиал КБ "НАВИС")

*Погрешности измерения радионавигационных параметров, вызванные многолучевым распространением сигналов спутников, главным образом, ограничивают точность дифференциального режима спутниковой навигации, т.к. они независимы в антеннах потребителей и контрольно-корректирующей станции. Предлагается новый метод программного подавления этих ошибок в приемнике, который отличается простотой реализации, повышенной точностью и высокой надежностью. По материалам этой разработки фирмой "КБ НАВИС" подана заявка на патентование.*

Для объяснения эффекта многолучевости необходимо иметь в виду, что несущая отраженного сигнала близка к несущей частоте прямого. Разность их частот невелика и вызвана разницей доплеровских сдвигов в точках прямого приёма и отражения. Это небольшая разность частот вызывает медленно меняющийся сдвиг фазы отражённого сигнала относительно прямого.

Периодичность этого фазового сдвига оценивается единицами – десятками (до сотен) секунд. Графически на фазовой плоскости это выражается в том, что вектор отраженного сигнала вращается в ту же сторону, что и вектор прямого, почти с такой же скоростью. В общем случае между этими векторами существует фазовый сдвиг  $\varphi$ , который почти линейно нарастает во времени с указанной выше периодичностью переходов через  $2\pi$ .

Сформируем кратко феноменологическую модель влияния многолучевого распространения сигналов на точность измерений в приёмниках спутниковой навигации. Основные её положения, вытекающие из анализа собственных наблюдений и ряда публикаций по этой проблеме, следующие:

1. Отражённые от окружающих антенну местных предметов сигналы всегда задержаны относительно прямого (самого раннего) сигнала на величину  $\tau_{mp}$ , которая зависит от разности хода отражённых сигналов и прямого, и по определению, всегда положительна. Эти отражённые сигналы искажают фронты дальномерных импульсов и смещают фазу несущей, вызывая ошибки слежения за задержкой кода и фазой несущей.

2. Несмотря на то что отражённый сигнал приходит всегда позже прямого, ошибки в дальности и фазе меняют знак в зависимости от сдвига фаз  $\varphi$  прямого и суммарного отражённых сигналов, а именно:

- при  $\varphi=0$  (конструктивная многолучевость) ошибка в дальности достигает максимума, так же как амплитуда полного сигнала и SNRA (амплитудное отношение сигнал/шум), а ошибка слежения за фазой несущей равна 0;
- при  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  ошибка в дальности проходит через нуль, амплитуда и SNRA принимают среднее значение, ошибка фазы положительна;
- при  $\varphi = \pi$  ошибка в дальности отрицательна и экстремальна (деструктивная многолучевость), амплитуда и SNRA достигают минимума, ошибка фазы проходит через нуль;
- при  $\varphi = \frac{3}{2}\pi$  в дальности амплитуде и SNRA то же, что и при  $\frac{\pi}{2}$ , а ошибка фазы отрицательна.

Эти положения иллюстрируются графически на рис. 1.

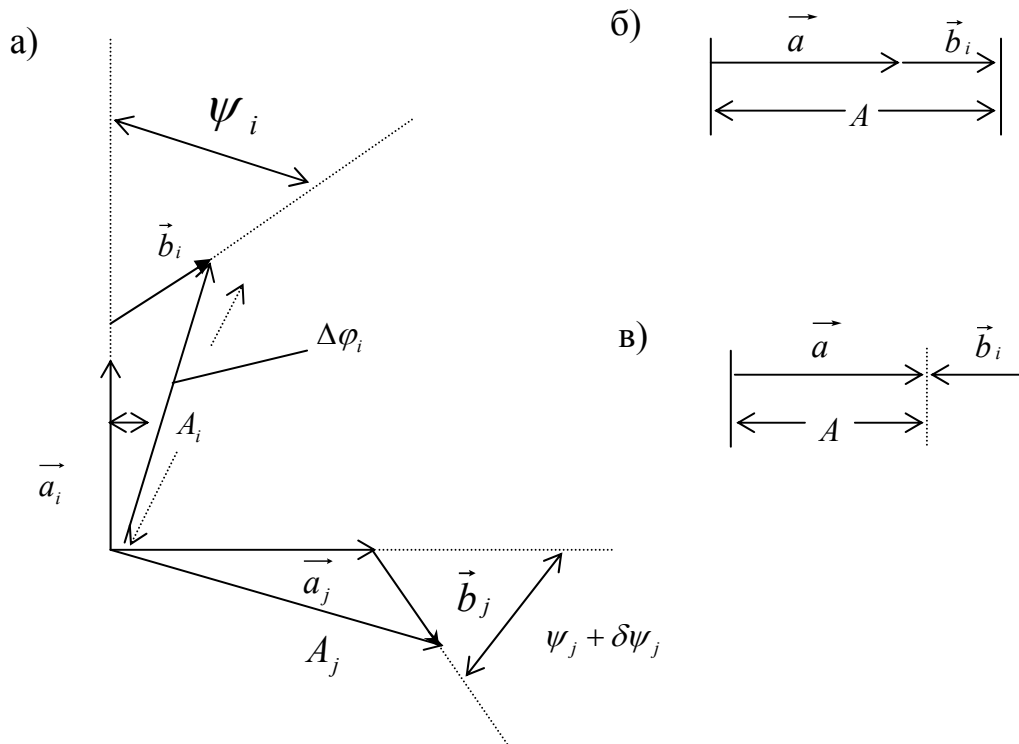


Рис. 1.

Векторные диаграммы прямого и отраженного сигналов:

- а) общий случай;  
 б) конструктивная многолучевость;



- в) деструктивная многолучевость  
 $\vec{a}$  - вектор прямого сигнала;  
 $\vec{\bar{a}}$  - вектор отраженного сигнала;  
 $A$  - модуль суммарной амплитуды;  
 $\psi$  - разность фаз прямого и отраженного сигналов;  
 $\Delta\varphi$  - ошибка слежения за фазой несущей.

1. При любом взаимном пространственном расположении спутника и приёмной антенны возможно существование некоторой ограниченной области окружающего антенну пространства, которые реализует зеркальное отражение сигналов спутника в направлении приёмной антенны (теория микро-рефлекторов, или “блестящих” точек).

2. Область зеркального отражения (мгновенный рефлектор) при взаимном движении спутника и потребителя также перемещается относительно антенны. Это перемещение с учётом реальной предметной обстановки в окрестности антенны может состоять из гладких отрезков траекторий и конечных скачков.

3. Из-за неизбежных потерь сигнала при отражении и затухании отражённого сигнала его амплитуда в антенне всегда меньше амплитуды прямого сигнала и быстро убывает с увеличением расстояния до отражающего центра.

4. Существенный вклад двух и более источников отражений в ошибку измерения дальности и фазы маловероятен, особенно для приёмников с узкостробиным коррелятором, поскольку область отражений, воспринимаемых этим приёмником ограничена кругом с радиусом в 1,5 длины дальномерного строга ( $\approx 45\text{м}$  для GPS и  $75\text{м}$  для GLONASS), хотя в некоторых работах такая возможность не исключается [1], [2]. Однако необходимо отметить, что наличие нескольких отражений существенно усложняет процедуры их обработки, приведённые в названных первоисточниках, а по существу картина, представленная на рис. 1 не меняется (если считать, что  $\vec{\bar{a}}$  - есть суммарный вектор всех отражённых сигналов, который может быть вычислен как геометрическая сумма составляющих).

В дальнейшем вектором  $\vec{\bar{a}}$  будем считать суммарный вектор. Рис. 1 убедительно показывает функциональную связь модуля амплитуды суммарного (с отражениями) сигнала с ошибками как дальномера, так и фазомера (точнее, отклонение этой величины от своего математического ожидания, которым является амплитуда прямого сигнала).

С этой точки зрения названия методов подавления многолучёвости, основанные на обработке отношения сигнал/шум (SNR) недостаточно корректны. Точнее было бы говорить об обработке модуля амплитуды суммарного (с отражениями) сигнала, который отличается от SNR лишь нормировкой на СКП шума (почти константа для конкретного приёмника). Однако указанная выше недостаточная корректность терминологии широко распространена. Это вызвано тем, что большинство приёмников формируют оценку SNR, обрабатывая компоненты I и Q выборки.

Более того, в [1] исходными данными является SNR, выраженное в единицах AMU (Trimble Amplitude Units), из которых затем формируется и обра-

батывается SNRA. Исходные данные в AMU лишь подтверждают функциональную связь эффектов многолучёвости с амплитудой суммарного сигнала.

SNRA в соответствии с [1] проходит полный спектральный анализ в два этапа – инициализация и уточнение за счёт двукратного применения ANF (Adaptive North Filter) и ALS (Adaptive Least Square), т.е. адаптивных фильтров Норса и способа наименьших квадратов. Полученные таким образом оценки амплитуд, частот и начальных фаз отражённых сигналов используются для вычисления фазовой ошибки  $\Delta\varphi$ . Другими словами, используется не корреляция между SNR и  $\Delta\varphi$ , а реконструкция их функциональной зависимости с использованием оценок вышеназванных параметров и замыканием следящего контура SNR через эту реконструкцию (вторая итерация ANF и ALS).

Метод, предлагаемый в [2], ещё более сложен и ресурсоёмок в программной реализации.

Во-первых, он требует построение банка корреляторов с различными задержками опорных сигналов (MEDLL – Multipath Estimating Delay Lock Loop), выходы которых суммируются с весами, вычисляемыми с помощью двойного суммирования и компенсируют смещение пика ВКФ (взаимно корреляционной функции принятого сигнала и его копии), вызванное многолучёвостью. Компенсация достигается обратным смещением точки пересечения нуля дискриминационной характеристикой. Используется также анализ амплитуд через т.н. “strength parameter x” – добавки мощности отражённых сигналов к мощности прямого.

В настоящей работе предлагается существенно более простой программный метод подавления многолучёвости. Основанием метода является следующее:

1. Использование изобретения “Некогерентный обнаружитель сигнала в шумах”,<sup>1</sup> в котором формируется оценка модуля амплитуды сигнала. Предлагается фиксировать модуль компоненты I в моменты времени, когда Q проходит через нуль. Тогда можно получить два отсчёта модуля амплитуды за 1 период промежуточной частоты. В связи с тем, что для некогерентных методов компоненты I и Q равноценны (опережающая и запаздывающая) предложенный подход можно улучшить, добавив ещё два отсчёта Q в моменты, когда I проходит через нуль. За этот же период получим 4 отсчёта, практически независимых в широкополосных современных приёмниках с низкой последней промежуточной частотой.<sup>2</sup>

2. Равенство единице формально вычисленного коэффициента взаимной корреляции двух функционально связанных зашумленных процессов. Здесь имеются в виду отклонения модуля амплитуды и ошибок в дальности и фазе от своих математических ожиданий, вызванные многолучёвостью.

3. Заметим, что формирование модуля амплитуды полного (с отражениями) сигнала может быть рационально распределено между аналоговыми и цифровыми процессорами.

Здесь возможны два варианта: сигналы управления аналого-цифровым преобразователем (АЦП) – команды считывания – формируются в аналого-

<sup>1</sup> Подана заявка на патентование.

<sup>2</sup> Заявка на патентование этого способа также подана.

вом процессоре схемой “исключающее или” из знаков текущих ординат квадратурных составляющих (опережающей и запаздывающей). Этими командами являются фронты (и передние и задние) выходного сигнала логической схемы “исключающее или”, либо операция суммирования по модулю два произведения в DSP (цифровой сигнальный процессор), а команды управления считыванием АЦП поступают из DSP в аналоговый процессор.

Если такой подход не реализовывать, то оценка модуля амплитуды может быть получена в производительном DSP обычным способом (как например в [1] и др.).

Оценка модуля амплитуды сигнала.

$$|\tilde{A}| = L \left\{ \sqrt{I^2 + Q} \right\}, \quad (1)$$

L – оператор линейного сглаживания,

I, Q – квадратурные компоненты сигнала.

Запишем выражение для ковариации дальности и амплитуды, вызванных многолучевостью

$$\rho_{DA} = \frac{1}{\sigma_D \sigma_A} M[\delta D_i \delta A_i], \quad (2),$$

где  $\delta D_i$  и  $\delta A_i$  - отклонения дальности и амплитуды от их математических ожиданий (оценок МО).

Оценки математических ожиданий сформируем с помощью  $\alpha$ -БИХ фильтров (экспоненциальный фильтр 1-го порядка с бесконечной импульсной характеристикой и параметром затухания  $\alpha$ )

$$\tilde{m}_{D_i} = (1 - \alpha) \tilde{m}_{D_{i-1}} + \alpha (D_i - \tilde{m}_{D_{i-1}}). \quad (3)$$

Такой же фильтр и для амплитуды:

$$\tilde{m}_{A_i} = (1 - \alpha) \tilde{m}_{A_{i-1}} + \alpha (A_i - \tilde{m}_{A_{i-1}}). \quad (4)$$

Аналогично формируются (фильтруются) оценки СКО этих вариаций (важно только, чтобы постоянная сглаживания  $\alpha$  во всех четырёх фильтрах была бы одной и той же), а именно:

$$\sigma_{D_i} = \left[ (1 - \alpha) \sigma_{D_{i-1}}^2 + \alpha \delta D_i^2 \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (5)$$

$$\sigma_{A_i} = \left[ (1 - \alpha) \sigma_{A_{i-1}}^2 + \alpha \delta A_i^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Поскольку коэффициент взаимной корреляции (2) по определению должен быть равен единице, из этого соотношения находим оценку ошибки дальномера, вызванную многолучевостью, как

$$\delta \tilde{D}_i = \frac{\sigma_{D_i} \sigma_{A_i}}{\delta A_i}. \quad (7)$$

Этот же метод может быть использован и для оценки ошибки полной фазовой дальности (в геодезических задачах). В оценке же текущей фазовой ошибки, вызванной многолучевостью, есть некоторые особенности. В связи с тем, что ошибки дальномера и фазометра практически ортогональны (нулям ошибок дальности соответствует экстремумы ошибок фазы, и наоборот), взаимная корреляции ошибок текущей фазы и модуля амплитуды близка к нулю. Это вызовет неустойчивость оценок по формуле вида (7). Кроме того, функциональная связь ошибки фазы с вариациями амплитуды при сильной многолучевости (амплитуде отражённого сигнала более 0,1 амплитуды прямого) может быть существенно нелинейной. Поэтому для угломерных применений добавим отдельную процедуру оценки ошибки слежения за фазой, вызванной многолучевостью. На рис. 2 представлены случаи сильной и слабой многолучевости.

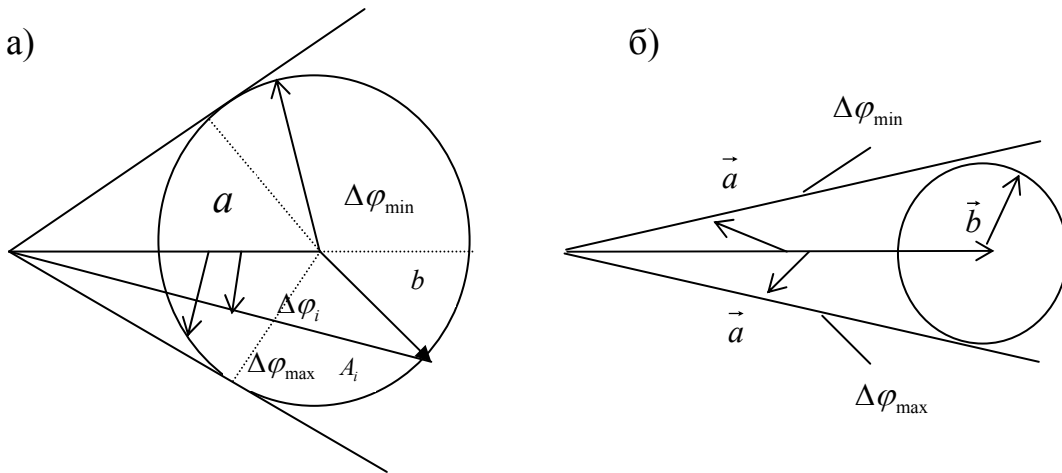


Рис. 2. Векторные диаграммы сильной (а) и слабой (б) многолучевости.

Для слабой многолучевости экстремальные значения ошибок измерения фазы определяются как  $\approx \arctg \frac{|b|}{|a|}$ , концы векторов  $\vec{a}$ , модуль которых совпадает со средним значением, располагается на противоположных концах диаметра окружности, описываемой концом вектора  $\vec{b}$ .

Для сильной многолучевости эти соотношения не выполняются.

Выведем соотношение между текущей фазой вектора  $\vec{b}$ , отсчитываемой от момента времени  $t_m$ , ближайшего к максимуму модуля амплитуды  $A$ , и ошибкой измерения фазы  $\Delta\varphi_i$  для общего случая заметной многолучевости (рис. 3).

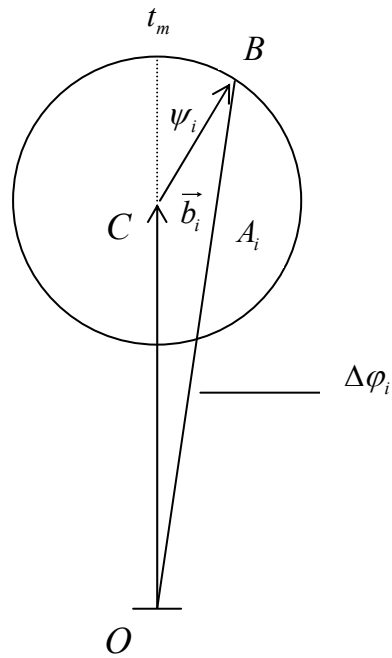


Рис. 3. К выводу формулы для  $\Delta\varphi_i$  ( $t_m$  – момент времени достижения модулем амплитуды максимума).

$$\Psi_i = \Omega_b(t_i - t_m). \quad (8)$$

Из формул связи элементов косоугольного треугольника  $OCB$  (см. рис. 3) следует, что

$$A_i^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos(\pi - \psi_i). \quad (9)$$

С другой стороны,

$$b^2 = a^2 + A_i^2 - 2aA_i \cos \Delta\varphi_i. \quad (10)$$

Подставляя (9) в (10) и обозначая отношение амплитуд отраженного и прямого сигналов  $\frac{b}{a}$  через  $\alpha$ , получим

$$\Delta\varphi_i = \arccos \frac{1 + 2\alpha \cos \psi_i}{\sqrt{1 + \alpha^2 + 2\alpha \cos \psi_i}}, \quad (11)$$

причём очевидно, что  $|\Delta\varphi_i| < \frac{\pi}{2}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Christopher Y. Comp and Penina Axelrad. An adaptive SNR-based carrier phase multipath mitigation technique, Proc. of ION GPS-96. Pp. 683 - 696.
2. Gadallah EL-Sayed A., Meiz Pachter and Steward L. De Vilbiss. Design of GPS Receiver Code and Carrier Tracking Loops for Multipath Mitigation, Proc. of ION-98. Pp. 1041 - 1053.

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПО АЗИМУТАМ И  
ВЫСОТАМ СПУТНИКОВ СРНС НАВСТАР И ГЛОНАСС**

**Г.В. МАКАРОВ,  
В.Ф. КОЧУРОВ,  
А.М. СИМОН**

(ГМА им. адм. С.О. Макарова)

*Предлагается процедура оценки ковариационной матрицы и эллипса ошибок координат точки по азимутам и высотам спутников, использованных для определения точки по СРНС НАВСТАР или ГЛОНАСС.*

К настоящему времени выпущены десятки тысяч приемоиндикаторов спутниковых радионавигационных систем НАВСТАР и ГЛОНАСС. В подавляющем большинстве их не предусмотрена процедура оценки точности координат определяемой точки (местоположения судна). Лишь некоторые приемоиндикаторы последних лет выпуска дают пользователю упрощенную характеристику точности в виде радиальной средней квадратической погрешности (СКП) точки [1]. Необходимость в более полных точностных характеристиках – эллипсах ошибок или эквивалентных им ковариационных матрицах – диктуется потребностью знания распределения ошибок определяемой точки по направлениям.

Ниже предлагается процедура оценки ковариационной матрицы ошибок координат точки и, на ее основе, эллипса ошибок по азимутам и высотам спутников, использованных в сеансе. Практически во всех приемоиндикаторах предусмотрена возможность индикации формуляра, отображающего в полярной системе координат созвездие использованных спутников или числовые значения их азимутов и высот. Расстояния от начала координат до каждого из спутников суть проекции измеренных псевдодальностей на плоскость горизонта наблюдателя или плоскость  $oxy$  топоцентрической системы координат  $x,y,z$ .

Примем за уравниваемые величины проекции  $S_i$  измеренных псевдодальностей  $D_i$ , а за определяемые – координаты наблюдателя  $x, y$ . Тогда исходные уравнения связи будут иметь вид

$$\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} - S_i = 0 ; i = 1, \bar{n},$$

где  $n$  – количество использованных в сеансе спутников;

$x_i, y_i$  – топоцентрические координаты спутников.

В этих уравнениях все аргументы подразумеваются безошибочными или уравненными.

Линеаризуя исходные уравнения в точке наблюдения, получим параметрические уравнения поправок, коэффициенты которых сведем в матрицу

$$B = \begin{bmatrix} \cos A_1 & \sin A_1 \\ \cos A_2 & \sin A_2 \\ \dots & \dots \\ \cos A_n & \sin A_n \end{bmatrix}$$

где  $A_i, i = 1, \dots, n$  – азимуты направлений на спутники.

Очевидно, что веса уравниваемых проекций псевдодальностей будут зависеть от высот спутников и, следовательно, даже при равноточно измеренных псевдодальностях, будут различаться между собой. Выведем формулу для расчета весов  $P_{s_i}$  проекций псевдодальностей.

Проекция  $S$  псевдодальностей на горизонтальную плоскость наблюдателя связаны с псевдодальностями  $D$  зависимостью

$$S = D \cos(h) = D \sin(z),$$

где  $h$  – высота спутника;

$z = 90^\circ - h$  – его зенитное расстояние.

Зенитное расстояние может быть вычислено по известным геоцентрическим прямоугольным координатам спутника и наблюдателя

$$z = \arccos \frac{\Delta Z}{D},$$

где  $\Delta Z$  – разность аппликат спутника и наблюдателя;

$D$  – расстояние между спутником и наблюдателем;

Тогда проекция псевдодальности будет выражена через измеренную псевдодальность как

$$S = D \cos(h) = D \sin\left(\arccos \frac{\Delta Z}{D}\right),$$

а СКП этой проекции

$$m_s = \frac{\partial S}{\partial D} m_D = D \left\{ \cos\left(\arccos \frac{\Delta Z}{D}\right) \frac{\frac{\Delta Z}{D} \frac{1}{D^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\Delta Z}{D}\right)^2}} + \sin\left(\arccos \frac{\Delta Z}{D}\right) \right\} m_D =$$

$$= \frac{m_D}{\sin(z)} = \frac{m_D}{\cos(h)}.$$

Отсюда веса проекций будут рассчитываться по формуле

$$P_{s_i} = \frac{C}{m_{s_i}^2} = \frac{C}{m_{D_i}^2} \cos^2 h_i,$$

где  $C$  – назначаемый произвольный коэффициент.

Учитывая, что в числовых значениях элементов эллипса ошибок определяемой точки достаточно удерживать две значащих цифры, и что погрешности измеренных псевдодальностей вряд ли различаются значительно, можно принять псевдодальности равноточными и рассчитывать веса только в функции высот спутников

$$P_{s_i} = \frac{C}{m_D^2} \cos^2 h_i.$$

Если принять коэффициент  $C = m_D^2$ , то априорное значение средней квадратической ошибки единицы веса  $m_o$  будет численно равно

$$m_o = \sqrt{C} = m_D,$$

а веса будут равны  $P_{s_i} = \cos^2 h_i$ .

Сформируем весовую матрицу  $P$  проекций псевдодальностей. Если принять проекции как некоррелированные величины, эта матрица будет диагональной с элементами на главной диагонали

$$P = \{ \cos^2 h_1 \quad \cos^2 h_2 \quad \dots \quad \cos^2 h_n \}.$$

Тогда, в соответствии с методом наименьших квадратов [2], получим искомую ковариационную матрицу  $K$  координат точки, обратив матрицу коэффициентов нормальных уравнений

$$N = B^T P B;$$

$$K = m_o^2 N^{-1} = m_D^2 N^{-1} = \begin{bmatrix} m_x^2 & K_{xy} \\ K_{xy} & m_y^2 \end{bmatrix},$$

где  $m_x, m_y$  – соответственно СКП абсциссы и ординаты точки;

$K_{xy}$  – корреляционный момент связи погрешностей координат точки.

Вычислив ковариационную матрицу, легко получить по известным формулам [2] элементы эллипса ошибок пункта:

- полуоси эллипса  $a, b$

$$a(b) = \sqrt{0,5 \{ m_x^2 + m_y^2 \pm \sqrt{(m_x^2 - m_y^2)^2 + 4K_{xy}^2} \}},$$

где знак "плюс" перед вторым корнем используется при вычислении большой полуоси  $a$  эллипса, а знак "минус" при вычислении малой полуоси  $b$ ;

- азимут большой оси эллипса  $A_a$

$$A_a = 0,5 \arctg \frac{2K_{xy}}{m_x^2 - m_y^2};$$

- радиальную ошибку точки

$$M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Предлагаемый способ наглядного представления случайных погрешностей может быть рекомендован для использования в учебном процессе, а также при наличии вычислительных средств с соответствующим программным обеспечением для быстрой и всесторонней оценки погрешности обсервованной точки. В перспективе данный алгоритм может быть введен в приемники потребителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. Справочное пособие. М.: ИПРЖР, 1998 г. 400 с.
2. Макаров Г. В. Обработка зависимых величин обобщенным методом наименьших квадратов. М.: В/О "Мортехинформреклама", 1990 г.. 73 с.



ГРНТИ 78.25.25.29.03.15.31.25:78.25.31.35.29.3129.33

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАЗНОВРЕМЕННЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ  
ГЛОНАСС ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОПРАВОК ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СКОРОСТИ**

**А.Р. КОСУЛЬНИКОВ,  
В.В. МАТВЕЕВ**  
(ВМА им. адм. С.О. Макарова)

*Рассмотрена возможность реализации метода разновременных относительных измерений по спутниковой радионавигационной системе при определении поправок измерителей скорости. Приведен математический аппарат априорной оценки точности измерений пройденного судном расстояния на мерном галсе и результаты этой оценки при реализации метода в системе ГЛОНАСС.*

В практике судовождения при определении поправок измерителей скорости возникает необходимость высокоточного измерения отрезков пройденного судном расстояния. Эта задача может быть решена при использовании способа относительных измерений по спутниковой радионавигационной системе (СРНС) ГЛОНАСС.

Одним из условий реализации данного способа является выполнение измерений в двух точках наблюдений по рабочим созвездиям с одинаковым составом космических аппаратов (КА), что позволяет получить координаты точек с одинаковыми систематическими погрешностями. Поскольку погрешности относительных координат являются результатом линейного преобразования всех погрешностей измерений псевдодальностей до КА в обоих пунктах, то при вычитании соответствующих координат одинаковые систематические составляющие погрешностей, обусловленные особенностями распространения радиоволн в ионосфере и тропосфере, а также неточностью эфемеридной информации и синхронизации бортовых шкал времени КА, исключаются. В результате точность определения расстояния между точками наблюдений повышается.

Возможность реализации способа разновременных относительных измерений, когда один потребитель, выполняя наблюдения в разные моменты времени, определяет положение одной точки наблюдений относительно другой, будет ограничиваться во времени продолжительностью наблюдения рабочего созвездия с неизменным составом КА. Априорная оценка этой продолжительности была выполнена с использованием приведенных в [1] зависимостей, определяющих время нахождения КА в зоне радиовидимости аппаратуры потребителя СРНС. Результаты ее показали, что для полностью развернутой орбитальной группировки СРНС ГЛОНАСС продолжительность наблюдения  $T$  рабочего созвездия из  $N$  КА аппаратурой потребителя (АП) с минимальным углом радиовидимости  $5^\circ$  на разных широтах будет находиться в пределах 0–179 мин (табл. 1).

Таблица 1

Продолжительность наблюдений рабочих созвездий СРНС ГЛОНАСС с различным числом КА на разных широтах

Параметр	Широта $\varphi$								
	$\varphi = 0^\circ$			$\varphi = 30^\circ$			$\varphi = 60^\circ$		
$N$	4	5	6	4	5	6	4	5	6
$T_{min}$ , мин	66	60	0	81	11	7	96	80	33
$T_{max}$ , мин	147	114	78	138	91	84	179	164	120

Как правило, время прохождения судном мерного галса не превышает 10 мин, что при определении поправок измерителей скорости для реализации способа одновременных относительных измерений позволяет использовать рабочие созвездия из 4÷6 КА СРНС ГЛОНАСС.

Для исключения из измерений информации от системы КА, видимых только в одной из точек наблюдений, следует провести фиксацию рабочего созвездия в АП на период измерений (выполнения пробега на мерном галсе). Фиксацию единого рабочего созвездия КА на период измерений возможно осуществить, предварительно решив в АП задачу целеуказания на предполагаемые моменты времени начала и окончания пробега на мерном галсе и запретив к использованию в навигационных сеансах информацию от КА с номерами, не повторяющимися в обоих созвездиях.

Если судно определит свои прямоугольные координаты  $x_1, y_1$  и  $x_2, y_2$  соответственно в начале и в конце пробега на галсе по СРНС ГЛОНАСС, то модуль вектора координат конечной точки пробега относительно начальной (вектор относительных координат), равный пройденному расстоянию на пробеге, запишется в виде

$$P_{21} = |x_{21} \quad y_{21}|^T, \quad (1)$$

где  $x_{21} = x_2 - x_1$ ;  $y_{21} = y_2 - y_1$ .

Оценим точность измерений пройденного расстояния методом одновременных относительных измерений по СРНС ГЛОНАСС.

Погрешность измерения  $i$ -й псевдодальности в относительном режиме может быть записана в виде

$$\delta D_{i_{\text{отн}}} = \delta D_{i_2} - \delta D_{i_1} + \delta D_{i_{\text{ост}}}, \quad (2)$$

где  $\delta D_{i_{\text{ост}}}$  – остаточная, не исключенная в операции вычитания, погрешность, обусловленная тем, что не учтены особенности распространения радиоволн в ионосфере и тропосфере, неточностью эфемеридной информации и синхронизации бортовых шкал времени КА;

$\delta D_{i_2}, \delta D_{i_1}$  – случайные (типа белого шума) составляющие погрешностей измерения  $i$ -й псевдодальности, обусловленные проявлением инструментальных погрешностей АП, многолучевостью радиосигнала, а также воздействием помех соответственно в конечной и начальной точках пробега судна на мерном галсе.

Если погрешности в выражении (2) считать случайными и независимыми, дисперсия погрешности  $\delta D_{i_{\text{оми}}}$  может быть записана в виде

$$\sigma_{D_{i_{\text{оми}}}}^2 = \sigma_{D_{i_2}}^2 + \sigma_{D_{i_1}}^2 + \sigma_{D_{i_{\text{осм}}}}^2, \quad (3)$$

где  $\sigma_{D_{i_2}}^2; \sigma_{D_{i_1}}^2; \sigma_{D_{i_{\text{осм}}}}^2$  – дисперсии погрешностей  $\delta D_{i_2}, \delta D_{i_1}, \delta D_{i_{\text{осм}}}$  соответственно.

Предполагая взаимную независимость и одинаковые статистические характеристики погрешностей (2) для различных  $i$ , а также считая неизменным геометрический фактор  $K_{\Gamma}$  на интервале измерений на пробеге, получим зависимость среднего квадратического отклонения (СКО)  $\sigma_{\text{оми}}$  погрешности определения длины пробега от СКО  $\sigma_{D_{\text{оми}}}$  погрешности измерения псевдодальности

$$\sigma_{\text{оми}} = K_{\Gamma} \cdot \sigma_{D_{\text{оми}}}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{D_{\text{оми}}} = \sigma_{D_{i_{\text{оми}}}}$  – определяется из выражения (3);

$K_{\Gamma}$  – геометрический фактор при определении координат места на плоскости.

Оценить  $\sigma_{D_{\text{осм}}}$  можно на основе экспериментальных результатов [2], подтверждающих возможность использования практически линейной зависимости СКО  $\sigma_{D_{\text{осм}}}$  погрешности определения пространственных координат как функции расстояния  $L$  и промежутка времени  $t$  между определениями координат [3, 4]

$$K_{\Gamma_{\text{np}}} \cdot \sigma_{D_{\text{осм}}} = \sigma_0 + vt + bL, \quad (5)$$

где  $\sigma_0 = 2,28$  м;  $v = 1,32 \cdot 10^{-3}$  м/с;  $b = 0,000438$  м/км;

$K_{\Gamma_{\text{np}}}$  – значение пространственного геометрического фактора.

Тогда

$$\sigma_{D_{\text{осм}}} = \frac{\sigma_0 + vt + bL}{K_{\Gamma_{\text{np}}}}. \quad (6)$$

Обработка экспериментальных данных показала [2], что СКО  $\sigma_{\text{анн}}$  погрешности аппроксимации с помощью выражения (6) может характеризоваться для псевдодальности следующим соотношением

$$\sigma_{\text{анн}} = \sigma'_0 \left( 1 - e^{-t/T - L/L_c} \right), \quad (7)$$

где  $\sigma'_0 = 3,66$  м;  $T = 3847$  с;  $L_c = 122,84$  км.

Тогда с учетом (3÷7) СКО погрешности определения длины пробега при реализации способа относительных определений по СРНС ГЛОНАСС может быть оценено соотношением

$$\sigma_{\text{оми}} = K_{\Gamma} \cdot \left[ \sigma_{D_{i_1}}^2 + \sigma_{D_{i_2}}^2 + \left( \frac{\sigma_0 + vt + bL}{K_{\Gamma_{\text{np}}}} \right)^2 + \sigma_{\text{анн}}^2 \right]^{1/2}, \quad (8)$$

где  $\sigma_{D_1}, \sigma_{D_2}$  – СКО погрешностей, обусловленных проявлением инструментальных погрешностей АП, многолучевостью радиосигнала и воздействием помех соответственно в начальной и конечной точках пробега судна на мерной линии.

Так как в начальной и конечной точках пробега используется один и тот же приемник, то правомерно считать, что  $\sigma_{D_1} \approx \sigma_{D_2} = \sigma_D$ , а значения входящих в это выражение параметров  $\sigma_0, v, b$  и  $\sigma_{амп}$  определены выше, согласно (5) и (7).

$K_{\Gamma_{np}}, K_{\Gamma}$  – значения соответственно пространственного геометрического фактора и геометрического фактора при определении координат места на плоскости.

Средние значения геометрических факторов  $K_{\Gamma_{np}}, K_{\Gamma}$  для полной орбитальной группировки СРНС ГЛОНАСС приведены в [5].

Для измерения длины пробега при определении поправок измерителей скорости на мерной линии промежуток времени  $t$  обычно не превышает 10 мин. (600 с), а проходимое судном расстояние на пробеге  $L$  не превышает 5 миль (9,26 км). Для этих условий выражение (8) может быть упрощено и примет вид

$$\sigma_{омн} = K_{\Gamma} \cdot \left[ 2\sigma_D^2 + \frac{9,44}{K_{\Gamma_{np}}^2} + 0,57 \right]^{1/2}. \quad (9)$$

Для современной аппаратуры потребителей СРНС ГЛОНАСС СКО погрешности  $\sigma_D$  составляет 3,3 м [6]. Соответствующие этому значению оценки  $\sigma_{омн}$  для различного числа КА в рабочем созвездии и средних значений геометрических факторов приведены в табл. 2.

**Таблица 2**

Оценки СКО погрешности определения длины пробега при наблюдении различного числа КА СРНС ГЛОНАСС в рабочем созвездии

Параметр	Число $N$ КА в фиксированном рабочем созвездии		
	$N=4$	$N=5$	$N=6$
$K_{\Gamma_{np}}$	2, 45	2, 16	2, 05
$K_{\Gamma}$	1, 41	1, 26	1, 15
$\sigma_{омн}, м$	6, 89	6, 22	5, 70

Таким образом, реализация способа разновременных относительных измерений по СРНС ГЛОНАСС на одном подвижном объекте при определении поправок измерителей скорости позволяет определить длину пробега судна с СКО погрешности  $\sigma_{омн}$  не превышающим  $5,7 \div 6,9$  м. Такая точность определения длины пробега на мерной линии в большинстве случаев будет удовлетворять требованиям по определению поправок измерителей скорости судна.

На практике при определении поправок измерителей скорости с использованием радионавигационных систем измерение навигационных параметров для вычисления обсервованных координат производят сериями из 5÷7 отсчетов через равные промежутки времени как в начале, так и в конце пробега. Между соответствующими обсервациями начальной и конечной серий определяют расстояния  $S_i$  ( $i = 1, \dots, n$ , где  $n$  – количество обсерваций в серии). Осреднение величин  $S_i$  уменьшает погрешность измерений длины пробега на галсе в  $\sqrt{n}$  раз.

При этом временной интервал между обсервациями в серии должен превышать максимальный интервал временной корреляции погрешностей измерения навигационных параметров. Для СРНС ГЛОНАСС интервал временной корреляции случайных погрешностей измерений не превышает 1 с [6], поэтому обсервации по СРНС ГЛОНАСС в серии могут производиться с дискретностью в несколько секунд.

Для случая осреднения  $n$  измерений длины пробега на мерном галсе  $S_i$ , значения СКО погрешностей измерений при реализации способа разновременных относительных измерений по фиксированному созвездию КА СРНС ГЛОНАСС приведены в табл. 3.

**Таблица 3**

СКО погрешности измерений длины пробега на галсе в зависимости от наблюдаемого числа  $N$  КА СРНС ГЛОНАСС и количества обсерваций в серии

Количество обсерваций в серии	СКО, м		
	$N=4$	$N=5$	$N=6$
5	3,08	2,78	2,54
6	2,81	2,54	2,33
7	2,60	2,35	2,15

Сравнение данных табл. 3 с характеристиками средств навигационного оборудования, которые применяются в настоящее время для определения длины пробега судна на мерном галсе, показывает, что СРНС ГЛОНАСС по точности измерений будет уступать лишь радионавигационным системам ГРАС (ГРАС-2). Однако в отличие от них, СРНС сможет обеспечить определения поправок измерителей скорости в любое время, в любой точке Мирового океана без привлечения дополнительных сил и средств обеспечения.

Рассматриваемый способ измерения длины пробега судна на галсе по фиксированному созвездию КА СРНС ГЛОНАСС в настоящее время запатентован [7].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Космические навигационные системы. М. МО РФ, 1994. 632 с.
2. Phillips R. Relative and Differential GPS, System Implications and Innovative Applications of Satellite Navigation. AGARD Lecture Series 207, 1996.
3. Соловьев Ю. А. Точность определения относительных координат и синхронизации шкал времени объектов при использовании спутниковых радионавигационных систем. /Радиотехника № 9. 1998.с. 83.
4. Харисов В. Н., Петров А. И., Болдин В. А. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. М.: ИПРЖР, 1998. 400 с.
5. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. М.: Радио и связь, 1993. 416 с.
6. Анучин О. Н., Емельянцева Г. И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. СПб.: ЦНИИ "Электроприбор", 1999. 356 с.
7. Косильников А. Р., Матвеев В. В. Патент на изобретение №2154258 РФ, 7G01C 21/00, 22/00, G01S 5/2. Способ измерения длины пробега судна на галсе по фиксированному созвездию космических аппаратов среднеорбитальной спутниковой радионавигационной системы/№991199236/28, заявлено 14. 09.1999, опуб. 10.08.2000, бюл. №22. 4 с.

**ПРИЕМНИК ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОПРАВОК СРНС ГЛОНАСС/GPS,  
ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПО РАДИОНАВИГАЦИОННОМУ КАНАЛУ ИФРНС ЧАЙКА (ЛОРАН-С)**

**А.Г. ЗЫКОВ**  
(ФГУП РИРВ)

*Рассматриваются требования, предъявляемые к приемнику дифференциальных поправок СРНС ГЛОНАСС/GPS, транслируемых по радионавигационному каналу ИФРНС "Чайка" (ЛОРАН-С). Приемник предназначен для размещения на объектах со скоростью движения до 500 км/час. Обсуждаются задачи, которые должен решать приемник, рассматриваются его структура и алгоритмы работы, приводятся ожидаемые технические характеристики.*

В настоящее время передающие станции ИФРНС ЧАЙКА и ЛОРАН-С модернизируются для обеспечения передачи дифференциальных поправок (ДП) СРНС ГЛОНАСС/GPS за счет дискретной временной модуляции шести последних радиоимпульсов навигационного пакета. Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в России [1, 2] и в ряде зарубежных стран [3, 4], доказывают высокую эффективность такого канала передачи ДП. Кроме того, в отличие от морских радиомаячных средств передачи ДП, передача их с помощью ИФРНС в значительной мере расширяет область обслуживания пользователей навигационной аппаратуры СРНС в континентальной части земной поверхности. Некоторые известные фирмы [5, 6] проводят разработки новых комплексированных и интегрированных радионавигационных приемников, работающих по сигналам ИФРНС и СРНС. Стоимость таких приемников в зависимости от степени интеграции, выполняемых функций и используемых технологий существенно превосходит стоимость существующих приемников ИФРНС и СРНС. В то же время в мире существует большое количество потребителей, уже имеющих сравнительно недорогие приемники СРНС, способные принимать ДП по каналу RS-232 в формате RTCM SC-104.

Настоящая статья посвящена вопросам создания относительно простого и недорогого приемника ДП СРНС ГЛОНАСС/GPS, передаваемых по радионавигационному каналу ИФРНС ЧАЙКА и ЛОРАН-С.

Анализ технических характеристик существующего парка навигационной аппаратуры потребителей (НАП) позволил определить основные требования к приемнику дифференциальных поправок (ПДП).

Рассматриваемый приемник дифференциальных поправок предназначен для размещения на объектах, скорость движения которых не превышает 500 км/ч и выполняет роль независимого функционального дополнения к комплексу НАП СРНС. Поэтому с целью максимального снижения аппаратных затрат и стоимости приемника представляется целесообразным отказаться от решения в нем навигационной задачи по сигналам ИФРНС\*.

\* Решение навигационной задачи в рамках описываемого ПДП повлекло бы за собой усложнение аппаратных средств как в части формирователя характерной точки радиоимпульса, так и особенно в части организации мощного управляющего вычислителя, используемого для решения всего комплекса задач (первичная и вторичная обработка сигналов и данных) в реальном масштабе времени.

Как показали исследования, ПДП должен отвечать следующим основным требованиям:

- принимать сигналы станции ИФРНС, передающей ДП, с возможностью автоматического или ручного выбора станции;
- работать по сигналам ИФРНС ЧАЙКА и ЛОРАН-С;
- обеспечивать выделение из сигналов ИФРНС информации о ДП с вероятностью не ниже 0,998 при соотношении сигнал/шум в точке приема не менее 7;
- преобразовывать принятую первичную информацию о ДП в формат исходного RTCM SC-104 сообщения, переданного станцией ИФРНС;
- поддерживать обмен информацией с НАП по последовательному каналу типа RS-232 в стандартах NMEA 0183 и RTCM SC-104;
- обеспечивать индикацию своего состояния и возможность управления режимами работы;
- иметь низкое энергопотребление и небольшие габариты.

С учетом этих требований в настоящее время в РИРВ проводится разработка макета ПДП, который обеспечит:

- обмен информацией с НАП ГЛОНАСС/GPS по последовательному каналу передачи данных RS-232 в стандартах NMEA 0183 и RTCM SC-104;
- привязку собственной шкалы времени к сигналам секундной метки точного времени (UTC/UTC-RU), поступающим из приемника СРНС ГЛОНАСС/GPS;
- ввод, коррекцию и хранение регионального или "маршрутного" альманаха станций ИФРНС;
- автоматический выбор цепи ИФРНС и сигнала ближайшей станции, передающей ДП (по данным регионального альманаха ИФРНС);
- поиск сигнала станции ИФРНС, выбранной из альманаха или заданной вручную с пульта управления и индикации (ПУИ) ПДП;
- первичную обработку сигналов заданной станции, демодуляцию и выделение информации о ДП из данных, принятых по каналу ИФРНС;
- преобразование полученных данных о ДП в исходное, переданное наземной станцией ИФРНС, стандартное RTCM SC-104 сообщение (типа 1 или 9) для его передачи по RS-232 в приемник СРНС;
- автоматическое отслеживание координат объекта, их сопоставление с региональным альманахом станций ИФРНС и, если необходимо, автоматический переход к приему и обработке сигналов другой станции (цепи) ИФРНС;
- контроль помеховой обстановки и достоверности информации, предоставляемой пользователю;
- встроенный контроль работоспособности;
- ввод/вывод данных, команд управления и индикацию текущего режима функционирования.

Структурная схема ПДП, реализующего перечисленные функции, приведена на рис. 1.

Альманах ИФРНС представляет собой запрограммированную в ПЗУ вычислителя ПДП "таблицу", содержащую основные характеристики цепей ИФРНС и включает следующие данные:

- период повторения сигналов;

- состав цепи с указанием географических координат станций и признаками излучения ДП СРНС;
- задержки излучения сигналов ведомых станций;
- мощность станций;
- признаки работы станций в совмещенном режиме.

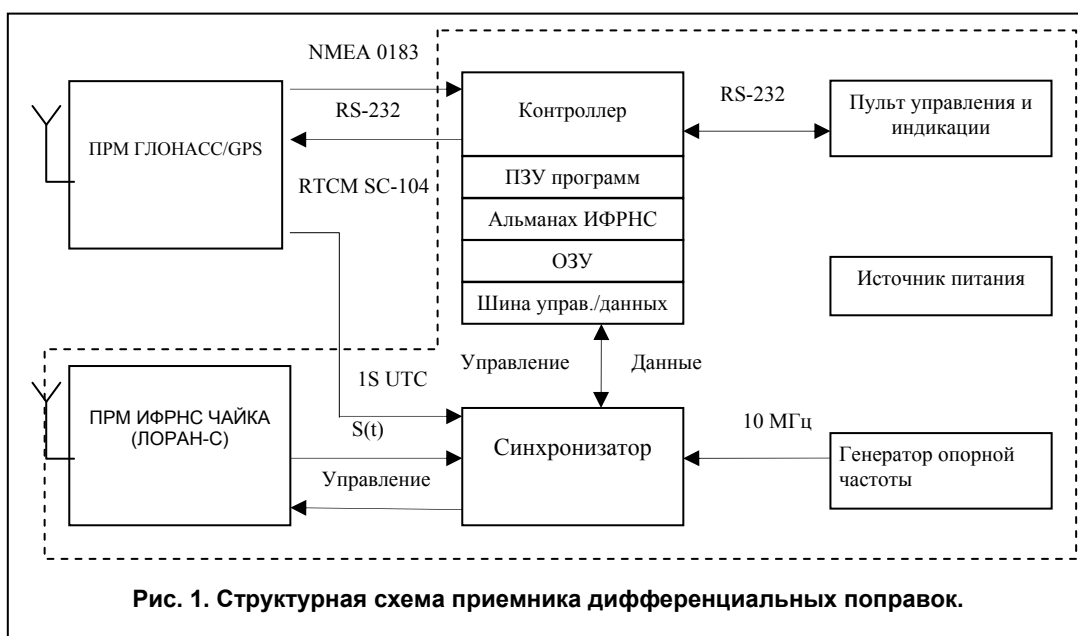


Рис. 1. Структурная схема приемника дифференциальных поправок.

Данные в альманахе для различных цепей ИФРНС, в общем случае, группируются по региональному принципу (например, – "Восточная Европа", "NELS", "Россия (Север)", "Россия (Восток)" и т. д.). Кроме того, альманах может быть запрограммирован и по "маршрутному" принципу (на базе приписки объекта, перед его выходом на маршрут следования).

Работает ПДП по описываемым ниже алгоритмам.

При включении питания автоматически осуществляются: общесистемный "сброс" ПДП, необходимые программные установки, анализ средств встроенного контроля работоспособности, настройка и тестирование внешних каналов связи с НАП СРНС (на наличие информационного обмена и физической секундной метки времени). Результаты тестирования отображаются на экране встроенного табло приемника.

Из НАП СРНС считываются текущие дата, время и координаты объекта, после чего осуществляется обзор альманаха ИФРНС и выбор цепи (цепей) ИФРНС, в зоне действия которой находится объект. После этого производится расчет взаимного расположения объекта относительно станций выбранной цепи и соответствующие задержки распространения сигналов от этих станций до точки приема. Координаты объекта могут быть введены оператором вручную, таким же образом может быть задана к обработке и конкретная станция ИФРНС.

При наличии физической "привязанной" секундной метки времени (от НАП СРНС) следует беспоисковая установка шкалы ПДП по так называемой "эпохе" под сигналы выбранной (заданной) к обработке станции ИФРНС. В



отсутствии метки времени установка шкалы ПДП осуществляется с помощью процедуры "Поиск".

После установки шкалы производится поиск максимума амплитуды принимаемых радиоимпульсов (РИ) с целью выбора рабочей точки на теле сигнала с наибольшим соотношением сигнал/шум (в отличие от решения навигационной задачи, когда рабочая точка выбирается на фронте принимаемых РИ). Дальнейшая обработка каждого РИ ведется по пяти соседним периодам высокочастотного заполнения РИ, расположенным симметрично относительно максимума сигнала.

Ввиду того, что первые два импульса навигационного пакета при передаче ДП не модулируются, процедуры их обработки несколько отличаются от процедур обработки (декодирования информации) шести последних радиоимпульсов навигационного пакета.

В установленном режиме работы ПДП данные, получаемые от первых двух РИ пакета, используются для контроля помеховой обстановки, слежения за положением максимума принимаемого сигнала и удержания рабочих стробов в его окрестности, расчета и коррекции адаптивных порогов и для последующего декодирования информации, содержащейся в сдвигах на  $\pm 1$  мкс шести последних РИ пакета. Кроме того, по первым двум импульсам пакета осуществляется непрерывный контроль достоверности декодирования фазовой манипуляции единичного РИ.

Первичная обработка сигналов и декодирование фазового кода РИ, содержащих информацию о ДП, ведется в реальном масштабе времени в моменты приема пакета. Декодирование, преобразование и трансляция потребителю сообщения содержащего ДП осуществляется в фоновом режиме в паузах между принимаемыми пакетами РИ. Так же в фоновом режиме производится периодическое считывание текущих координат объекта и их сопоставление с альманахом ИФРНС с целью переключения ПДП на обработку сигналов другой станции (цепи) в случае перехода объекта в зону ее действия, то есть в зону с более благоприятными условиями приема радиосигналов.

В течение всего сеанса работы ПДП осуществляет самоконтроль с индикацией текущего состояния и режимов функционирования.

Конструктивно приемник состоит из трех частей: антенны, устройства согласования с антенной и блока ПДП.

В ПДП применен приемник прямого усиления с полосой пропускания 15-20 кГц, чувствительностью 30–50 мкВ и усилителем-ограничителем на выходе, который обеспечивает первичную селекцию и усиление сигналов ИФРНС до уровня необходимого для их обработки цифровыми схемами. Кроме того, приемник содержит схемы АРУ и два режекторных фильтра для подавления узкополосных помех.

В качестве вычислителя в ПДП предполагается использовать общераспространенные 8/16 разрядные микроконтроллеры типа MCS 251, MCS96 и т. п.

Цифровая часть (синхронизатор, схемы управления и т. д.) выполняется на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) типа Altera, Xilinx, Actel, БМК и т. п., как правило, обладающих достаточным числом логических элементов для реализации указанного проекта в рамках одного кристалла.

Средства управления и индикации представляют собой малогабаритную пленочную клавиатуру и 4-х (или 2-х) строчный жидкокристаллический индикатор с информационной емкостью 4x20 (2x20) символов.

Предполагается, что питание ПДП будет осуществляться от сети переменного тока 220 В 50 Гц или бортовой сети постоянного тока 12–27 В. Расчетная потребляемая мощность ПДП не превысит 8 Вт.

В настоящее время в РИРВ создан и проходит проверку макет ПДП, представляющий собой функциональный узел, подключаемый к шине ISA IBM-PC совместимого компьютера и имеющий внешние разъемы для подключения к приемнику ИФРНС (в общем случае к любому, имеющему линейный выход сигнала с амплитудой более 200 мВ) и вход для приема от НАП СРНС секундной метки времени. Подключение к информационным каналам НАП СРНС осуществляется через стандартные СОМ-порты компьютера.

Результаты испытаний макета ПДП, а также экспериментальные работы по передаче данных и исследованию характеристик информационного канала ИФРНС ЧАЙКА, проведенные РИРВ на станциях северо-западной цепи (пос. Туманный Мурманской обл. и г. Инта Коми), позволяют оценить основные технические характеристики создаваемого ПДП:

- **Зона использования ПДП** – на удалении до 500–1000 км от передающей станции ИФРНС (в зависимости от типа подстилающей поверхности, типа и мощности передающей станции, помеховой обстановки в месте приема).

- **Вероятность правильного приема сообщения о ДП** – не ниже 0,998 при соотношении сигнал/шум не менее 7 в полосе приемника 15–20 кГц и воздействии двух узкополосных помех в полосе от 70 до 130 кГц при соотношении сигнал/помеха не менее 0,1.

- **Прием дифференциальных поправок** от станций ИФРНС ЧАЙКА и ЛОРАН-С, передаваемых за счет дискретной равновесной (в пределах одного или нескольких навигационных пакетов) N-уровневой ( $N=3/5$ ) модуляции временного положения шести последних радиоимпульсов навигационного пакета.

- **Время передачи RTCM SC-104 сообщения типа 9 (для одного спутника)** – 16 навигационных периодов ИФРНС (0,64 – 1,6 с для периодов 40000 и 100000 мкс, соответственно).

- **Обмен с НАП СРНС** по двум каналам последовательного обмена RS-232 (в стандартах NMEA 0183 и RTCM SC-104);

- **Варианты исполнения антенны** – штырь (1,5 - 3 м), рамка, шлейф;

- **Питание:**

- от бортовой сети постоянного тока 12–27 В;

- от сети переменного тока 220 В 50 Гц.

- **Потребляемая мощность** – не более 8 Вт;

- **Габаритные размеры** – 220×90×190 мм.

Работы по созданию ПДП планируется завершить к концу 2001 года. К этому же времени должен быть уточнен формат сигналов ИФРНС ЧАЙКА, обеспечивающий передачу дифференциальных поправок СРНС по радионавигационному каналу ИФРНС ЧАЙКА.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ляшко В. Н., Малюков С. Н. Использование сигнала ИФРНС для реализации дифференциальной подсистемы СРНС//3-я НТК "НО-98", (Санкт-Петербург, 20-23 мая, 1998).
2. Аргунов А. Д., Малюков С. Н., Матюшенко А. Д. и др. Формирование и применение интегрального радионавигационного поля//Сборник трудов 2-ой международной конференции "Планирование глобальной радионавигации", т II,(Москва, 24-26 июня, 1997).

3. Offermans G. W. A., Helwig A. W. S., Van Essen R. F., Van Willigen D. Integration Aspects of DGNSS and Loran-C for Land Applications//Proc. of the 53 rd Annual Meeting of the Institute of Navigation in Albuquerque, June 30 – July 2, 1997.
4. B. B Petterson, A. Helwig, G. Offermans, Improvements in Error Rate in Eurofix Communications Data Link via Cross Rate Canceling and Antenna Beam Steering//ION 55-th Annual Meeting, 28-30 June 1999, Cambridge, MA, pp. 9-88.
5. Dr. Dirk Kugler, Ing. Christian Forst. The Potential of hybrid GPS/Loran-C Receiver.//XIV IALA Conference, 9-19 June 1998, Hamburg, Germany, p. 149-165.
6. Навигационные приемники Nav 298 и Nav 398 GPS/LORANS//Internet: <http://www.boat-services.com/products/raytheon/ray298.html> (Реклама фирмы Raytheon).

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29

**ФАЗОВАЯ РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИАПАЗОНА СДВ.  
ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**С.Б. БОЛОШИН,  
А.И. КАБИРОВ,  
С.Б. ПИСАРЕВ,  
Г.А. СЕМЕНОВ  
(ФГУП РИРВ)**

*Рассмотрены основные направления использования функциональных возможностей фазовой радионавигационной системы диапазона СДВ "Альфа" как в навигационном аспекте, так и при использовании её сигналов для решения прикладных и фундаментальных задач в интересах различных потребителей.*

Многие радионавигационные системы (РНС) различных диапазонов радиоволн, созданные в основном в интересах обороны страны, в определенной степени утрачивают свое первоначальное значение из-за появления более современных и высокоточных средств радионавигации. Требуется совершенствование этих систем, а также поиск альтернативных путей их использования.

В настоящей статье основное внимание уделено рассмотрению интеллектуальных возможностей действующей отечественной фазовой РНС диапазона СДВ "Альфа", которая при сравнительно недорогих приемоиндикаторах обеспечивает пригодную для ряда потребителей точность местоопределения в любых погодных условиях на большей части земной поверхности, в том числе под водой и подо льдом.

1. *Основные пути совершенствования ФРНС с использованием заложенных в ней решений.* Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации существующих РНС наземного и космического базирования показывает, что по отдельности ни одна из них не обеспечивает в полной мере все возрастающих требований различных потребителей. Задача повышения эффективности функционирования ФРНС, как показали исследования, может быть решена путем:

- использования преимуществ дальномерного режима при увеличении числа опорных передающих станций и оптимизации их размещения;

- применения дифференциальных методов местоопределения;
- интегрирования поля ФРНС в единое навигационное поле РНС наземного и космического базирования;
- реализации "собственного" канала для цифровой передачи команд управления.

Основными преимуществами дальномерного режима является существенное увеличение зоны действия РНС, повышение точности местоопределения за счет улучшения геометрических характеристик системы, повышение надежности навигационных определений за счет внутренней избыточности линий положения.

Применительно к ФРНС "Альфа" к настоящему времени успешно завершены государственные испытания модернизированной системы "Альфа-М" (рис. 1) в составе четырех опорных наземных станций (в дополнение к трем существующим построена новая станция в п. Ревда Мурманской обл.). При этом подтверждена правильность прогноза расширения зоны действия РНС "Альфа" примерно в три раза с точностью местоопределения 2,0–5,0 км (СКП); впервые создано непрерывное навигационное поле в диапазоне СДВ на всей территории РФ.

Повышение точности навигационных определений в локальных областях может быть достигнуто путем реализации дифференциального режима. Выигрыш по точности этого режима определяется свойствами пространственно-временной межчастотной корреляционной функции (ПВМЧКФ) погрешностей фазовых измерений. По результатам экспериментальных исследований из ряда простых аппроксимаций ПВМЧКФ для практического использования согласно [1] целесообразно выбрать

$$B(d, \tau, \Delta f) = \sigma_\varphi^2 \exp\left(-\frac{d}{d_0} - \frac{|\tau|}{\tau_0} - \frac{\Delta f}{f_0}\right),$$

где  $\sigma_\varphi^2$  – дисперсия флуктуаций фазы;

$d$ , тыс. км – удаление объекта от контрольной станции;

$d_0 = 2,8$  тыс. км – радиус пространственной корреляции погрешностей измерений;

$\tau$ , мин – разнос во времени начала передачи и приема дифференциальной поправки;



Рис. 1. Диаграмма излучения сигналов опорных передающих станций ФРНС "Альфа-М":  
 ———— – рабочие частоты;  
 - - - - - – резервные частоты.

$\tau_0 = 150 \text{ мин}$  – интервал корреляции погрешностей измерений;

$f$ , кГц – дополнительная частота РНС;

$f_0$ , кГц – основная частота РНС;

$$\Delta f = f - f_0.$$

Точность местоопределения объекта при работе в дифференциальном режиме составляет  $\sim 0,5\text{--}1,0$  км вблизи контрольной станции [2].

Кратко рассмотрим достоинства интегрирования ФРНС с более высокоточными системами – спутниковой (СРНС) и импульсно-фазовой (ИФРНС). Под интеграцией понимается совместное использование навигационных полей в интегрированной приемоиндикаторной аппаратуре. Несмотря на очевидные преимущества СРНС перед ФРНС, первая имеет целый ряд недостатков – это недостаточная точность местоопределения в условиях крупного промышленного города, в горах и лесистой местности, невозможность определения под водой и подо льдом, сложность и дороговизна поддержания требуемого созвездия спутников и т. п. В меньшей степени эти недостатки относятся и к ИФРНС, однако они имеют ограниченную зону действия (на несколько порядков меньшую, чем у ФРНС).

В интегрированных ПИ при недостаточном количестве линий положения высокоточной системы или плохом геометрическом факторе можно по "последним" точным координатам уточнить поправки на распространение сигнала ФРНС (основной компонент погрешностей измерений) и использовать их на расстояниях порядка радиуса пространственной корреляции поправок, доводя точность ФРНС до точности дифференциального режима и существенно увеличивая доступность и целостность навигационной информации.

Определенный интерес представляет интеграция поля ФРНС, работающей в дифференциальном режиме, с полем ИФРНС, поскольку в зонах действия дифференциального режима точность местоопределения по ФРНС близка к точности стандартного режима работы ИФРНС, а по величине площади зоны действия дифференциальная подсистема и ИФРНС близки.

Ещё одним существенным преимуществом интеграции РНС является возможность использования развитой инфраструктуры ФРНС для создания глобальной сети мониторинга качества СРНС и ИФРНС. Модернизированная аппаратура наземных опорных станций и контрольных пунктов дальномерной ФРНС "Альфа-М" позволяет в полной мере осуществлять набор статистической эфемеридной и навигационной информации СРНС и ИФРНС с целью

- оперативного контроля целостности, достоверности и других компонентов качества РНС;
- уточнения параметров математических моделей поправок на условия распространения радиоволн и их оперативной коррекции;
- частичного решения задач, возложенных на систему управления ИСЗ СРНС ГЛОНАСС;
- уточнения параметров перехода из системы координат ПЗ-90 в WGS-84 и обратно для совместного использования систем ГЛОНАСС и GPS и т. д.

Технические решения, принятые при разработке ФРНС "Альфа", предусматривают её использование для передачи связной информации (режим пе-

$F_1 = 11,9кГц, F_2 = 12,6кГц, F_3 = 14,9$  ,  $F_{3П} = F_3 + (\frac{5}{36})Гц$ ; длительность сегмента сигнала 0,6 с, активная часть 0,4 с, пауза 0,2 с; длительность цикла из шести сегментов 3,6 с.

Реализация передачи сигналов управления в ФРНС "Альфа" возможна в следующих режимах [3]:

- непрерывная передача связанных данных (без передачи навигационной информации) с использованием фазово-частотной модуляции с манипуляцией начальных фаз несущего и поднесущего колебаний. Средняя скорость передачи и объем передаваемых данных в период одного цикла диаграммы излучения ФРНС до 50 Бод и 180 Бит при дальности передачи до 2000 км; увеличение дальности до 10000 км требует повторной передачи в течение 25 циклов;
- совмещенный режим одновременной передачи навигационных сигналов и сигналов команд управления в пределах частотно-временной диаграммы ФРНС "Альфа". Передача сигналов управления осуществляется на свободных сегментах диаграммы с использованием ФЧМ с манипуляцией фаз несущего и поднесущего колебаний при снижении средней скорости и объема передаваемой информации;
- одновременная передача команд управления, при которой сигналы управления передаются на вторичной основе во всех сегментах частотно-временной диаграммы за счет уменьшения напряженности поля сигнала.

Реализация в модернизированной ФРНС "совместного" канала передачи сигналов управления позволит передавать потребителям в реальном масштабе времени конечный набор команд, сформированных по результатам статистической обработки информации, о качестве собственно ФРНС, а также СРНС, ИФРНС и других радиотехнических систем.

2. *Некоторые возможности использования поля ФРНС диапазона СДВ при решении прикладных и фундаментальных задач в интересах различных потребителей.* В первую очередь выделим возможность использования поля СДВ при создании системы электромагнитного мониторинга вариаций амплитуды и фазы поля, которые определяются процессами, происходящими в сейсмоопасных районах в периоды времени, предшествующие землетрясениям, для обеспечения возможности их краткосрочного прогнозирования и заблаговременного оповещения потребителей [4, 5].

Достаточно точно установлено, что землетрясениям предшествуют такие физические явления как сейсмические колебания, изменение магнитного поля Земли, эманация гелия и т. д. Активная геотектоническая деятельность в сочетании с повышенной солнечной активностью, с которой достаточно тесно коррелирует интенсивность землетрясений, приводит к дополнительным вариациям параметров нижней и верхней стенок волноводного канала Земля-ионосфера, где распространяются радиоволны диапазона СДВ. Вариации параметров волновода в свою очередь вызывают "аномальные" вариации амплитуды и фазы сигналов, величины которых зависят от магнитуды и глубины очага землетрясения, а также

от геометрии трасс распространения сигнала. Наличие таких "аномалий" позволяет при соответствующем выборе направлений и числа контролируемых трасс распространения сигналов ФРНС над предлагаемой областью катаклизма за несколько суток предсказать возникновение землетрясения. При этом необходимо подчеркнуть, что в настоящее время степень изученности проявления эффектов от землетрясений в вариациях параметров СДВ поля и надежность прогноза далеки от желаемых. Очень сложной задачей представляется и отбраковка маскирующих и сопутствующих эффектов при идентификации причины "аномалий" параметров распространения СДВ.

Для иллюстрации проявления эффектов от землетрясения на рис. 2 и 3 приведены графики вариаций фазы сигнала станции РНС ОМЕГА (о. Цусима) в двух разнесенных пунктах – Боровое (РФ [5]) и Инубо (Япония [6]) за период времени, охватывающий "невозмущенные" условия до и после землетрясения, которое произошло в Кобе (Япония) 16.01.95 г. в 20 ч 46 мин UT с магнитудой  $M=7,3$ . На трассе о. Цусима – п. Боровое ( $\varphi=53^{\circ}03'N$ ,  $\lambda=70^{\circ}17'E$ )

протяженностью  $\sim 5,4$  тыс. км уже за 15 сут. до начала землетрясения в значениях фазы в однородных по освещенности условиях наблюдаются тренды с максимумом за несколько часов перед событием (рис. 2). На трассе о. Цусима – п. Инубо ( $\varphi=35^{\circ}42'N$ ,  $\lambda=140^{\circ}52'E$ ) протяженностью  $\sim 1,0$  тыс. км заметные "аномалии" в вариациях фазы наблюдаются за 3 сут. до землетрясения (проявляются в виде смещения пиков суточного хода) в периоды времени, соответствующие восходу и заходу Солнца ( $t_m$  и  $t_e$ , соответственно, см. рис. 3).

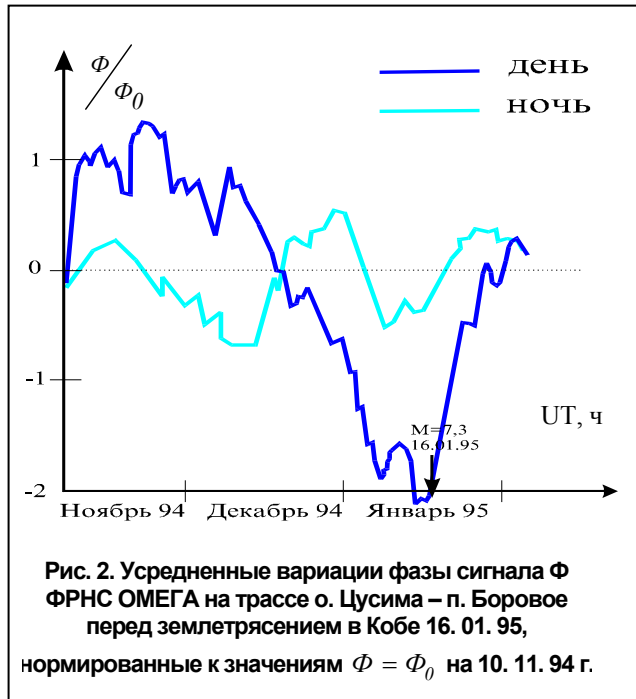


Рис. 2. Усредненные вариации фазы сигнала  $\Phi$  ФРНС ОМЕГА на трассе о. Цусима – п. Боровое перед землетрясением в Кобе 16. 01. 95, нормированные к значениям  $\Phi = \Phi_0$  на 10. 11. 94 г.

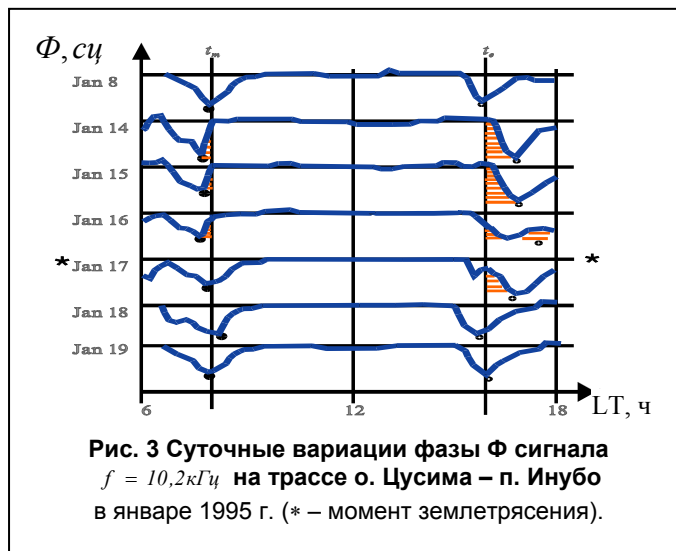


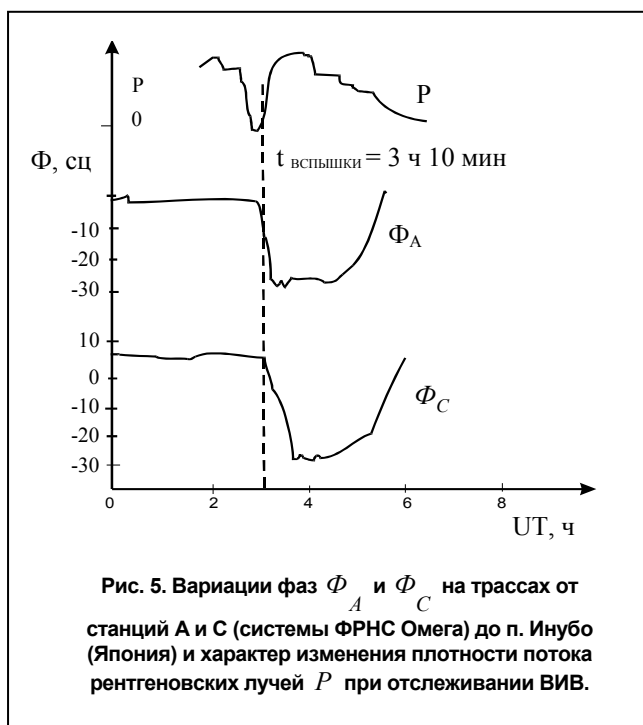
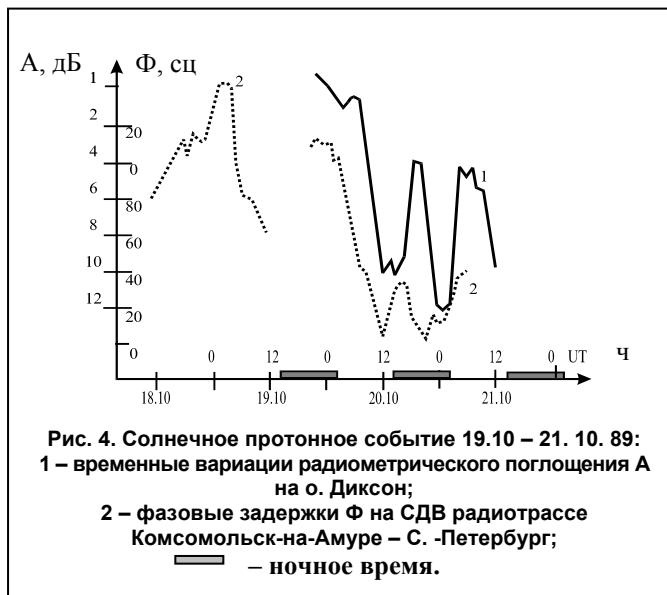
Рис. 3 Суточные вариации фазы  $\Phi$  сигнала  $f = 10,2\text{кГц}$  на трассе о. Цусима – п. Инубо в январе 1995 г. (\* – момент землетрясения).

Проблема обнаружения крупномасштабных ионосферных возмущений (КИВ), которые обусловлены рентгеновскими вспышками и выбросами массы вещества Солнца (внезапные ионосферные возмущения (ВИВ), поглощение в полярной шапке (ППШ), магнитосферные мировые бури (МБ)), по данным электромагнитного мониторинга параметров СДВ полей исследована значительно лучше [7, 8].

Требуется практическая реализация полученных рекомендаций для выработки и передачи навигационных оповещений потребителям, контроля радиосвязи, прогноза состояния ионосферы и озоносферы и т. п.

Для иллюстрации ограничимся рассмотрением одного примера проявления КИВ (выброс протонов), происшедшего в период 19.10 – 21.10.89 г., на вариации фазы сигнала частоты 14,9 кГц на трассе распространения Комсомольск-на-Амуре – С.-Петербург (рис. 4). Статистический анализ измерений интенсивности радиометрического поглощения и "аномалий" фазовых измерений [8] показывает жесткую корреляцию этих событий, что предопределяет сравнительную простоту обнаружения КИВ и определение его интенсивности по вариациям фазы СДВ.

Типичные проявления внезапных ионосферных возмущений, связанных с солнечными вспышками, при которых излучается энергия в ультрафиолетовой и рентгеновской областях спектра (0,1–0,8 нм), в вариациях фазы диапазона СДВ показаны на рис. 5 [9]. Поскольку энергия вспышки распространяется со скоростью света, время возникнове-





ния вызываемых ею возмущений поля СДВ (ВАП или SFA – sudden field anomalies) совпадает со временем начала вспышки.

К числу прочих проблем прикладного и фундаментального характера, решению которых может способствовать мониторинг электромагнитного поля ФРНС, следует отнести:

- совершенствование математических моделей ионосферы, озоносферы, магнитного поля Земли;
- коррекцию карт проводимостей подстилающей поверхности;
- обнаружение ядерных взрывов в атмосфере (аналог проявления КИВ), а также подземных и подводных (аналог очагов землетрясения);
- определение скоростей и направлений движения ветра и дрейфа ледяных полей [10];
- уточнение физики процессов, происходящих в периоды солнечных затмений [11];
- выявление вариаций вышеперечисленных процессов и явлений в цикле солнечной активности.

В дополнение к сказанному следует отметить, что современное оборудование опорных передающих станций и контрольных пунктов ФРНС позволяет существенно расширить исследование процессов, происходящих в земной коре, на Солнце и в ионосфере с привлечением наблюдений за параметрами сигналов космических аппаратов [12, 13].

В целом изложенное выше, на наш взгляд, убедительно свидетельствует о значительных и до сих пор не востребуемых возможностях созданной в России фазовой РНС диапазона СДВ, использование которой при небольших материальных затратах позволит решать различные научные и прикладные проблемы. При своевременном прогнозе наступления катаклизмов это уменьшит возможный экономический ущерб и предотвратит гибель людей.

**Выводы.** Перспективными направлениями использования ФРНС диапазона СДВ являются:

- разработка глобальной системы краткосрочного прогнозирования землетрясений по данным электромагнитного мониторинга аномальных вариаций амплитуды и фазы поля;
- создание системы обнаружения, идентификации и оповещения потребителей о крупномасштабных ионосферных возмущениях;
- электромагнитный мониторинг параметров поля СДВ для решения научных и прикладных задач народного хозяйства (коррекция моделей ионосферы, озоносферы, магнитного поля Земли, проводимости подстилающей поверхности, определение скорости и направления движения ветра и ледяных полей и т. д.).

Обозначенные проблемы носят глобальный характер и их решение требует объединенных усилий ученых и специалистов различных стран и специальностей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болошин С. Б., Семенов Г. А. и др. Радионавигационные системы СДВ диапазона. М.: Радио и связь, 1985г.
2. Котяшкин С. И. и др. Состояние теоретических и экспериментальных исследований дифференциальных методов местоопределения в СДВ РНС ОМЕГА//Зарубежная радиоэлектроника. 1977г. №11. с. 28–81.

3. Болошин С. Б. и др. Передача цифровой информации в фазовой радионавигационной системе СДВ диапазона//Радиотехника. 1999. № 11.
4. Вербин Ю. П., Кищук В. П., Семенов Г. А., Болошин С. Б. К проблеме прогнозирования землетрясений по данным мониторинга характеристик естественных и антропогенных электромагнитных полей//Радионавигация и время, 1996г. №1. 2 (7).
5. Реутов А. П., Маренко В. Ф. Концепция построения радиоволновой системы прогнозирования землетрясений, экспериментальные результаты//М. 1995г.
6. O. A. Molchanov, M. Hayakawa, T. Ondoh, E. Kawai. Precursory effects in the subionospheric VLF signals for the Kobe earthquake//Physics of The Earth and Planetary Interiors 105 (1998) p. 239–248.
7. Вербин Ю. П., Лось Б. П., Семенов Г. А., Болошин С. Б. Обнаружение слабых и умеренных солнечных протонных событий по вариациям фазы ОНЧ-радиоволн на авроральных и субавроральных радиотрассах. Тезисы докладов региональной XXIII конференции по распространению радиоволн. (С–Петербург, 28–30 сентября 1997г.) СПб: СПбГУ, 1997г.
8. Вербин Ю. П., Макарова Л. Н., Семенов Г. А., Широчков А. В. Детектирование эффектов солнечных протонных событий по записям ОНЧ-фазы на высокоширотных радиотрассах//Геомagnetизм и аэрономия, 1998г. т. 38, №1.
9. Исии Такахио, Хакура Юкио, Нагаи Сэйдзи, Оути Тесити. Распространение радиоволн радионавигационной системы ОМЕГА. Кокай, 1975, Т. X, №47.
10. H. Tug. Position Measurements with Radiosondes. IEEE Journal of Oceanic Engineering. April 1989, Vol. 14. №2.
11. Макаров Г. И. и др. Эффекты солнечного затмения 31 июля 1981г. в СДВ полях. VIII Межведомственный семинар по распространению километровых и более длинных радиоволн. Омск. 1982.
12. Транс Э., Хоппе У. П. Влияние солнечных возмущений в ионосфере на высоких широтах на навигационные системы в широком диапазоне частот. Сборник трудов Второй Международной Конференции "Планирование глобальной радионавигации", 24–26 июня 1997г., М., Россия, т. 1, с. 118.
13. Samuel P. Pullen. Effects of Local Ionospheric Anomalies on Navigation Performance and Integrity using WAAS. PLANS–96: IEEE Position Location and Navigation Symp. April 22–25, Atlanta, 6A, USA, p. 574–581.

# СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

ГРНТИ 73.34.37

## ОСОБЕННОСТИ ПРОВОДКИ КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДОВ ПО ФАРВАТЕРАМ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

**Н. Н. НЕРОНОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Излагается навигационно-гидрографическое обеспечение плавания крупнотоннажных судов по фарватерам Восточной части Финского залива на примере проводки атомного ледокола "Ленин" от Кронштадта до Приморска в 1959 г.*

Морской доктриной Российской Федерации до 2020 г. в разделе геостратегических направлений национальной морской политики предусмотрено в Балтийском море сосредоточение основных усилий, в том числе и на "модернизации существующих и строительстве новых портов, обновлении торговых морского и комбинированного флотов". Для России морские и океанские перевозки приобретают важнейшее значение в обеспечении внешнеторговой деятельности.

Считается, что транспортировка российских грузов через порты Балтии приводит к необходимости оплаты за услуги, предоставляемые портами в сумме около 2 млрд. дол. в год.

Эти обстоятельства обусловили расширение Санкт-Петербургских, Выборгского, Ломоносовского и строительство ряда других портов (Усть-Луга, Приморск), расположенных в Восточной части Финского залива.

Предполагается, что уже в первом десятилетии XXI века через порты Восточной части Финского залива будут транспортироваться миллионы тонн жидких, насыпных и твердых грузов на судах, имеющих большие размеры (длину, ширину и осадку).

Навигационную опасность плавания в заливе определяют в основном его мелководность, неровности рельефа дна, каменистость грунта, наличие большого количества подводных камней, банок, отмелей, стесненность маневрирования судов на фарватерах, акваториях портов, рейдов, колебания уровня моря, метеорологические условия и размерения судов.

Обобщающим условием, определяющим безопасное плавание судна, можно принять требование

$$H < (Z - M_z - \Delta H_o - \Delta Z_{дон} - \Delta H_n),$$

где  $H$  – допустимая осадка судна в метрах;

$Z$  – глубина на фарватере;  
 $M_z$  – погрешность глубины;  
 $\Delta H_o$  – погрешность в принятой осадке судна за счет ее изменения вследствие отклонения солености воды от стандартной, ветра и др. причин;

$\Delta Z_{oon}$  – погрешность в глубине за счет точности приведения к отчетному уровню, принятому на морской карте;

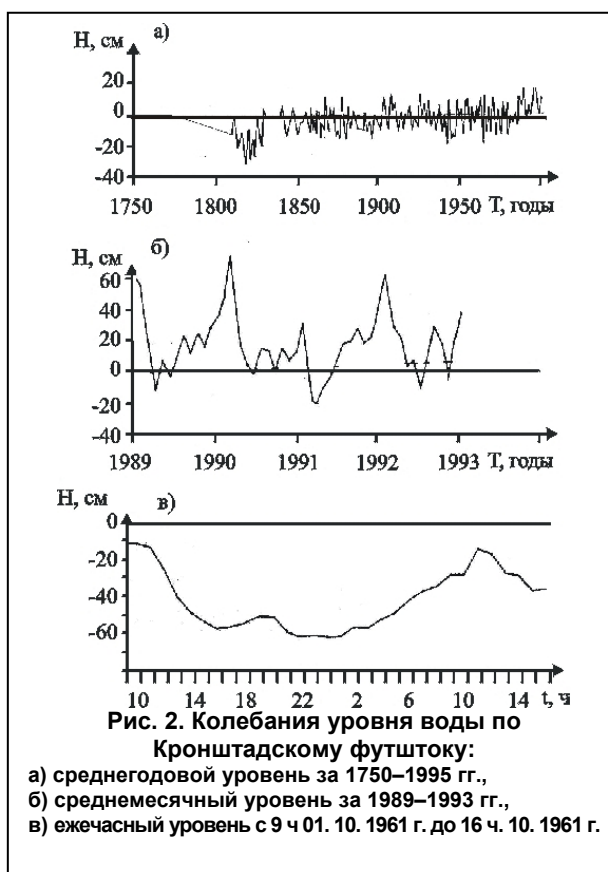
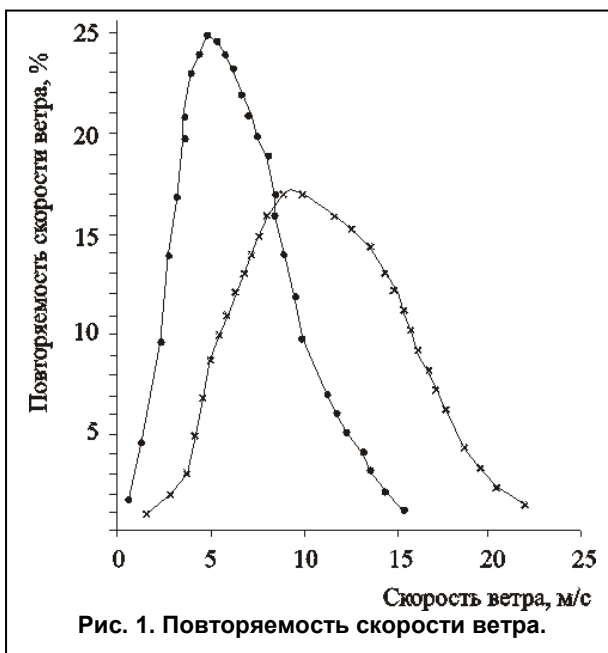
$\Delta H_n$  – минимальный навигационный запас для обеспечения управляемости судна.

Для Восточной части Финского залива  $\Delta H_o$  будет в пределах 0,2–0,3 м, считая, что соленость воды – 12 промиле, скорость ветра – 0–25 м/с. График повторяемости скорости ветра приведен на рис. 1.

Погрешность  $M_z$  по требованиям Международной гидрографической организации не должна быть хуже 0,25 (P=0,95). Минимальный навигационный запас  $\Delta H_o$  можно принять равным 0,05 Н.

Погрешность  $\Delta Z_{oon}$  зависит от изменения фактического уровня моря от принятого на морской карте.

Графики колебаний уровня моря относительно нуля Кронштадского Футштока среднегодовые (1750–1997 гг.), среднемесячные (1989–1993 гг.) и колебания уровня моря с 9 ч 1.10.1961 г. по 16 ч 2.10.1961 г. приведены на рис. 2. Анализ графиков рис. 2 позволяет сделать следующие выводы.



Среднегодовые и среднемесячные понижения уровня моря в Кронштадте при 95% обеспеченности можно принять равными 0,25 м. Однако могут быть случаи, когда уровень нескольких суток опускается до 0,7 м. Такие случаи были в сентябре–октябре 1959 г. и продолжались до 12 сут. (при проводке атомного ледокола "Ленин" с Красногорского рейда в Кронштадт). Спад уровня наблюдался и в последующие годы, достигая 1,22 м в 1961 г. (при проводке в Кронштадт китобазы Ю. Долгорукий).

Аномальные спады и подъемы уровня воды в Невской губе, Выборгском и Лужском заливах определяются состоянием "Атмосфера-поверхность воды" в Балтийском море.

В общем виде характер изменения уровня моря на уровневых постах в Балтийске, Лиепайе, Ристне, Родшире аналогичен его изменению в Восточной части Финского залива с разностью по времени в несколько часов.

Для обеспечения навигационной безопасности плавания танкеров с большой осадкой необходимо предварительно провести комплекс гидрографических работ для обоснования навигационно-гидрографического обеспечения (НГО) плавания и технического проекта навигационного оборудования района залива.

Учитывая изложенное, целесообразно рассмотреть некоторые аспекты навигационно-гидрографического обеспечения (НГО) плавания судов с большой осадкой в восточной части Финского залива, используя опыт НГО плавания в этой акватории атомного ледокола "Ленин" в 1959–1960 гг., имевшего осадку 9,7 м, длину 134 м и ширину 27,6 м.

В 1959 г. с верфей Адмиралтейского судостроительного завода был спущен на воду первый в мире атомный ледокол "Ленин".

После достройки судна предполагалось провести его швартовные и ходовые испытания, осмотр корпуса в сухом доке г. Кронштадта, подготовку к переходу и переход в порт приписки – Мурманск.

Спуску судна на воду предшествовала серьезная подготовка района в противоминном и навигационно-гидрографическом отношении.

Минная обстановка на конец пятидесятых годов XX в. характеризовалась наличием мин, оставшихся от минных постановок периода Великой Отечественной войны, поэтому плавание судов разрешалось только по строго определенным фарватерам.

В течение 1957–1959 гг. траление мин было проведено на всей акватории Финского залива электромагнитными – на всю глубину фарватеров и контактными (придонными) тралами на глубину 10–11 м.

В 1958 и 1959 гг. Ленинградский морской канал, фарватеры: Большой корабельный, Шепелев-Приморск-Выборг, Шепелев-Сескар-Соммерс-Нерва-Гогланд были дополнительно протралены прорывателями минных заграждений "Кушка" и "Кулой" на 4 покрытия. Район порта (бухта Манола) был обследован водолазами. НГО траления и обследования осуществляли маневренные подразделения Гидрографической службы Ленинградского военноморского района.

Подготовка района в навигационно-гидрографическом отношении заключалась в уточнении картографических материалов, дообследовании и гидрографическом тралении мелководных участков фарватеров, оборудова-

нии их радионавигационными системами (РНС), постановке дополнительного плавучего ограждения и предварительном оплавании трасс.

Для уточнения картографических материалов в районе перехода и испытаний судна подразделениями Балтийской гидрографической экспедиции был выполнен промер глубин в масштабе 1:10000 – 1:25000 и произведено гидрографическое траление фарватеров на глубину 11 м.

Особое внимание было уделено выполнению гидрографических работ по фарватерам Шепелев-Выборг-Большой корабельный, т. к. вблизи фарватеров расположены банки и мели:

- банка с глубиной 6,4 м в 60 м от оси фарватера и в 7 кбт. к WNW от входа в гавань Приморск;
- банка с глубиной 9,8 м в 70 м от оси фарватера и в 3,5 кбт. к SW от входа в гавань Приморск;
- отмель у мыса Лоцманский в 100 м от оси фарватера;
- банка с глубиной 8,8 м в 30 м от оси фарватера и в 5,5 кбт к W от маяка Стирсудден.

Перечисленные опасности и протраленная полоса шириной от 300 до 500 м в районе о. Равица, кроме штатных средств, дополнительно ограждались зимними буями.

Другие банки и мели (Матинлянси, Палинматала, Верхкоматала, Уварова, Кири, Диомид, Стирсудденские), расположенные вблизи фарватеров, дополнительно не ограждались.

Ширина фарватеров Шепелев-Выборг и Большой корабельный составляет 2 каб. (в районе гавани Приморск) и 5 кбт на других участках. Глубина – 11 м.

На время проводки на ледоколе была установлена корабельная станция РНС "Рым". Береговые станции этой системы были развернуты на маяках Стирсудден, Шепелев, Соммерс, Гогланд и знаках Карасевка и Горки. Места установки станций выбирались с таким расчетом, чтобы угол пересечения линий положения судна был близок к 90° и чтобы на пути распространения радиолучей не было препятствий (экранов).

Определение места судна при проводке предполагалось осуществлять с помощью штатного штурманского вооружения ледокола (компаса, лага, эхолота, радиолокационных станций "Риф" и "Нептун"), а также методом "обратной засечки" (по 2 углам, измеренным секстанами) и по 2 расстояниям, измеренным с помощью РНС "Рым". Основным способом был принят способ определения места с помощью РНС "Рым". Средняя квадратическая погрешность определения места составила 15 м.

Прокладка пути судна производилась на планшетах масштаба 1:10000 и 1:25000 в прямоугольной проекции. На планшетах были нанесены стадиометрические и гониометрические сетки, выделены опасные глубины, поворотные и ограничивающие углы и расстояния.

Для наблюдения за колебаниями уровня моря по Балтийскому морю и Финскому заливу были организованы уровенные наблюдения со съемом информации каждый час на уровнемерных постах Балтийск, Лиепайя, Родшер, Гогланд, Мощный, Приморск, Усть-Луга, Кронштадт.

Показания уровня ежечасно передавались в штаб проводки.

На основе полученных данных строились графики изменения уровня на всех постах, определялась скорость перемещения длиной волны и прогнозировалась глубина над наиболее мелкими участками фарватеров.

Особенно важен был прогноз глубины на фарватере на траверзе станции "Риф", расположенной в северо-западной части Кронштадта при проводке ледокола в док Величинского и из дока на Красногорский рейд, т. к. на период 1959–1964 гг. эта глубина составляла 9,2 м при нулевой отметке Кронштадского футштока.

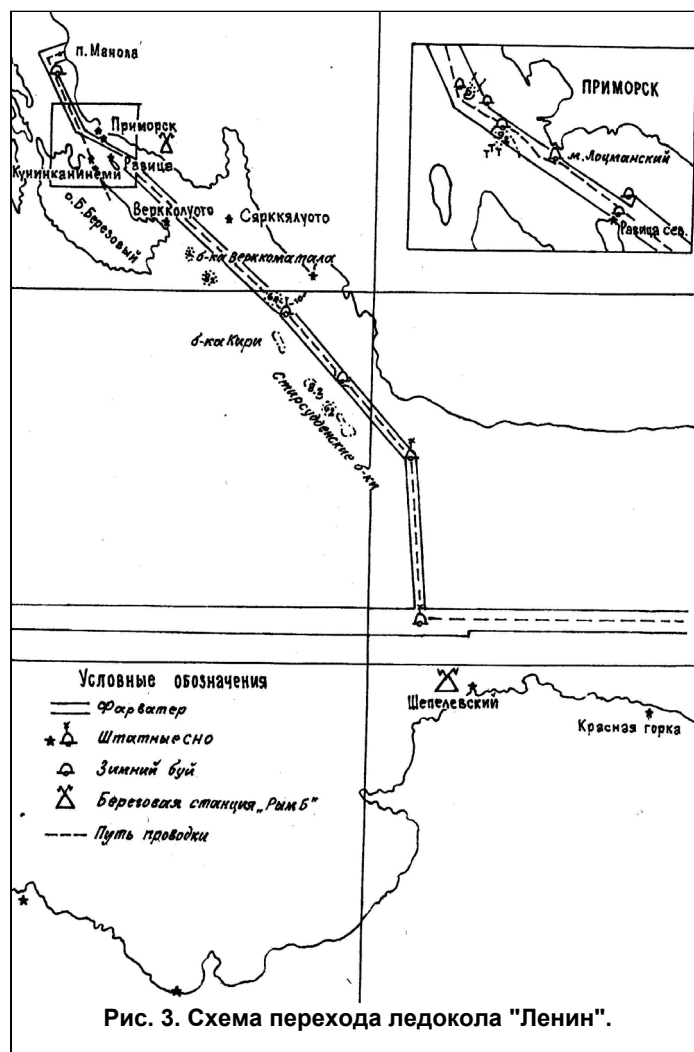
Для уточнения надежности намеченных способов определения места ледокола, глубин на фарватерах, местоположения средств навигационного ограждения, проверки видимости и компанирования РНС "Рым" перед проводкой было проведено оплавание района на гидрографическом судне "Меридиан".

13 октября 1959 г. в 7 ч. 30 мин. Ледокол "Ленин" снялся с якоря на Красногорском рейде для перехода к поселку Манола. Автор статьи принял ледокол к проводке.

Гидрометеорологическая обстановка: ветер северо-восточный 2 балла, волнение моря 1 балл, видимость 10 миль, течение восточное 0,2 уз, облачность 7–8 баллов, влажность 80%, температура воздуха +4°C.

Корабли охранения и обеспечения (торпедные катера, тральщики, гидрографическое судно "Меридиан", спасательное судно и буксиры) заняли свои места в походном порядке. В воздух были подняты вертолеты, осмотревшие путь походного порядка.

Схема перехода ледокола приведена на рис. 3.



В 8 ч. 00 мин. начали движение за тралами. Место судна определялось РНС "Рым" через 2 мин и по 2 углам – через каждые 8 мин.

На траверзе бухты Дубковой корабли охранения из-за узкости фарватера вышли из ордера. Ледокол с судами обеспечения увеличив ход до 8 уз, продолжал движение в строю кильватера.

При подходе к узкости на траверзе южной оконечности острова Равица уменьшили ход до 5 уз и начали определять место судна по РНС "Рым" и обратной засечке через 1 мин. со средней квадратической погрешностью 5–10 м. При проходе узкости производилось наблюдение за рельефом дна, для чего на гидрографическом судне "Меридиан", следовавшим впереди по курсу в расстоянии около 100 м, каждую минуту снимали отсчет глубины с эхолота и передавали ее значение на ледокол.

Все штатное и дополнительно выставленное навигационное ограждение значительно облегчало проводку ледокола, обеспечивало своевременность начала и конца поворотов, наглядно обозначая опасные глубины.

В расстоянии трех кабельтов от места швартовки ледокол "Ленин" встретили буксиры, и с их помощью он отшвартовался к палу в бухте Манола в 15 ч 30 мин.

26 ноября 1959 г. атомоход совершил переход от бухты Манола на Красногорский рейд. Движение начали в 11 ч 50 мин. и стали на якорь на Красногорском рейде в 15 ч 50 мин.

Гидрометеорологическая обстановка значительно ухудшила условия проводки. Отрицательная температура воздуха – 6°C вызвала образование тумана над поверхностью воды, что снизило видимость до 1 мили, ветер 4–5 баллов, волнение моря 3 балла, восточное течение 0,8 уз. Для обсерваций возможно было использовать только РНС "Рым", необходимо было учитывать снос 2–3°.

К концу ноября 1959 г. ледокол "Ленин" был заведен в Кронштадт в док "Велешинского".

Несколько упрощенная схема проводки была принята при проводках в 1961-63 годах китобазы "Ю. Долгорукий".

Со временем проводки атомохода по маршруту Кронштадт-Приморск прошло около 40 лет. За это время построена дамба, частично были осуществлены дноуглубительные работы, начато строительство портовых сооружений и т. д. В связи с этим для осуществления плавания танкеров в Приморск следует выполнить научные обоснования определения объема работ по НГО, которые правильно было бы поручить головной научно-исследовательской организации, ответственной за обоснование и разработку технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии, океанографического обеспечения обороны и экономики страны.



**ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИЙ ДНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

**А.Н. ДОБРОТВОРСКИЙ,  
С.А. ДРУЖЕВСКИЙ**  
(ГНИНГИ МО РФ),  
**В. М. КУШНИР,  
Л. А. ПЕТРЕНКО**  
(МГИ, Украина)

*Дано описание модели деформаций дна под воздействием гидрометеорологических факторов. На примере Усть-Лужского канала представлена методика расчетов динамики наносов на основе численного решения уравнения переноса с учетом вероятностного распределения фракций донного материала по размерам частиц. Выполнена сравнительная оценка значений, полученных по результатам моделирования и натурных изысканий.*

Создание математических моделей деформаций дна под воздействием гидрометеорологических факторов относится к числу важнейших проблем разработки современных систем навигационного обеспечения (СНО) мелководных акваторий с подвижным донным материалом. К таким гидрометеорологическим факторам в первую очередь относятся поверхностные волны и течения, поскольку они взмучивают и транспортируют наносы. В результате происходит размыв дна в одних местах и образование отмелей в других. Построение моделей таких явлений позволяет прогнозировать возможные изменения фарватера, определять периодичность и объемы работ по уточнению навигационных условий и расчистке дна от образовавшихся отмелей.

Рассматриваемая ниже математическая модель указанного типа была создана и опробована для условий Усть-Лужского канала, который проложен в сложных литодинамических условиях прибрежной зоны южного берега Финского залива. Эта сложность обусловлена следующими факторами:

- открытые берега и обширные зоны малых глубин (2–3 м) по берегам канала с песчаным донным материалом, имеющим относительно высокую подвижность под действием волн и течений;
- песчаные отмели на левом берегу канала, очертания которых постоянно меняются под действием динамики наносов;
- сложный рельеф дна в зоне канала с глубинами от 6–7 м до нуля.

Литодинамические процессы усложняют навигацию по Усть-Лужскому каналу, т. к. вследствие деформаций дна в зоне фарватера возникают локальные отмели, а ось фарватера с глубинами 4–5 м сложным образом изменяется. В плане долгосрочного использования канала возникают дополнительные затруднения в связи с необходимостью проведения регулярных работ по обследованию и очистке фарватера от наносов (заблаговременное планирование периодичности, объемов выемки грунта), укреплении береговой зоны со стороны наибольшего поступления донного материала. Названные трудности в значительной мере устраняются при использовании для оперативных расчетов деформаций дна под воздействием указанных гидрометеорологических факторов предлагаемой диагностической модели, разработанной для конкретных условий Усть-Лужского канала.

1. Структура и основные модули диагностической модели. Диагностическая модель деформаций дна содержит следующие основные модули:

- гидродинамический расчет течений, которые определяются напряжениями ветра, очертаниями отмелей, рельефом дна и придонным трением;
- расчет динамики наносов;
- статистическое обобщение решения задачи транспорта наносов с целью учета вероятностного распределения фракций донного материала по размерам частиц;

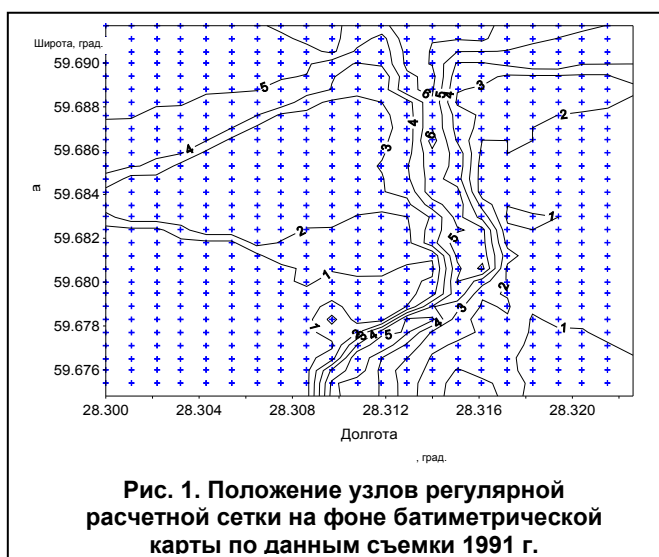
- расчет деформаций дна на основе численного решения уравнения переноса.

Исходными данными для созданного программно-математического обеспечения прогноза деформаций дна являются:

- начальное распределение глубин в анализируемом районе;
- периодически поступающие данные о скорости и направлении ветра с дискретностью 3 или 6 ч.

В созданной модели могут также усваиваться данные о непосредственно измеряемых в синоптические сроки параметрах поверхностного волнения и течений.

1.1. Расчет поля средних течений в зоне Усть-Лужского канала. Вычисления пространственной структуры осредненных по глубине течений производятся следующим образом.



1.1.1. На основе данных батиметрической съемки, которая соответствует начальному распределению глубин, вычисляются значения глубин в узлах фиксированной регулярной сетки. Эта операция производится при помощи стандартного пакета Surfer, который позволяет задавать минимальное и максимальное значения широты и долготы анализируемого района, число значений проинтерполированных глубин по широте и долготе и в итоге получить массив координат и глубин  $H$  в каждой

точке фиксированной сетки (рис. 1).

1.1.2. Производится расчет скорости  $U_p$  поверхностных течений по заданной скорости ветра  $W$  и его направлению  $F$ .

$$U_p = (-3 \cdot 10^{-5} H^2 + 0,0012H)W + (-6 \cdot 10^{-6} H^2 + 0,0025H), \quad (1)$$

$$u_p = -U_p \sin F; \quad v_p = -U_p \cos F, \quad (2)$$

где  $u_p$ ,  $v_p$  – соответственно широтная и меридиональная составляющие скорости поверхностного течения.

Соотношение (1) получено путем аппроксимации методом наименьших квадратов эмпирических зависимостей скорости поверхностного течения в южной части Финского залива от глубины  $H$  и скорости ветра  $W$  [1]. Особенностью такого метода вычисления течений является его простота и возможность оперативных расчетов. Для этой цели могут быть также использованы и другие, более сложные и совершенные гидродинамические модели.

1.1.3. Вычисляются параметры придонного пограничного слоя. Для вычисления профиля скорости течения  $u(z)$  в данном слое использована модель Прандтля для погранслоя над плоской поверхностью

$$u(z) = U_0 \left( \frac{z}{\Delta} \right)^{1/7}, \quad (3)$$

где  $U_0$  – скорость на верхней границе погранслоя;

$\Delta$  – толщина погранслоя;

$z$  – отстояние от дна.

Для вычисления величины  $\Delta$  согласно теории погранслоя [2] имеем

$$\frac{\tau_0}{\rho U_0} = 0,0128 \left( \frac{U_0 \Delta_2}{\nu} \right)^{-0,25}, \quad \Delta_2 = \frac{7}{72} \Delta, \quad (4)$$

где  $\tau_0$  – напряжение;

$\rho$  – плотность;

$\nu$  – кинематическая вязкость.

С другой стороны, для экмановского погранслоя выполняются соотношения

$$\frac{\tau_0}{\rho} = \langle u'v' \rangle = K_z \frac{U_0}{\Delta}, \quad \Delta = \sqrt{\frac{2K_z}{f}} \quad (5)$$

где  $u', v'$  – пульсации скорости течения в турбулентном погранслое;

$K_z$  – коэффициент вертикальной диффузии импульса;

$f$  – параметр Кориолиса.

Из соотношений (4), (5) находим

$$\Delta = \left[ 0,045 \frac{U_0}{f} \left( \frac{\nu}{U_0} \right)^{0,25} \right]^{0,8}. \quad (6)$$

Полагая, что  $\nu = 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $f = 1,26 \cdot 10^{-4}$  рад/с,  $U_0 = U_p$  вследствие малости глубин, находим

$$\Delta = 6,956 U_p^{0,6}. \quad (7)$$

Например, при  $H = 5$  м,  $W = 15$  м/с,  $U_p = 0,0911$  м/с и  $\Delta = 1,65$  м, что является характерной величиной для морских условий [3, 4].

1.1.4. Определяется среднее по глубине значение скорости течения.

Если  $H > \Delta$ , то средняя по глубине скорость течения

$$V_s = \frac{U_p}{H\Delta^{1/7}} \int_0^{\Delta} z^{1/7} dz + \frac{H-\Delta}{H} U_p = \frac{H-0,125\Delta}{H} U_p \quad (8)$$

Если  $H < \Delta$ , то

$$V_s = \frac{U_p}{H\Delta^{1/7}} \int_0^H z^{1/7} dz = 0,875 U_p \left( \frac{H}{\Delta} \right)^{0,1428} \quad (9)$$

Производится вычисление широтной  $u$  и меридиональной  $v$  составляющих осредненной по глубине скорости течения в узлах регулярной сетки. С этой целью определяется квадрант, куда направлено течение из внешней зоны и ячейки регулярной сетки, где это течение является граничным. Изменения составляющих  $u$  и  $v$  скорости течения на границах каждой ячейки регулярной сетки определяются, исходя из постоянства объема воды, протекающего через ячейку, т. е.

$$uH_{sy} \Delta y + vH_{sx} \Delta x = const, \quad (10)$$

где  $H_{sx}, H_{sy}$  – средние величины глубин в пределах рассматриваемой ячейки по осям  $ox$  и  $oy$  соответственно;

$\Delta x, \Delta y$  – размеры элементарной ячейки по соответствующим осям.

В программе предусмотрено также выполнение условия непротекания через ячейки сетки, где глубина меньше заданной, что эквивалентно условию непротекания через границу береговой зоны.

На рис. 2 в качестве характерного примера приведены вычисленные для рассматриваемой акватории векторы осредненных по глубине течений при наиболее типичном северо-западном ветре со скоростью 20 м/с. Следует отметить особенность поля скорости севернее отмели на левом берегу канала – формирование интенсивного потока восточного направления, переносящего наносы в сторону оси канала. Это в целом соответствует результатам наблюдений, т. к. именно в этом его месте формируются отмели.

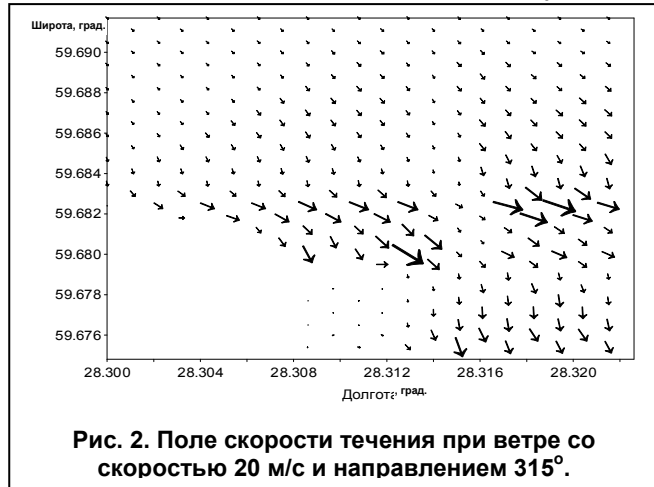


Рис. 2. Поле скорости течения при ветре со скоростью 20 м/с и направлением 315°.

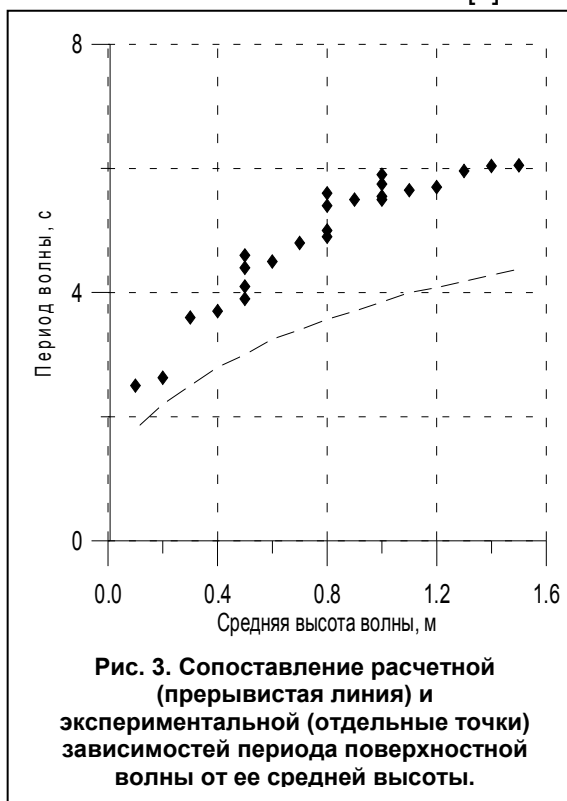
1.2. Расчет динамики наносов. В настоящее время существуют различные математические модели транспорта донных наносов под действием нестационарных турбулентных потоков, образующихся в береговой зоне водоемов в штормовые периоды. В основу использованной модели положен учет формирования дополнительных тангенциальных напряжений, возникающих

на деформируемом дне в условиях его рифельного строения под действием гидродинамических процессов – ветрового волнения и течений, обусловленных тангенциальными напряжениями ветра. В расчетной схеме в качестве исходных данных используются параметры ветровых волн (высота, длина, период и угол подхода к берегу), а также осредненные по вертикали скорости дрейфовых течений, характеристики которых были рассмотрены и определены для района исследований выше. В основе используемой расчетной схемы лежит методика, разработанная В. А. Ивановым и А. Е. Михиновым [5]. Она предусматривает разделение транспортируемых наносов на донные и взвешенные, сумма удельных расходов которых отвечает общему (суммарному) транспорту наносов.

Как уже отмечалось, исходными данными для расчетной схемы динамики наносов являются параметры поверхностных волн, которые определяются по типовой методике [6]. Однако анализ данных натурных измерений характеристик поверхностных волн в районе Усть-Лужского канала показал, что эти результаты систематически отличаются от расчетных, полученных по методике [4]. Приведенные в качестве примера сопоставительные данные (рис. 3) показывают систематическое превышение экспериментальной зависимости по отношению к расчетной в среднем в 1,4 раза. Это свидетельствует о том, что поверхностные волны не формируются в районе малых глубин рассматриваемого района, а, вероятно, приходят из открытой части Финского залива, из районов больших глубин и не успевают деформироваться соответствующим образом на мелководье. Коэффициент 1,4, таким образом, необходимо учесть при определении амплитуды орбитальной скорости у поверхности дна и смещения частиц в волновом движении.

В связи с тем, что указанный коэффициент корректировки амплитуд придонной скорости и смещения может изменяться для различных условий, он введен в программу в общем виде как коэффициент корректировки параметров поверхностных волн  $k_w$ .

1.3. Статистическое обобщение решения задачи транспорта наносов. Данные геологических изысканий в зоне Усть-Лужского канала показали, что донный материал по своему составу является неоднородным. Анализ 59



проб из различных точек рассматриваемой акватории позволил определить процентное содержание донных фракций с характерными размерами  $D$ .

Величина  $D$  оказывает сильное влияние на значение удельного транспорта наносов  $q$  и поэтому

$$q(\langle D \rangle) \neq \langle q \rangle, \quad (11)$$

где  $\langle \rangle$  – символ осреднения.

В связи с этим, в модели деформаций дна необходимо учесть влияние реального распределения фракций донного материала на среднее значение удельного транспорта наносов. Указанное процентное содержание частиц по их размерам можно интерпретировать как вероятностное распределение фракций донного материала и, пользуясь им, вычислить плотность распределения вероятностей (гистограмму)  $W(D)$ . Соответствующий ряд выглядит следующим образом

Диапазон $D$	0,05–0,1	0,1–0,25	0,25–0,5	0,5–2	2–10
$W(D)$	1,64	3,82	1,10	0,039	$1,44 \cdot 10^{-3}$

Среднее значение удельного транспорта наносов в общем виде определяется как

$$\langle q \rangle = \int_0^{\infty} q(D)W(D)dD, \quad (12)$$

где  $q(D)$  – нелинейная в общем случае зависимость удельного транспорта наносов от размеров фракций донного материала.

Для определения этой зависимости были вычислены средние величины удельного транспорта наносов при различных значениях скорости ветра  $W$  и его направления  $\varphi$ , а также различных размерах  $D$ . Методом наименьших квадратов определены аппроксимационные соотношения, которые с высокой степенью достоверности ( $R^2 = 0,96... 0,99$ ) описывают полученные зависимости. В результате сильных для рассматриваемого района ветрах северо-западных румбов со скоростью 10–30 м/с и размерах частиц донного материала 0,05–0,5 мм

$$q(D) = A(W)D^{-3,06} = (0,0001W^2 - 0,0008W - 0,0049)D^{-3,06}. \quad (13)$$

Тогда согласно (12) имеем

$$\begin{aligned} \langle q \rangle &= \int_0^{\infty} A(W)D^{-3,06} W(D)dD = \frac{A(W)}{2,06} \sum_{i=1}^5 W_i(D) (D_{1i}^{-2,06} - D_{2i}^{-2,06}) = \\ &= 477,66 A(W). \end{aligned} \quad (14)$$

Например, при  $W = 30$  м/с,  $\langle q \rangle = 29,185$  м<sup>3</sup>/м сут., а при  $D = 0,175$  мм (мода гистограммы распределения размеров донных частиц) и  $W = 30$  м/с,  $q = 18,69$  м<sup>3</sup>/м сут., при  $D = 0,13$  мм и  $W = 30$  м/с,  $q = 47,49$  м<sup>3</sup>/м сут.

Таким образом, при использовании в качестве параметра модели транспорта наносов значения  $D = 0,175$  мм (мода гистограммы размеров час-

тиц в зоне Усть-Лужского канала) необходимо ввести поправочный коэффициент, равный 1,56.

**1.4. Расчет деформаций дна.** Расчет деформаций дна в узлах регулярной сетки производится на основе ранее вычисленных величин удельного транспорта наносов  $q_x, q_y$  соответственно по осям  $x, y$ .

С целью получения уравнения деформаций дна рассматривается элементарная ячейка регулярной сетки со сторонами  $\Delta x, \Delta y$ . В эту ячейку в единицу времени поступает  $q_x \Delta y + q_y \Delta x$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) наносов, а из ячейки выносятся  $(q_x + \Delta q_x) \Delta y + (q_y + \Delta q_y) \Delta x$  наносов. В пределах ячейки остается объем

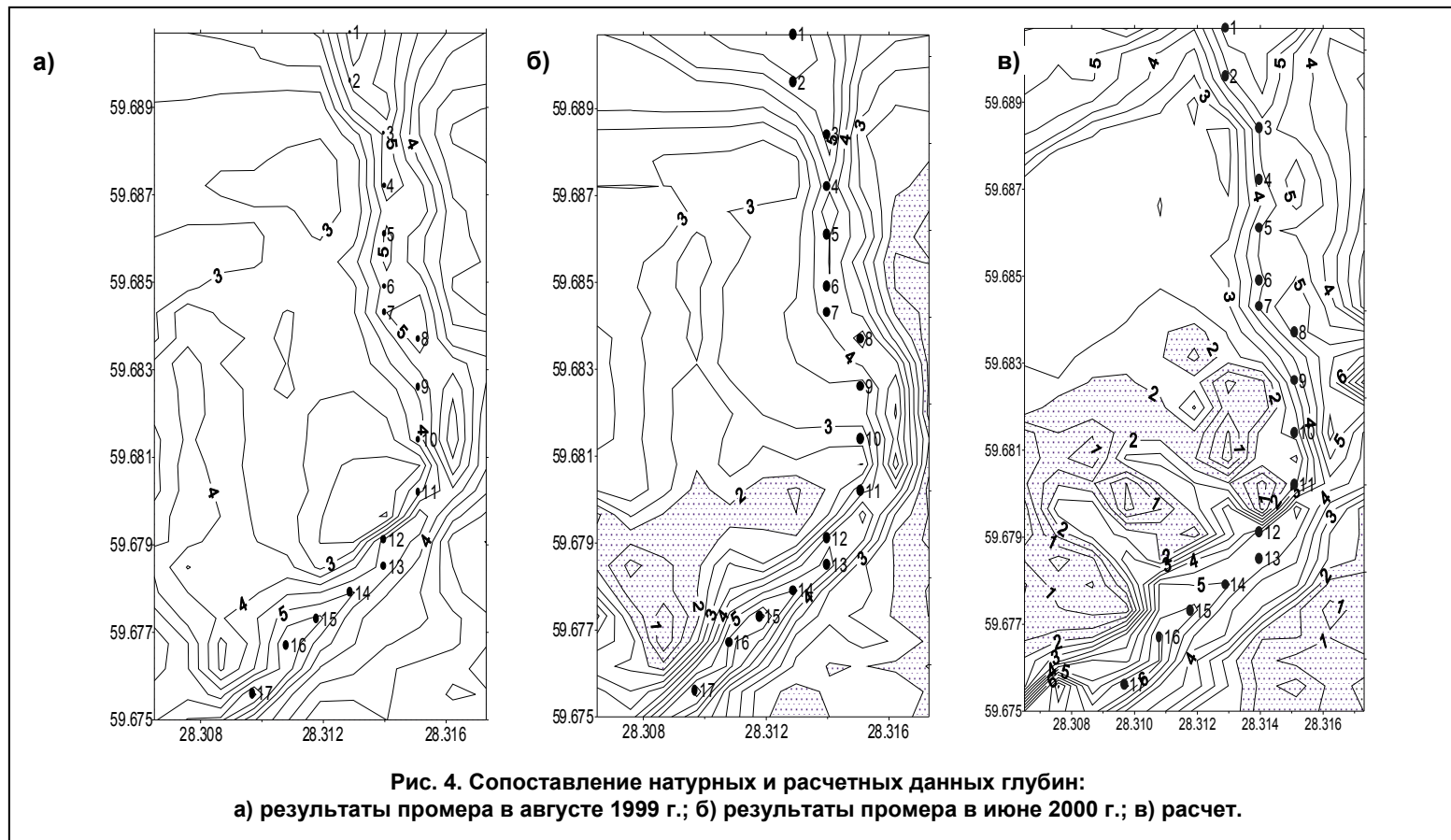
$$q_x \Delta y - (q_x + \Delta q_x) \Delta y + q_y \Delta x - (q_y + \Delta q_y) \Delta x = -\Delta q_x \Delta y - \Delta q_y \Delta x. \quad (15)$$

Этот остаток в единицу времени изменяет глубину в ячейке на величину  $\Delta x \Delta y \Delta z / \Delta t$ , где  $\Delta z$  отсчитывается от поверхности дна. Переходя от конечных разностей к дифференциалам и учитывая, что  $dz = -dH$  ( $H$  – глубина), находим

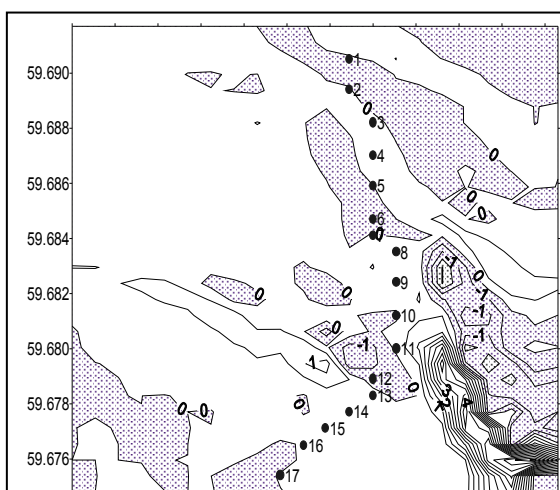
$$\frac{dH}{dt} = \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y}. \quad (16)$$

Итак, изменение глубины вычисляется простым суммированием по времени величин  $(\partial q_x / \partial x) + (\partial q_y / \partial y)$ , которые в свою очередь определяются методом конечных разностей в узлах регулярной сетки.

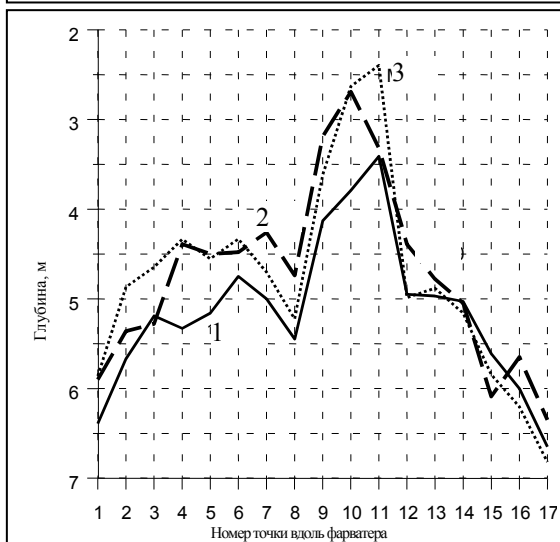
**2. Верификация модели.** Созданные программные средства были использованы для расчетов деформаций дна и получаемых при этом новых глубин в зоне Усть-Лужского канала на основе регулярных (через 6 ч) метеоданных о скорости и направлении ветра в течение декабря 1999 г. – мая 2000 г. (кроме февраля – марта 2000 г., т. к. в эти месяцы вся акватория была покрыта льдом и транспортировка наносов происходить не могла из-за отсутствия поверхностных волн). Полученные результаты были сопоставлены с натурными данными двух промерных съемок, выполненных в августе 1999 г. и в июне 2000 г. (рис. 4). Отчетливо проявляется изменение глубин примерно на 1 м в районе поворота фарватера канала, причем изменения по натурным и расчетным данным достаточно хорошо совпадают. Результаты расчетов деформаций дна за те же месяцы 1999 и 2000 г. (рис. 5) показывают, что аккумуляция наносов наблюдается в районе поворота канала, причем ее величина на фарватере может достигать примерно 1 м. На левом берегу западнее опорных точек 10–11 накопление наносов может достигать больших величин – 2–2,5 м. В то же время правый берег канала имеет тенденцию к увеличению глубин, т. е. там происходит размыв дна. За указанный период времени этот размыв дна может достигать 2–2,5 м. Расчетное распределение глубин вдоль опорных точек фарватера достаточно хорошо соответствует натуре (рис. 6). Наибольшие изменения глубин наблюдаются в районе 9–11 опорных точек фарватера – примерно 1 м. Особенно хорошо расчет воспроизводит глубины вдоль фарватера между 11–17 опорными точками (см. рис. 6). В районе 1–9 опорных точек картина несколько хуже, хотя основные особенности изменения глубины воспроизводятся достаточно адекватно.







**Рис. 5. Деформации дна в районе Усть-Лужского канала по расчетным данным.**



**Рис. 6. Распределение глубин вдоль опорных точек фарватера: 1 – август 1999 г, 2 – июнь 2000 г, 3 – расчет.**

Отмеченные расхождения между расчетными и натурными данными можно объяснить следующими причинами:

1. Сложность реальных процессов динамики наносов под действием гидрометеорологических факторов и соответственно сложность и неизбежная приближенность созданной гидродинамической модели, содержащей четыре блока и большое количество полуэмпирических соотношений, полученных в том числе и в лабораторных условиях.

2. Некоторые расхождения в сроках выполнения промерных работ и использованных данных гидрометеорологических наблюдений.

Тем не менее, выполненный анализ показал, что созданная модель динамики наносов в районе Усть-Лужского канала достаточно точно смогла предсказать изменение глубин вдоль фарватера за период между ноябрем 1999 г. и июнем 2000 г. на основе регулярной оперативной информации о скорости и направлении ветра. Это позволяет рекомендовать данную модель для оперативных прогнозов динамики наносов на основе регулярных метеонаблюдений, для моделирования ситуаций в районе канала при искусственных изменениях глубин, а

также прогнозирования деформаций дна при наиболее неблагоприятных гидрометеорологических ситуациях.

**Выводы.** Сопоставление результатов выполненных расчетов деформаций дна Усть-Лужского канала с данными непосредственных измерений показало, что созданная модель динамики наносов на основе усвоения гидрометеорологических данных достаточно адекватно описывает реальные литодинамические процессы в данной акватории. Это позволяет сформулировать следующие представления о механизме деформаций дна канала.

Под действием преобладающих западных и северо-западных ветров в теле канала формируется система течений и поверхностных волн. При взаимодействии поверхностных волн с донным материалом образуются донные рифели и взвесь, которые переносятся в направлении генерального распространения поверхностных волн и дрейфовых течений, причем преобладающий вклад в транспорт наносов дает взвесь. Деформации дна происходят в тех зонах, где изменяется горизонтальная скорость течения. Там, где происходит уменьшение скорости течения, наносы оседают и глубина уменьшается; при увеличении скорости течения наблюдается размыв и углубление дна.

Система дрейфовых течений под действием преобладающих ветров западного направления имеет следующие особенности. В зоне, находящейся северо-западнее канала и прилегающей к берегу Финского залива, глубины изменяются относительно медленно и поэтому скорости дрейфовых течений (примерно 8–12 см/с при скорости ветра 18–20 м/с) изменяются незначительно. В связи с этим деформации дна здесь незначительны. В районе отмели на левом берегу канала происходит значительное (в два–три раза) увеличение скорости течений, а затем ее резкое уменьшение в самом канале за счет увеличения глубины при неизменном общем расходе. Поэтому в этом месте наблюдается максимальное выпадение наносов и формируются локальные участки подъема дна (банки). На правом берегу канала глубины уменьшаются и скорости течения за счет этого возрастают, т. к. расход остается неизменным. При этом происходит размыв дна и увеличение глубин.

Указанные особенности деформации дна соответствуют ситуации, при которой фарватер смещается в восточном направлении, а за счет неравномерности течений и динамики наносов происходит также его поворот против часовой стрелки. Такая картина реально наблюдается по данным многих промерных съемок, что также подтверждает адекватное воспроизведение предложенной моделью сложного механизма динамики наносов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы исследования и математического моделирования экосистемы Балтийского моря. Вып. 5. Экосистемные модели. Оценка современного состояния Финского залива. Ч. 2. Гидрометеорологические, гидрохимические, геологические условия и динамика вод Финского залива. С. Пб.: Гидрометеориздат, 1997. 450 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: "Наука". 1969. 742 с.
3. Кушнир В. М., Лебедева Т. П., Линская Е. Б. Слоистая структура придонного пограничного слоя в Черном море//Морской гидрофизический журнал. 2000. №6. С. 45–55.
4. Weatherly G. L., Martin P. J. On the structure and dynamic of the oceanic bottom boundary layer. Journal of Phys. Oceanogr. 1978. V. 8№. P. 557–570.
5. Иванов В. А., Михинов А. Е. Прогноз динамики наносов в прибрежной зоне моря (Практические рекомендации и примеры расчетов). Препринт МГИ АН УССР. Севастополь.: Изд. МГИ АН УССР. 1991. 50 с.
6. Кудрявая К. И., Серяков Е. И., Скриптунова Л. И. Морские гидрологические прогнозы. Ленинград: Гидрометеориздат, 1974. 310 с.

---

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

---

ГРНТИ 78.21.37.17

## **НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОМ ПЛАНИРОВАНИИ МОРСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

**С.И. МАСТРЮКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*На основе имеющегося в ГНИНГИ опыта информационного обеспечения заблаговременного планирования морской деятельности изложены и проиллюстрированы некоторые проблемы, возникающие при использовании информации о гидрометеорологическом режиме морских акваторий, и предложены пути их решения.*

Объективная тенденция возрастания роли Мирового океана как объекта энергетических, минеральных и пищевых ресурсов нашей планеты, интенсивное развитие морских транспортных систем привели к осознанию сложности проблем освоения океана и связанного с ними обеспечения экологической безопасности. Отсюда естественным представляется постоянное решение нормативно-правовой базы, регламентирующей различные аспекты морской деятельности. К настоящему времени действующие отечественные государственные и отраслевые стандарты, "Правила морского судоходства", "Строительные нормы и правила", другие документы, а также признаваемые Россией международные конвенции, резолюции и рекомендации ряда международных организаций охватывают практически все ее стороны.

В этих нормативных документах гидрометеорологическая информация рассматривается в качестве исключительно важной и неотъемлемой части систем обеспечения морской деятельности, необходимой на всех этапах принятия решений и управления.

На ранних стадиях планирования морских операций и проектирования морских объектов основным видом гидрометеорологической информации является климатическая и расчетная гидрометеорологическая информация, представляющая собой те или иные статистические характеристики состояния природной среды океана [1-6].

Эффективность использования данной информации зависит от ряда факторов, среди которых особо следует отметить:

- обоснованность расчетных методов учета влияния среды на морские объекты (этапы морских операций);
- достоверность статистических характеристик состояния природной среды;
- формы представления гидрометеорологической информации;

- учет статистической неопределенности информации о состоянии среды при принятии решений.

Оценка обоснованности использования расчетных методов учета состояния среды не является целью настоящей статьи. Однако о существовании данной проблемы свидетельствуют результаты расчета ледовых нагрузок на ледокольную стационарную платформу, выполненные в соответствии со СНиП 2.06.04-82 Госстроя СССР [5] и Национального стандарта Канады [7]. По данным [15], при одинаковых ледовых условиях результаты расчета ледовой нагрузки на один и тот же объект, полученные по двум национальным стандартам, отличаются между собой в 5-7 раз.

Достоверность статистических характеристик состояния природной среды зависит:

- от объема и временного распределения выборочной совокупности исходных данных;
- от точности принятых методов обработки, расчета или моделирования.

К первой группе факторов, обуславливающих достоверность статистических характеристик среды, относятся обычно не учитываемые **изменения или колебания климата**. Принято считать, например, что, при 30 – летней выборке данных наблюдений мы получаем достоверные характеристики метеорологического режима.

В качестве иллюстрации наличия серьезных климатических изменений во второй половине XX в. ниже приведены графики суммы градусо-дней мороза в районе Санкт-Петербурга за последние 40 зим (рис. 1) и среднее месячное число штормов в восточной части Финского залива за два примерно одинаковых временных интервала (рис. 2).

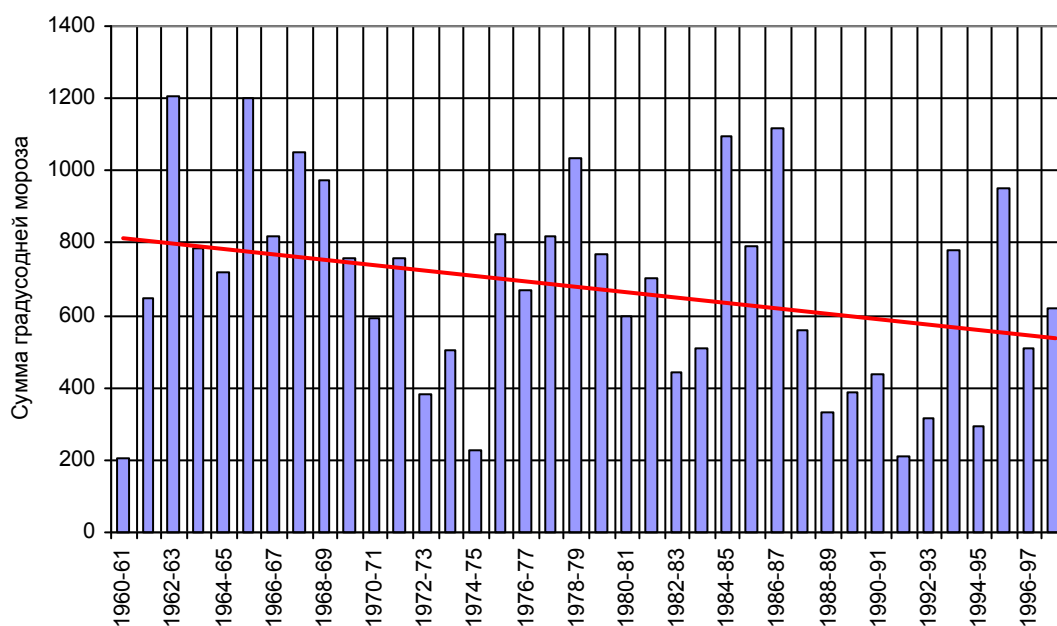


Рис.1 Ход суммы градусо-дней мороза в районе Санкт-Петербурга и линия ее тренда (—) в зимы 1960-61 – 1997-98 гг.

Данные рис.1 свидетельствует о явной тенденции смягчения зим в выбранном районе.

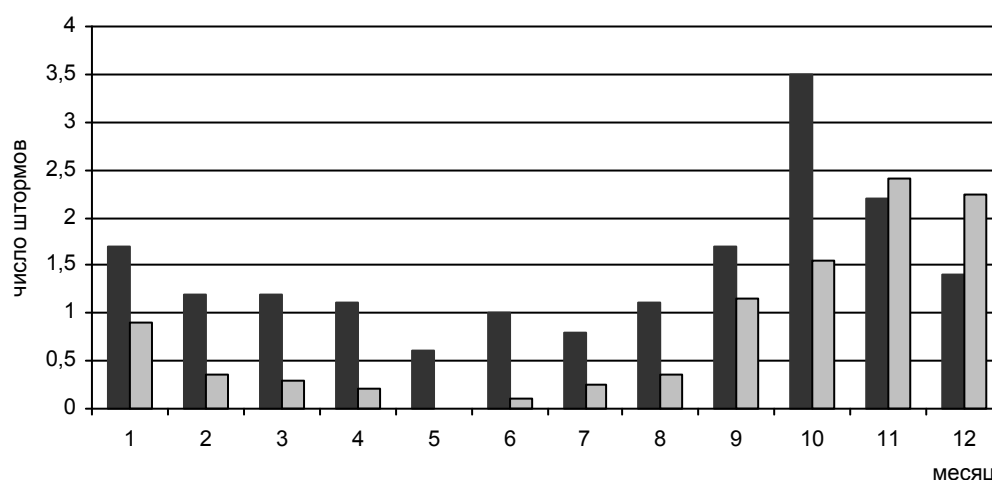


Рис.2. Годовой ход среднего числа штормов в месяц в период 1922-1958 гг. (■) и 1966-1985 годы (□).

Среднее число штормов в год за последние 30 лет (рис. 2), по сравнению с предыдущим периодом, уменьшилось вдвое, а годовой максимум штормовой активности сместился с октября на ноябрь. Особенно заметно уменьшение штормовой активности в весенний и летний периоды. Подобные изменения статистических характеристик состояния природной среды отмечены нами и в других районах [8].

Видимо, пренебрегать климатической изменчивостью нельзя. Поэтому одним из требований к выборкам исходных данных наряду с их объемом должно быть требование учета климатических изменений как минимум за последние 10-20 лет.

Ввиду этого к использованию некоторых из существующих справочных пособий по гидрометеорологическому режиму ряда акваторий следует относиться более внимательно. Одновременно должно быть повышено внимание к пополнению и актуализации баз гидрометеорологических данных.

К той же группе факторов, обуславливающих достоверность статистических характеристик среды, можно отнести **нарушение однородности исходных рядов**, вызванное, например, сменой измерительных приборов, изменением числа сроков наблюдений и т.п., а также **смену методов обработки**.

В качестве примера отметим, что в нашей стране при составлении Справочника по климату СССР (1960 - 1966 гг. издания) расчетные скорости ветра редкой повторяемости оценивались по всей совокупности наблюдений с использованием распределения Вейбулла (третье предельное распределение). При составлении же Научно-прикладного справочника по климату СССР 1986 - 1989 гг. издания расчет выполнялся по данным о годовых максимумах скорости ветра с использованием распределения Гумбеля (первое предельное распределение).

Согласно [10] результаты сравнения полученных оценок с данными фактических наблюдений за продолжительный период свидетельствуют о том, что использование всей совокупности наблюдений и распределения Вейбулла приводит к заметному (на несколько м/с) завышению расчетных скоростей ветра. Вместе с тем, использование первого предельного распределения и годовых максимумов скорости ветра позволяет существенно снизить эту систематическую погрешность. Для последнего метода при типичной изменчивости скорости ветра и длине ряда 30 лет с вероятностью 68% погрешность расчетной скорости ветра, возможной 1 раз в 10 лет, составляет 0,5 м/с, а 1 раз в 50 лет – 1,8 м/с.

Отметим, что согласно СНиП Госстроя [6], расчетные скорости ветра должны определяться с использованием первого предельного распределения. За рубежом, например, в Канаде, согласно национальным строительным нормам, для расчета скоростей ветра редкой повторяемости также должно использоваться первое предельное распределение [11]. В то же время в США, в соответствии с национальным стандартом АНСИ, расчетные скорости ветра требуется определять с использованием второго предельного распределения (Фишера-Типпета) [11].

Небольшой объем выборки исходных данных, а иногда и их полное отсутствие в конкретных географических районах, вынуждают специалистов для получения режимных характеристик применять те или иные **модели физических процессов**.

Достигнутый к настоящему времени уровень термогидродинамических моделей обоснованно привел к широкому их использованию для получения необходимых статистических характеристик режима.

К числу основных требований, предъявляемых к рассматриваемым моделям, должны относиться требования о сертификации, наличии ведомственных рекомендаций об их использовании или по крайней мере, - наличие результатов сопоставления модельных расчетов с результатами натурных наблюдений.

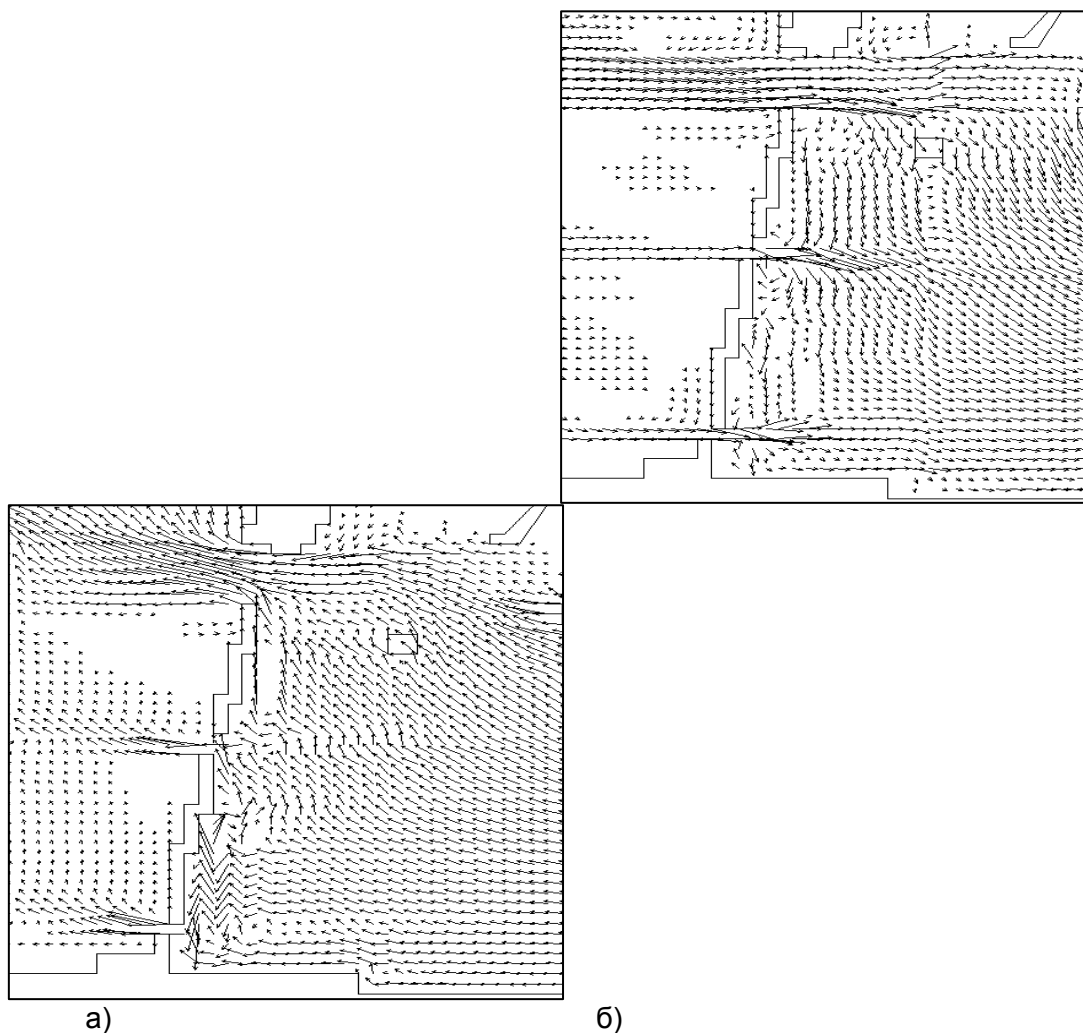
Безусловно, процедура регламентации процесса применения тех или иных моделей сложна, а в некоторых случаях может быть и излишней. Однако в настоящее время на государственном уровне правила ее еще не отработаны, что в конечном счете повышает риск получения недостоверных результатов.

Несколько лет назад доверие проектантов к результатам численного моделирования было сравнительно невелико. Теперь положение кардинально изменилось. Разработанные в ряде ведущих мореведческих организаций страны (ААНИИ, ГОИН) численные модели прошли детальную проверку и успешно используются для расчета характеристик волнового режима, режима течений, уровня и отдельных характеристик ледового режима [12,13]. Для оценки вероятностных характеристик гидрометеорологических параметров широко используются параметрические и вероятностные модели. В последние годы отмечается дальнейшее развитие этого вида моделей; особенно необходимо отметить исследования СПО ГОИН, успешно развивающих это направление [15,16]. Результаты моделирования используются как при информационном обеспечении проектных работ, так и в практике оперативного гидрометеорологического обеспечения.

В НИНГИ также накоплен определенный опыт разработки гидродинамических моделей, их проверки и использования для оценок режима течений, колебаний уровня и волнения [17-19].

Важным элементом для повышения эффективности использования результатов моделирования является выбор форм представления результатов расчетов. Возрастает потребность представления результатов расчета в картированном и графическом виде с высоким пространственным разрешением.

В качестве примера на рис.3 приведены результаты моделирования течений в Невской губе (Финский залив) в районе Санкт-Петербурга с разрешением 150м [18].



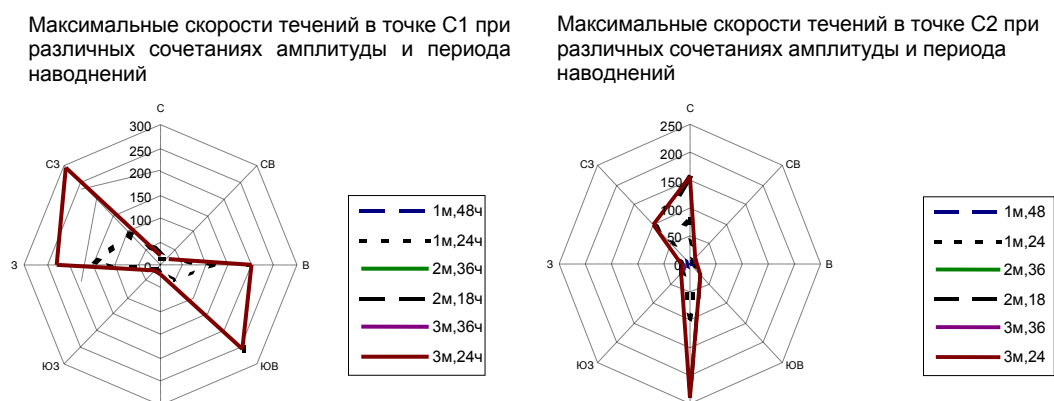
**Рис. 3** Схема циркуляции воды при сгоне (а) и нагоне (б) амплитудой 1 метр в районе южных водопропускных и судопропускных отверстий комплекса защиты Санкт-Петербурга от наводнений

Формы представления результатов обработки данных численного моделирования, видимо, должны соответствовать традиционным формам представления результатов статистической обработки данных натурных измере-

ний, как это сделано для данных численного моделирования в районе южных и северных судопропускных ворот комплекса защиты Петербурга от наводнений (рис. 4).

При известной повторяемости каждого типа граничных условий, использованных при проведении серии численных экспериментов, появляется возможность оценки повторяемости тех или иных значений гидрометеорологических параметров (в данном случае скорости течений).





**Рис. 4. Результаты обработки данных численного моделирования в районе южных и северных судопропускных ворот комплекса защиты Петербурга от наводнений.**

Разработанные в НИНГИ МО численные модели течений основаны на использовании теории мелкой воды, они учитывают основные факторы, определяющие режим течений, позволяют адекватно задавать граничные условия. Построены и верифицированы модели циркуляции воды и колебаний уровня для восточной части Финского залива и Невской губы, северной части Каспийского моря, Белого моря. Отлажена технология построения таких моделей для ряда других географических районов. Модели этого класса позволяют успешно воспроизводить приливные течения и колебания уровня практически в любом регионе. Достаточно просто и с высоким разрешением они могут быть реализованы в полузамкнутых акваториях, где велика роль приливов (Белое море, Обская губа, Северное море и т.п.). Такие модели пригодны для расчета ветровой циркуляции в мелководных акваториях, особенно там, где можно пренебречь горизонтальной неоднородностью поля плотности. При дополнении уравнениями переноса примеси, динамики льда они могут стать основой для моделирования (расчета) ледовых условий, экологического состояния водной среды.

Безусловным требованием к формам представления результатов моделирования должны стать простота интерпретации и понятность лицам, принимающим решения. На рис.5 приведены результаты расчета характеристик окон погоды в июне в бассейне Белого моря – среднее (а) и максимальное (б) время ожидания (с обеспеченностью 95%) – по данным натурных наблюдений и имитационного моделирования [9]. Представляется, что такая форма интерпретируется достаточно просто.

Имитационное моделирование комплексов гидрометеорологических величин, на наш взгляд, может стать существенным дополнением к набору классических методов статистической обработки результатов наблюдений.

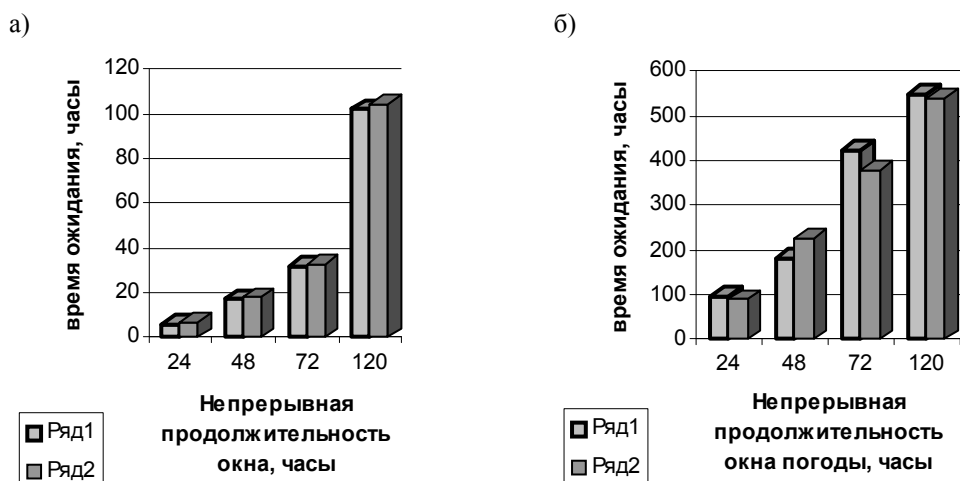


Рис.5. Среднее (а) и максимальное (б) время ожидания окна погоды в Бассейне Белого моря. Ряд 1 – по данным натурных наблюдений, ряд 2 – данные имитационного моделирования

Практика планирования и управления морскими операциями свидетельствует о сложности и многофакторности этого процесса. Представляется, что упростить процесс принятия решений можно с применением специальных информационных систем, основанных на использовании географических информационных систем (ГИС). ГИС позволяют интегрировать разнородную информацию, необходимую для обеспечения принятия решений. Включение в состав таких систем, навигационной, гидрографической и расчетной гидрометеорологической информации позволит повысить эффективность использования имеемой информации.

Поскольку неизменными атрибутами гидрометеорологической информации, в том числе результатов моделирования, являются координаты и время, то включение их в состав таких систем не должно вызвать значительных трудностей.

**Методы учета состояния природной среды** при принятии решений на этапах заблаговременного планирования морской деятельности, а также при проектировании технических комплексов и сооружений в целом известны и достаточно разработаны, в том числе в работах специалистов ГНИНГИ МО [2]. Вместе с тем, представляется, что они недостаточно широко используются на практике. Следуя [8], проиллюстрируем один из подходов к учету состояния среды.

Совокупность гидрометеорологических условий  $F$  (комплексов влияющих гидрометеорологических параметров) может быть (в зависимости от задач) разделена на некоторое число групп. Например, –  $F_1$  благоприятные,  $F_2$  сложные и  $F_3$  критические условия. Предположим  $F_1$  – вероятность мягкой зимы, когда реализуются нормальные условия реализации плана или эксплуатации объекта и не требуются дополнительные средства на решение задачи.  $F_2$  – вероятность умеренной и суровой зимы, когда требуются некоторые дополнительные средства для решения задачи или будут сравнительно небольшие восполнимые потери.  $F_3$  – вероятность очень суровой зимы, когда могут наблюдаться большие восполнимые или невозполнимые потери.

Действия лиц, принимающих решения, могут быть ориентированы в нашем случае на реализацию благоприятных, сложных или критических условий. Каждая из таких "стратегий"  $A_1, A_2, A_3$  потребует различных затрат на реализацию намеченного плана. Понятно, что минимальные затраты на проведение операции (проектирование объектов) будут выделены лицами, ориентированными на благоприятные условия, максимальные – на критические.

Если каждой комбинации  $A_i, F_j$  сопоставить ущерб ( $L < 0$ ) или прибыль ( $L > 0$ ) как следствие выбора стратегии  $A_i$  при реализации состояния среды  $F_j$ , будет получена, так называемая функция потерь  $L(A_i, F_j)$ . Безусловно, расчет такой функции является сложной самостоятельной задачей.

Предположим, такая функция получена и имеет вид:

$$= \begin{vmatrix} A_1F_1 & A_2F_1 & A_3F_1 \\ A_1F_2 & A_2F_2 & A_3F_2 \\ A_1F_3 & A_2F_3 & A_3F_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0.8 & 0.6 \\ -1 & 1 & 0.8 \\ -10 & -1 & 1 \end{vmatrix}$$

Единицы по диагонали матрицы означают реализацию нормального (предусмотренного стратегией) режима морской операции (эксплуатации объекта). Положительные числа меньше единицы справа от диагонали означают уменьшение прибыли, вследствие дополнительных затрат на ожидавшиеся, но не реализованные более суровые гидрометеорологические условия. Отрицательные числа слева от диагонали означают удельные потери, вызванные неполным решением задачи, срывом операции или затратами на ликвидацию последствий неучтенных более суровых, чем ожидалось, гидрометеорологических условий.

В среднем ожидаемая выгода  $R$  в зависимости от выбранной стратегии определяются вероятностью  $P$  состояний  $F_1 \dots F_n$ :

$$R(A_i) = \sum_k L(A_i, F_k) P(F_k)$$

Предположим, вероятности выбранных типов зим (мягкая, умеренная и суровая, очень суровая) равны 0.15, 0.75 и 0.1 соответственно.

Тогда для приведенной функции потерь средняя выгода для стратегии  $A_1$  составит  $-1.6$ , для стратегии  $A_2$  она окажется равной  $0.77$ , для стратегии  $A_3$  средний риск будет минимален, поскольку ожидаемая выгода будет максимальной и составит  $0.79$ .

При других функциях потерь и вероятности комплексов гидрометеорологических условий в качестве оптимальной стратегии по показателю среднего риска может оказаться любая из стратегий.

Таким образом, для повышения качества гидрометеорологической информации и эффективности ее использования на этапах заблаговременного планирования морских операций (проектирования морских объектов):

- необходимо учитывать климатические изменения в последние 10-20 лет, для чего следует поддерживать в актуальном состоянии базы гидрометеорологических данных;

- при использовании справочных руководств и пособий по гидрометеорологическому режиму необходимо учитывать факторы, приводящие к нарушению однородности исходных рядов наблюдений, а так же смену методов расчета характеристик гидрометеорологического режима;
- необходимо расширять применение современных методов численного моделирования течений, колебаний уровня, волнения, характеристик ледяного покрова, а также вероятностных и имитационных моделей гидрометеорологических процессов;
- необходимо совершенствовать формы представления гидрометеорологической информации, в частности путем ее интеграции с другими данными о состоянии природной среды в рамках управляющих информационных систем, построенных на базе современных геоинформационных технологий;
- целесообразно сведения о гидрометеорологическом режиме морских акваторий, подготовленные для решения данных прикладных задач, дополнять оценкой риска тех или иных решений, связанных с учетом состояния природной среды.

Для совершенствования эффективности использования гидрометеорологической информации в ГНИНГИ МО целенаправленно ведутся работы по пополнению баз данных о состоянии природной среды; по разработке проблемно-ориентированных приложений, включающих численные модели состояния среды и интегрированных с базами данных; по развитию методов учета состояния среды и форм представления гидрометеорологической информации. Необходимый задел и информационные ресурсы для этого имеются.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. General Requirement, Designing and Constructing Structures and Pipelines for Arctic Conditions, National Standard of Canada. 1992.
2. Беляев Б.Н. Прикладные океанологические исследования. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 142 с.
3. Ведомственные строительные нормы. Инженерные изыскания на континентальном шельфе. ВСН 51.2-84. Мингазпром. 1985г.
4. Ведомственные строительные нормы. Проектирование морских подводных нефтегазопроводов. ВСН 51.9-86. Мингазпром. 1987г.
5. Ведомственные строительные нормы. Проектирование морских стационарных платформ. ВСН - 51.3-85. Мингазпром СССР. 1985г.
6. Клеванный К.А., Матвеев Г.В. Моделирование воздействия гидротехнических сооружений на гидрологический режим восточной части Финского залива с помощью программной системы CARDINAL. Международный научно-практический симпозиум "Финский залив-96". СПб: "Балтвод". 1996г. С.51-58.
7. Лавренов И.В. Математическое моделирование волнения в пространственно неоднородном океане. С.Петербург. Гидрометеоиздат. 1998. 499с.
8. Лопатухин Л.И., Лавренов И.В., Рожков В.А., Бухановский А.Б., Дегтярев А.Б., Ветро-волновой режим нефтегазоносных месторождений Баренцева, Печорского и Карского морей. Труды 6-ой Международной конференции по судам и морским конструкциям в холодных регионах. Санкт Петербург. 2000г. С.475-481.
9. Мاستрюков С.И. Имитационное моделирование статистических характеристик окон погоды в интересах информационной поддержки планирования морских операций. Навигация и гидрография. 1999г
10. Мастрюков С.И. Математическая модель, как ядро системы гидрологического и экологического мониторинга бассейна Невской губы. "Мониторинг" №1. 1996г. С.5-9.
11. Мастрюков С.И. Моделирование течений в Невской губе. Навигация и гидрография, 2000г.
12. Мастрюков С.И., Веренчиков Н.Н. Адаптивная гидродинамическая модель приливных колебаний уровня Белого моря. - Метеорология и гидрология. 1997г. № 2. С.68-73.
13. Мастрюкова Е.В. К методике расчета экстремальных скоростей ветра. Тр.ГГО им. А.И.Воейкова. 1987г. Вып. 515. С.36-41.
14. Мирзоев Д.А., Зильберштейн О.И., Лопатухин Л.И., Миронов Е.У., Михайлов Н.Н. Концепция обеспечения специализированной гидрометеорологической информацией проектирования сооружений на шель-

- фе арктических морей. Тр.4-ой Международной конференции "Освоение шельфа арктических морей". С.-Пб. 1999г. Ч.1. С.311-318.
15. Орлов О.П., Симонов Ю.П., Шпаков В.С. Нормативные и правовые аспекты научного контроля экологической безопасности технических средств добычи и транспортировки нефти и газа в холодных регионах. Труды 6-ой Международной конференции по судам и морским конструкциям в холодных регионах, Санкт Петербург. 2000г. С.569-574.
  16. Пособие по инженерным изысканиям для проектирования и строительства магистральных газопроводов на шельфе РАО ГАЗПРОМ. 1996г.
  17. Рожков В.А. и др. Вероятностные модели и экстремумы годовой ритмики гидрометеорологических процессов. Навигация и гидрография. №9. 2000г.
  18. Симиу Э., Скоклан Р. Воздействия ветра на здания и сооружения. Л.: Стройиздат, 1984г. 358с.
  19. Строительные нормы и правила. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. СНиП 11-02-96 – Минстрой РФ, 1996 г.
  20. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). СНиП 2.06.04-82. М.: Госстрой СССР, 1986г. 40с.
  21. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия. СНиП 2.01.07-85. М.: Госстрой СССР. 1986г. ГРНТИ 551.508.9

ГРНТИ 37.21.51

**ЦИКЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ВО ВРЕМЕННОМ ХОДЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Ю.Н. ЖУКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Для выявления периодических составляющих во временном ходе гидрометеорологических процессов целесообразно использовать циклические системы времени. Применение таких систем позволяет выявить периодическую компоненту во временном ходе процесса, а, следовательно, и получить метод ее прогноза. Кроме того, при использовании циклических систем времени отпадает необходимость длительных рядов наблюдений с постоянной дискретностью.*

В настоящее время накоплен обширный массив данных по наблюдениям за гидрометеорологическими процессами в различных пространственно-временных масштабах изменчивости. Широко применяются спутниковые методы измерения и наблюдения, позволяющие получать разнообразную информацию о состоянии гидрометеорологических полей во времени и пространстве. Наблюдаемые гидрометеорологические процессы во всех пространственно-временных масштабах имеют нестационарный, "случайный" (хаотический) характер. Однако, сравнивая изменчивость гидрометеорологических процессов в различных пространственно-временных интервалах, исследователи интуитивно находят их признаки повторяемости во времени. Это является косвенным основанием для широкого применения методов Фурье-анализа для выявления периодических компонент в гидрометеорологических процессах. Однако его применение не позволяет найти синфазные участки изменчивости в рядах наблюдений, т. к. он обладает только свойством частотного, но не пространственно-временного, разрешения. Другими словами, нет связи между частотными осями Фурье-образа сигнала и пространственно-временными осями исходного сигнала.

Альтернативным методом выявления скрытой периодичности, связанным с влиянием астрономических гравитационных сил на динамику гидрометеорологических процессов, является метод А.И. Дуванина [1, 2]. В основу его положена идея использования иной шкалы времени, отличной от принятой сейчас линейной шкалы гражданского времени. В качестве такой новой шкалы предлагается использовать циклическую меру времени, связанную с последовательностью повторений астрономических ситуаций в системе Земля – Луна – Солнце. Полный цикл этой шкалы равен приблизительно 19 годам. Этот метод практически не используется, хотя в многочисленных работах Дуванина подчеркивается его практическая значимость, которая выразилась в создании на основе этого метода так называемых постоянных Таблиц приливов. В этой статье дается обоснование этого метода на основе результатов исследований в области анализа нелинейных динамических систем.

Под процессом будем понимать последовательную во времени смену состояний гидрометеорологического параметра. Традиционно при анализе повторяющихся состояний (периодических явлений) гидрометеорологического процесса изучают только сами измеренные его значения. При этом не рассматривается и не анализируется система времени, в которой производились наблюдения. Но ведь процедура гидрометеорологических наблюдений включает не только измерения значений гидрометеорологического параметра, но и измерение времени наблюдения. Попробуем ликвидировать этот пробел.

Не касаясь философских и физических аспектов понятия времени, обратим внимание только на его операционный ("измерительный") аспект. Время – одно из основных понятий, используемых при проведении и анализе наблюдений и моделировании гидрометеорологических процессов. При этом оно входит в описание двумя различными способами: при математическом моделировании – в качестве параметра в соответствующие уравнения, а при анализе и проведении наблюдений – как способ "хронологического упорядочения". В обоих случаях формальные свойства времени в гидрометеорологии одни и те же, а именно время представляется независимой непрерывной одномерной переменной.

Такая точка зрения на время принадлежит классической ньютоновской механике. При этом время наделяется свойством независимости в связи с тем, что по Ньютону время существует само по себе и не имеет никакого отношения к чему-либо внешнему относительно него самого. Областью значений абсолютного времени считается вся числовая ось от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Еще одно важное, достаточно трудное для восприятия свойство абсолютного времени, – изменение его с равномерной скоростью. Причина состоит в том, что вычисление скорости течения ньютонова времени само нуждается в использовании дополнительного датчика времени. В своей формулировке Ньютон уклоняется от этой трудности, просто постулируя свойства времени: "Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью" [3]. В этом случае время становится абстрактным понятием, предназначенным лишь для проведения модельных исследований. Приобретать практическую ценность оно может, когда адаптируется к конкретному изучаемому процессу. При решении самых разнообразных

прикладных проблем ньютоново время автоматически отождествляется с показаниями часов, в общем случае связанных с движениями Земли.

Концепция ньютонова времени широко используется во всех отраслях знаний потому, что в ней понятие времени определяется через набор аксиоматических свойств, которые со временем стали общепринятыми, а использование ньютонова времени "очевидным". В то же время вопрос о том, каковы истоки этого понятия времени и как им пользоваться в техническом приложении, требует глубокого осмысления.

Поэтому уделим внимание проблеме времени как способу "хронологического упорядочения" в процедуре наблюдений и в последующем их анализе. Действительно, в общем случае концепция применения времени в измерительных операциях гидрометеорологии не рассматривалась, хотя А. Пуанкаре утверждал [4], что различные способы определения времени являются по существу различными языками для описания одних и тех же процессов, и при выборе конкретного времени необходимо руководствоваться прежде всего тем, чтобы сущность исследуемого процесса была наиболее выявлена. Время само по себе не измеряемо, оно образует (вместе с пространством) только каркас, в котором исследователь организует физические события. В принципе этот каркас можно выбрать любым, но нужно стараться максимально приблизить его к сущности наблюдаемых явлений.

Для наших целей необходимо принять некое конструктивное определение времени. Обратимся к уже известным альтернативным концепциям его понятия. Представляется, что нужно воспользоваться вполне конструктивным конкретным понятием, заложенным в определении времени Н.И. Лобачевского: "Движение одного тела, принимаемое за известное для сравнения с другим, называется временем" [5]. С этой точки зрения на определение времени сейчас при производстве наблюдений и их анализе используется сравнение гидрометеорологического процесса с известным движением общепринятых часов, тогда как в методе Дуванина предлагается сравнивать процесс с движением системы Земля – Луна – Солнце. Как отмечалось выше, при использовании первого определения времени нельзя построить постоянных Таблиц приливов, а при использовании второго – можно.

Следует отметить, что определение времени Ньютона относится к контекстуальному виду дефиниций, а определение Лобачевского к операциональному виду [6]. Эти два вида дефиниций не сводимы друг к другу, т. к. определяемое контекстуальных определений формирует только внутренние свойства предмета, а определяемое операциональных определений делает акцент на способ возникновения объекта. Положим в основу дальнейших рассуждений определение времени Лобачевского и покажем, какие способы его реализации возможны в гидрометеорологии.

В настоящее время в гидрометеорологических исследованиях в математических моделях и при анализе рядов наблюдений используется ньютоново время, а при проведении измерений - часы, синхронизированные с так называемым средним солнечным временем, которое является циклическим (с периодом в одни средние солнечные сутки). Связь между временем моделей, анализом и процедурой измерения гидрометеорологических параметров осуществляется путем развертки циклического среднего солнечного времени

в линейный последовательный ряд введением временных интервалов: циклических – месяцев и нециклических – годов, столетий и т. д.

Наша задача состоит в том, чтобы прояснить, какие виды времени в соответствии с определением Лобачевского можно поставить вместо среднего солнечного для выделения циклическости во временных рядах гидрометеорологических наблюдений. Один вид времени, удовлетворяющий определению Лобачевского, нам уже известен. Это лунно-солнечное время Дуванина. А есть ли другие?

Для ответа на этот вопрос целесообразно обобщить определение Лобачевского. Воспользуемся идеей Александера [7], который в качестве датчика времени предлагает рассматривать изменение свойств тела, а не его механическое движение. Один из возможных вариантов ее реализации – замена слова "движение" в определении Лобачевского словами "изменение свойства", а слова "тела" словом "процесс". Определение будет иметь следующий вид: "изменение свойства одного процесса, принимаемое за известное для сравнения с другим, называется временем". Сразу заметим, что здесь слово "другим" может обозначать как "изменение свойства другого физического процесса" (движение системы Земля – Луна – Солнце, определяющее приливные колебания уровня моря на Земле), так и "изменение свойства того же физического процесса, разнесенного во времени или пространстве (приливные колебания в двух близких приливных станциях основной и дополнительный пункт). Но этого еще недостаточно. Необходимо ввести количественную характеристику времени – единицу измерения временных интервалов. Для этого примем понятие "натуральной меры времени процесса" как единицы исчисления последовательности повторяющихся "одинаковых" состояний процесса. Такая натуральная мера времени образует циклическое время с периодом цикла, равным интервалу времени между двумя последовательными моментами достижения процессом определенного состояния. Сейчас в качестве натуральной меры принято использовать одинаковые астрономические положения Земли при ее вращении вокруг своей оси. В общем случае под **повторяющимся состоянием** можно понимать любое **повторяющееся состояние** гидрометеорологического процесса, которое приведет к эффективному решению поставленной исследователем задачи. Однако общих рекомендаций здесь быть не может, выбор натуральной меры времени – творческая процедура. В сущности, в соответствии с полученным определением времени любой физический процесс, обладающий колебательным характером, можно было бы положить в основу определения единиц измерения времени. Здесь следует обратить внимание на то обстоятельство, что любые два процесса могут быть "часами" друг для друга.

В отличие от ньютонова времени циклическое время, построенное на некотором процессе, является неравномерным, нелинейным как по отношению к циклическому времени другого процесса, так и по отношению к общепринятому среднему солнечному времени. Однако всегда можно построить взаимно однозначное соответствие между разными временными системами, используя окружность в качестве математической модели циклического времени. Равномерное общепринятое циклическое среднесолнечное время



можно принять в качестве единого стандарта связи между циклическими временами.

Циклические системы времени в указанном выше смысле уже находят свое применение в физике. Как отмечалось выше, для выявления периодических составляющих в гидрометеорологических процессах за счет астрономических влияний, Дуваниным применено лунно-солнечное время. Это пример построения циклического времени по процессу, который по физическим свойствам отличается от изучаемого. Большое число разнообразных циклических систем времени применяется в работах по исследованию нелинейных динамических систем. Примером из этой области исследований являются опыты по изучению конвекции Рэлея-Бенара, в которых используют систему циклического времени по процессу одного и того же физического характера с исследуемым. В этих опытах выбираются две конвективные ячейки в жидкости, через которые проходит пучок света, и каждый падает на свой фотодиод. Нестационарный градиент температуры, создаваемый конвективными тепловыми ячейками, приводит к отклонению пучков света, модулируя фототок в фотодиодах. При анализе динамики конвекции один из сигналов служит опорным. Когда он достигает заданного значения, регистрируется величина сигнала на другом фотодиоде. Ясно, что при этом опорный сигнал является сигналом временных отметок для другого физически тождественного сигнала.

Познавательная и практическая значимость использования различных циклических систем времени заключается в том, что если некоторый гидрометеорологический процесс является периодическим (квазипериодическим) в некоторых циклических часах, то он может не быть таковым в других циклических часах. Покажем это на схематическом примере, для чего воспользуемся методом фазового пространства, предложенным Пуанкаре в конце XIX века для анализа сложных динамических систем [8]. Этот метод по существу является математической формой введения циклической системы времени и основным методом анализа в теории нелинейных динамических систем. В нем ньютоново время явно не представлено.

Пусть имеются наблюдения за двумя периодическими процессами. Для определенности можно положить, что это движение Луны вокруг Земли и колебания уровня моря в некотором пункте с полусуточным типом прилива. (Для простоты будем считать, что при наблюдениях время измерялось по среднему солнечному времени). Представим метод Пуанкаре графически. Значения фазы движения Луны  $\varphi_1$  и уровня моря  $\varphi_2$  примем за фазовые переменные. Они изменяются периодически от 0 до  $2\pi$ . В каждый момент времени состояние рассматриваемых процессов представляется парой значений фаз ( $\varphi_1, \varphi_2$ ). Последовательность этих фаз образует траектории в фазовом пространстве с координатами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ . Т. к. фазы меняются на конечных отрезках, а траектория образует бесконечную последовательность, то для графического представления фазовой траектории удобно выбрать поверхность тора. Для этого большая образующая тора будет являться осью фазы  $\varphi_1$ , а меньшая образующая тора –  $\varphi_2$  (рис. 1).

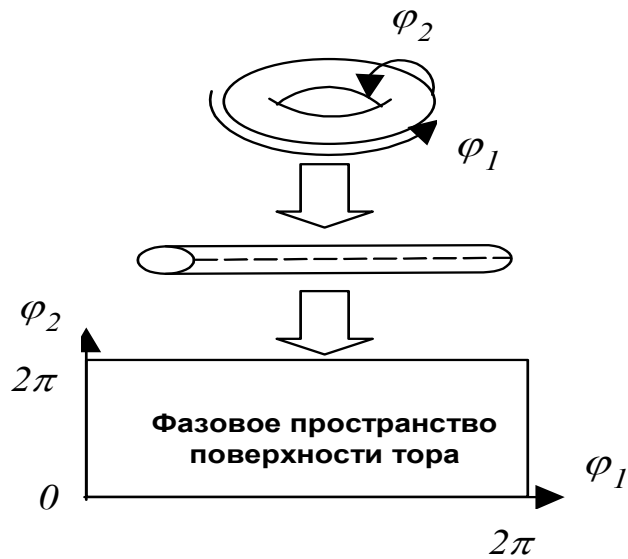


Рис. 1. Развертка поверхности двумерного тора.

Кроме того, удобно пользоваться разверткой тора на плоскость, которая производится в два этапа: сначала тор разрезается по малой окружности и распрямляется в трубку, а затем трубка разрезается вдоль осевой образующей и развертывается в прямоугольник (пунктирная линия на рис. 1).

Теперь, используя этот графический инструмент, легко показать эффективность введения циклической системы времени. Если предположить, что движение Луны и колебания уровня моря чисто периодические с соизмеримыми частотами, то точки траектории представляются в виде двух наклонных множеств (рис. 2).

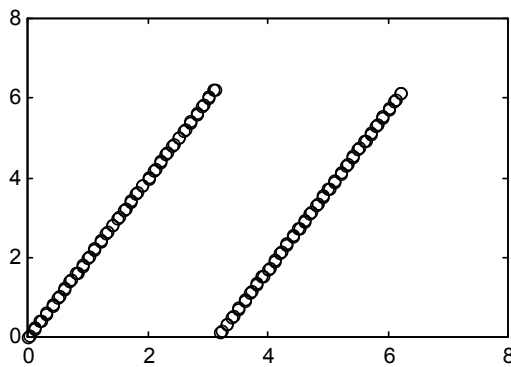


Рис. 2. Точки траектории чисто периодического процесса на развертке тора с синфазными периодами.

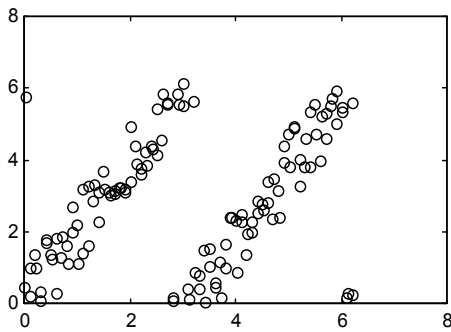


Рис. 3. Точки траектории квазипериодического процесса на развертке тора с синфазными периодами.

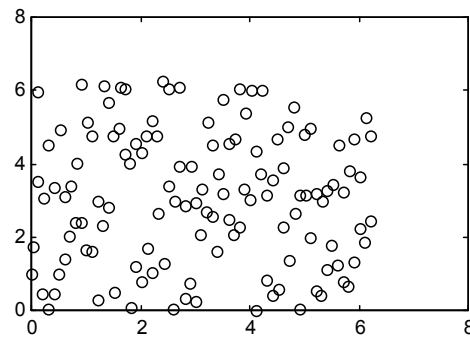


Рис. 4. Точки траектории квазипериодического процесса на развертке тора с не синфазными периодами.

В действительности процесс колебания уровня моря имеет квазипериодический характер. Однако и в этом случае, соответствующие ему точки траектории на торе имеют почти периодический характер (рис. 3).

Но если использовать в качестве часов циклическую систему, с частотой, несоизмеримой с приливной частотой (например, среднесолнечное время), то точки траектории на торе будут расположены хаотично, о чем свидетельствует график развертки тора (рис. 4).

Собственно говоря, это является простейшей графической иллюстрацией доказанной Якоби теоремы о том, что траектории на торе всюду плотно покрывают его поверхность (прямоугольник развертки тора), если отношение частот двух процессов иррационально, а если отношение частот рационально, то траектории состоят из конечного числа прямолинейных отрезков на развертке тора, последовательно проходимых с течением времени [8].

Важно заметить, что при использовании в анализе гидрометеорологических процессов циклической системы времени изменяется трактовка понятия "непрерывный ряд наблюдений". В традиционном варианте применения ньютонова времени в анализе рядов наблюдений это понятие включает два требования. Первое касается длительности временного интервала между измерениями (в соответствии с теоремой Котельникова этот интервал должен быть меньше половины изучаемого периода изменчивости гидрометеорологического процесса). Второе заключается в сохранении равномерности временных интервалов измерений в среднем солнечном времени. Кроме того, дополнительным требованием является большое число наблюдений во временном ряду. Но даже при соблюдении всех требований анализ периодичности в таком ряду наблюдений в системе среднего солнечного времени приносит мало пользы. При использовании циклического времени для выделения периодической составляющей в наборе наблюдений, приведенных выше, такие требования отсутствуют. Необходимо только получить наблюдения в нескольких различных точках на интервале периодичности циклического времени. При этом интервал между двумя последовательными измерениями в среднем солнечном времени может быть любой (от долей изучаемого периода до произвольно

большого числа полных циклов), и требование равенства интервалов отсутствует. Это является неоспоримым преимуществом использования циклических систем времени при анализе периодических явлений в гидрометеорологических процессах.

Прогноз периодических явлений, выявленных с использованием циклической системы времени, в одном случае очевиден, а именно тогда, когда можно прогнозировать процесс, служащий часами. Отсюда следует очевидное правило, что в качестве процесса, служащего часами, необходимо выбрать такой, для которого известны методы прогнозирования. Примером реализации такого подхода является циклическая система времени Дуванина, на основе которой получены постоянные Таблицы приливов.

Заметим, что различные системы времени используются не только в экспериментальной физике. Разномасштабные преобразования времени для эффективного решения динамических задач достаточно часто применяются также в математике. И разделение процессов на "быстрые" и "медленные" ("быстрое" и "медленное" время), и различные асимптотические методы используют идею о существовании собственного времени системы. Иногда для "удобства" объявляют в качестве времени любую монотонно возрастающую функцию, что позволяет эффективно найти решение.

Использование подходящих циклических систем времени представляется реальным ресурсом при анализе и прогнозе цикличности в гидрометеорологических процессах. Это подтверждается и тем, что этот способ знали и применяли для предсказания приливов еще в древней Греции и средневековой Европе [9, 10].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дуванин А. И. Приливной год и системы времени. // Вестник московского университета. Сер. 5. География. 1999, №2. С 8-13.
2. Дуванин А. И. Приливы в море. Л., ГИМИЗ, 1960.
3. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М. -Л., АН СССР, 1936.
4. Пуанкаре А. О науке. М., Наука, 1990.
5. Лобачевский Н. И. Полное собрание сочинений. М., 1949.
6. Шелов С. Д. Определение терминов и понятийная структура терминологии. СПб, СпбГУ, 1998.
7. Alexander S. Space, Time and Deity. London, 1927.
8. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. О детерминистическом подходе к турбулентности. М., Мир, 1991.
9. Дарвин Д. Приливы и родственные им явления в солнечной системе. М-П., ГИ, 1923.
10. Березкин В. А. Динамика моря. Л., ГИМИЗ, 1947.

---

# МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

---

ГРНТИ 78.21.37

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КАК ОСНОВА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕЖИМОМ РАБОТЫ СТРАТЕГИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И  
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ  
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА**

**К.Г. СТАВРОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)  
**В.К. ПАЛАМАРЧУК,**  
**Л.Г. ГЕОРГИЕВСКАЯ,**  
**В.А. КАЛИНИН**  
(ВНИИ "Океангеология")

*Рассмотрена методология геофизического (сейсмоакустического, магнитного, электромагнитного и т. п.) мониторинга с целью объективного анализа сейсмической опасности при проектировании крупных, экологически опасных объектов. Описаны пути выявления сейсмоконтролирующих структур (волноводов), апробированные в ходе экспериментальных работ в юго-восточной части Финского залива.*

Для Северо-западного региона России, в том числе для Санкт-Петербурга и Ленинградской области, актуальна разработка программы мониторинга прибрежных районов с целью объективного анализа сейсмической активности, в первую очередь, в районах действующих и строящихся стратегически важных объектов, в том числе экологически опасных.

Как принято считать, Ленинградская область расположена в районе со слабой сейсмичностью. Однако анализ показывает, что на территории Санкт-Петербургского региона в прошлом имело место землетрясение силой 10–11 баллов [1]. Свидетельством тому являются складки в красноцветных ледниковых отложениях Ладоги. По заиливанию древних поселений отложениями Ладоги археологами Кольского филиала РАН выявлена периодичность подобных крупных землетрясений. Исследованиями обнаружены также более поздние землетрясения силой до 8 баллов. А если учесть, что в 1976 г. на о. Осмуссаар в Балтийском море произошло землетрясение с магнитудой 4,75 и интенсивностью в эпицентре порядка 6–7 баллов [2], то высокий интерес к проблеме оценки сейсмичности Ленинградской области, особенно ее прибрежных районов, достаточно оправдан.

В работах [3, 4] предпринята попытка выработки подходов к решению проблемы прогноза землетрясений на основе новых информационных технологий, используемых для оценки сети наблюдений, выбора геофизических и других методов исследования состояния очагов землетрясений и создания их адекватных моделей, на основе которых можно построить надежные монито-

ринговые системы прогноза. Одним из наиболее оперативных видов мониторинга сейсмоактивных и экологически опасных районов является геофизический, в ходе которого исследуют естественные и искусственные электромагнитные, сейсмоакустические, стационарные магнитные и т.п. поля [5, 6]. При обследовании акваторий в программу экомониторинга включаются также гидрофизические съемки [7].

Согласно [3] очаг землетрясения - это геологическое тело значительных пространственных размеров, состоящее из массы пород, обладающих свойством аккумулировать упругую энергию, окруженное относительно непроницаемой для выхода накапливающейся в очаге энергии оболочкой, но имеющее возможность создания каналов выхода энергии на поверхность Земли. Как частный случай, выделен особый вид очага землетрясения "волновод - ловушка", представляющий собой замкнутый волновод, в котором накапливается энергия. Оболочка, окружающая объем напряженных пород, препятствует расширению тела очага. Во время землетрясения очаг соединяется с окружающим пространством каналом передачи энергии (например, по разлому, созданному в результате разрыва оболочки). Принятая модель очага является объектом поиска и решения задачи обнаружения и выделения соответствующих геофизических аномалий. Как показывают результаты аэрогеофизических исследований, на высотах 8–10 км исчезают аномалии, созданные геологическими неоднородностями верхней части разреза, и остаются "чистые" эффекты от более глубоких и крупных неоднородностей земной коры. В сейсмоактивных районах некоторые из этих неоднородностей являются телом очагов землетрясений. Такие очаги выделяются по пониженным скоростям упругих волн, пониженным плотностям и относительно отрицательным аномалиям геомагнитного поля.

Зная пространственное положение предполагаемых очагов землетрясений, можно вести поиски сейсмоконтролирующих структур, на выходе которых на поверхности Земли устанавливаются временные и стационарные пункты наблюдения мониторинговых систем (обсерватории). Нами разработаны методы обнаружения и исследования сейсмоконтролирующих структур с особыми условиями распространения упругих и электромагнитных волн - волноводов, в пределах которых соответствующие предвестники распространяются на большие расстояния с минимальными потерями энергии. Эти методы могут быть использованы для построения оптимальных сетей наблюдений.

Регистрация геофизических параметров на сейсмических обсерваториях при краткосрочном прогнозе выполняется непрерывно или эпизодически (в течение суток, месяца, года). При этом следует учитывать изменения пропускной способности информационных каналов (волноводов или других аномальных зон) в течение суток за счет приливных явлений, колебаний температуры и метеорологических факторов. За этот период в аномальных зонах могут претерпевать изменения как интенсивность, так и спектральный состав сейсмических, электромагнитных и других волн. Причем некоторые каналы могут полностью "закрываться", и тогда любой даже самый интенсивный предвестник не будет обнаружен. Зато при "раскрытии" канала могут быть выявлены слабые предвестники, хотя и в сопровождении большого количества усиленных при этом помех и шумов.

Таким образом, геофизические параметры среды следует регистрировать и анализировать с учетом названных изменений. К примеру, во время "раскрытия" канала фоновые и, соответственно, аномальные значения предвестника могут быть большими, а при его "закрытии" - малыми. Кроме того, при обнаружении "усиливающих" сейсмические волны геологических структур, (например, линз), соответствующие датчики желательно располагать в зонах этих структур. В ходе проводившихся экспериментальных работ динамика такого канала (волновода) оценивалась по данным ударной сейсмографии, георадарных исследований, гравиметрических измерений, теоретических оценок приливных воздействий и т. п. В частности, результаты натурных исследований показали, что при изменении положения датчика даже на 10–15 м возможен выход за пределы волноводных зон с потерей полезной информации.

Таким образом, для повышения надежности решения задач прогнозной сейсмологии определяющее значение имеет получение адекватных ответов на вопросы: "где?", "что?" и "когда?" измерять.

Блочное строение северо-запада Ленинградской области [1] является причиной того, что в зоне сочленения блоков земной коры, отличающихся той или иной степенью крепости, образуется ослабленная зона. При медленных относительных смещениях соседних блоков происходят неравномерные для разных участков зоны накопление сдвиговых напряжений (ограничиваемое текучестью корового вещества) и разрешение этих напряжений в виде трещиноватости, а, если напряжения превзошли предел прочности, то – в виде сейсмического толчка или землетрясения. Разрушение в одном месте сейсмической зоны приводит к перераспределению напряжений во всей зоне и создает условия для накопления напряжений в другом месте зоны или соседней зоне, если она связана с первой. Постоянное перераспределение таких напряжений характерно для слабых тектонических нарушений и соответственно слабых землетрясений.

Известно, что глины некоторых типов при слабых сейсмических сотрясениях могут течь как жидкость, иногда с весьма неприятными последствиями для сооружений, возведенных на них. Имеются примеры, когда незначительные землетрясения, приуроченные к слабым разрывным нарушениям земной коры, приводили к тому, что осадочные породы отжимали на поверхность грунтовые воды с песком и илом. В других случаях появлялись провалы (песчаные кратеры). При этом в грунте образовывались трещины и другие изменения, приводящие к повреждению построенных зданий и сооружений [8]. Следует отметить, что проявлениями слабых землетрясений можно пренебрегать только для больших (более 10 глубин очага) расстояний от эпицентра. Если же в эпицентре слабого мелкофокусного землетрясения оказывается жилое здание или промышленный объект, то для них такое землетрясение может быть сильным и даже очень сильным, поскольку способно разрушить практически любое сооружение, независимо от его сейсмоустойчивости. Поэтому контроль за состоянием разрывных нарушений должен составлять основу мониторинговой системы, направленной на изучение сейсмичности в зоне строящихся и действующих стратегически важных объектов.

В настоящее время разработаны эффективные системы обеспечения сейсмоустойчивости при проектировании и строительстве сооружений в предварительно изученных районах с возможным развитием тектонических

нарушений. Если же вероятность возникновения тектонических нарушений в том или ином районе выявлена уже после возведения объекта, то необходимо организовать изучение состояния разломной тектоники и его изменений во времени, т. е. осуществлять геофизический мониторинг. Это позволит заблаговременно прогнозировать и предотвращать возникновение на стратегически важных объектах критических ситуаций, которые зачастую имеют кратковременный характер, обусловленный, к примеру, приливными явлениями.

Мощные инженерные сооружения вблизи ослабленной межблоковой зоны, сконцентрированные на ограниченной площади, да еще при наличии в окрестностях водного бассейна, способствуют усилению процесса трещиноватости. Выполнение геофизических измерений на территориях и акваториях, примыкающих к таким сооружениям, позволяет осуществлять контроль за сейсмичностью опасного региона. Обнаружение источников слабой сейсмичности сводится к задаче картирования электромагнитных, сейсмических и других физических полей с целью выявления неустойчивых тектонических структур, разрывных зон и разломов комплексом геофизических методов. Мониторинг слабой сейсмичности заключается в исследовании изменений, в первую очередь верхней части разреза (ВЧР), а также более глубоких слоев земной коры по геофизическим полям и обнаружении источников микросейсм. Решение этих задач сводится к картированию физических полей с целью выделения структур и тектонических зон адаптивным комплексом геофизических методов. Технология мониторинга определяется аппаратурой, сетями, методикой съемки, способами обработки и интерпретации полученных данных.

При проведении инженерных изысканий под строительство и контроле состояния стратегически важных инженерных сооружений в прибрежных зонах используется комплекс наземных и морских геофизических методов. Наземный методический комплекс включает магниторазведку, сейсморазведку, электроразведку (в модификации радиолокационного зондирования - георадарная съемка естественного и искусственного электромагнитного полей) и др. В составе комплекса морских технических средств (помимо сейсмоакустических, гидромагнитных, электромагнитных и т. д.) для обследования участков дна и водной среды вблизи разлома целесообразно использование необитаемого подводного аппарата, оснащенного цветной телевизионной системой, гидролокатором, электромагнитометрическими и гидрофизическими датчиками [9].

Сети наблюдений выбираются в соответствии с результатами предварительных геолого-геофизических исследований по выделенным сейсмоактивным зонам.

Методика мониторинга определяется с учетом выбранного варианта комплекса геофизических методов, размеров выявленных сейсмоактивных зон и их свойств, в том числе способности разломов "открываться" и "закрываться" в течение суток в зависимости от приливных и других явлений.

На основе мониторинговых наблюдений выделяются сейсмически активные "шумящие" границы и/или слои ВЧР, периоды сейсмического "затишья" и устанавливается характер, периодичность и относительная мощность микроземлетрясений и ее изменение в течение суток, месяца, года и т. п. Тем самым осуществляется контроль слабой сейсмичности исследуемого региона. По результатам мониторинга в районе строящихся трубопроводных систем, экологически опасных



(стратегически важных) объектов и других инженерных сооружений принимаются меры (при необходимости вплоть до переработки проектной документации) по обеспечению устойчивости и безопасности их использования.

В общем случае результатами исследований являются комплексные геолого-геофизические данные о верхней части разреза и более глубокозалегающих слоях, о структуре тектонических нарушений и их резонансных свойствах. Оцениваются аномалии акустических и плотностных свойств, проводимости напряженных зон в горных породах и других явлений, предшествующих современным подвижкам в ВЧР. На акватории исследуются современные подвижки дна, выраженные в виде уступов, вспучиваний, разуплотнений осадков и других аномальных особенностей ВЧР.

При анализе и интерпретации материалов геофизического обследования населенных пунктов, районов промышленной застройки выявляются не только зоны трещиноватости горных пород, но и уточняется положение подземных объектов и коммуникаций, искусственных и естественных полостей (карсты, пустоты, скрытые траншеи); осуществляется контроль состояния грунта в зоне туннелей, опор, мостов и других инженерных сооружений; оценивается мощность насыпных и деформированных грунтов и картируются границы коренных пород под рыхлыми отложениями; определяется состояние оползней, границы загрязненных почв и проточек.

Попутно исследуется состояние автомобильных дорог, решаются задачи по определению мощности насыпей, их структуры, вторжения вод, неоднородности материала и уровней его техногенного загрязнения.

В целом выполнение комплексных геофизических исследований позволяет выделить предполагаемые зоны "риска", на которых строятся мониторинговые системы.

В соответствии с рассмотренной методологией в период 1998 - 2000 гг. выполнялись исследования прибрежно-морских участков юго-восточной части Финского залива. В результате этих работ выявлены зоны разломов, прослеженные с побережья на акваторию, и разработаны рекомендации по их мониторингу.

Продолжение натурных исследований по программе геофизического мониторинга прибрежных районов Финского залива необходимо для уточнения оценки их сейсмичности, выявления долговременных, устойчивых тенденций изменения структур ВЧР, в том числе под влиянием техногенных воздействий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кабанов Л. Г., Скопенко Н. Ф. Оценка геодинамического состояния территории Ленинградской области//Разведка и охрана недр. 1998. № 7–8.
2. Землетрясения в СССР в 1976г. М.: "Наука", 1980.
3. Грамберг И. С., Георгиевская Л. П., Калинин В. А., Паламарчук В. К. Разработка аэрометодов картирования очагов землетрясений и создание аэро- и наземных сетей мониторинга//Вычислительные технологии, изд. СО РАН, 1997. т. 2. № 2. С. 26 – 32.
4. Кирейтов В. Р., Паламарчук В. К., Смирнов Г. И. О высокоинформативных измерениях в геофизике океана. Препринт № 97–2, Междун. ин-т нелинейных исследований, СО РАН. 1997. 14 с.
5. Ставров К. Г., Паламарчук В. К., Георгиевская Л. П., Использование физических полей моря для прогнозирования сейсмической активности//Материалы Третьей Российской конференции "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии" ("НО-98"). СПб: ГНИНГИ, 1998. С. 106.
6. Артамонов Л. В., Ставров К. Г. Использование геофизических модификаций электромагнитного зондирования для исследования слоистых структур океана с движущегося судна//Тезисы докладов Первой Всероссийской конференции "Современное состояние, проблемы морской и воздушной навигации". СПб: "Судостроение", 1992. 174 с.

7. Ставров К. Г. Особенности применения геофизических методов для обследования и экомониторинга районов затоплений опасных веществ//Тезисы докладов Второй Российской конференции "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии". СПб: ГНИНГИ. 1995. С. 109.
8. Эйби Дж. А. Землетрясения. Пер. с англ. М., Недра. 1982. 264 с.
9. Горшков В. Н., Демин Б. Н., Ставров К. Г. Гидрографо-геофизический комплекс обеспечения поиска и обследования донных объектов при строительстве и эксплуатации подводных трубопроводов и ликвидации аварий с экологическими последствиями на море//Материалы Второй Международной конференции "Освоение шельфа арктических морей России" (РАО' 95), (С.-Петербург. 18–22 сентября 1995).

ГРНТИ 78.21.37

**ЗНАЧЕНИЕ БАНКА ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ  
ДЛЯ ЗАЩИТЫ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С  
ВОЕННО-МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ**

**А.Б. ОПАРИН,  
К.Г. СТАВРОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Рассмотрена методология формирования баз и банков данных на основе мониторинга океанографических и геофизических параметров морской среды с целью объективного анализа экологической безопасности и контроля возможных загрязнений природной среды со стороны объектов ВМФ. Описаны результаты формирования таких баз данных для некоторых специфических видов загрязнений, возникающих вследствие плановых и аварийных затоплений образцов вооружений и военной техники.*

Решение текущих и перспективных оборонных задач в современных условиях с учетом требований устойчивости экономического развития государства возможно лишь при условии регулярного усвоения информации о настоящем и прогнозируемом состоянии военно-экономической и природной сфер в комплексе, это в свою очередь влечет необходимость в совершенствовании ведомственных и общегосударственных систем информационного обеспечения, баз и банков данных о природной среде.

В результате техногенного загрязнения в окружающую среду проникают вещественные или энергетические компоненты, вызывающие ее физические или структурные изменения и приводящие к деградации экосистемы. При этом не только поступление несвойственных, но и избыток типичных для региона веществ может привести к изменению экологических факторов, непосредственно влияющих на жизнедеятельность человека.

К основным направлениям борьбы с загрязнением морской среды (МС) относятся [1, 2] создание сетей мониторинга и охраны, сокращение поступления загрязнителей с суши и судов, регламентацию сбросов веществ в море (дампинг), прекращение захоронения в морях опасных отходов, сокращение перевозок на судах токсичных химических и радиоактивных веществ, снижение трансграничного морского загрязнения, разработку нормативов и стандартов по охране морей.

Военно-морская деятельность, связана с повышенным риском неблагоприятных воздействий на человека и окружающую среду [3, 4]. По своей направленности она в первую очередь ориентирована на создание и применение (или подготовку к применению) средств и способов разрушения и уничто-

жения, а не созидания. Основопологающим в ней является обеспечение военной безопасности государства, отодвигающее вопросы экологической безопасности на задний план. Требования по охране закрытых военных объектов, образцов вооружения и военной техники, как правило, несовместимы с внешним экологическим контролем, по крайней мере со стороны региональных органов по охране окружающей среды и международных организаций. Традиционными направлениями обеспечения экологической безопасности в ВМФ являются: предотвращение загрязнения среды; защита личного состава; а также выявление, контроль источников локального загрязнения МС в районах базирования и их ликвидация.

Гидрографические службы (ГС) ВМС в подавляющем числе морских государств представляют собой хорошо отлаженный механизм, вооруженный современными судами и техническими средствами, высококвалифицированными кадрами и высоким научным потенциалом. В связи с этим они широко привлекаются к осуществлению мониторинга параметров МС, созданию на его основе банков данных, моделированию и прогнозированию состояния морских экосистем [5].

Известно, что внедрение хорошо разработанных расчетных методов оценки параметров экологической безопасности (анализ МС, моделей процессов распространения загрязняющих веществ в МС и др.) и тенденций их изменения вследствие взаимодействия в системе "морская среда - техногенные объекты" зачастую тормозится из-за отсутствия достаточных объемов натуральных данных. В связи с этим особое значение имеет информация о параметрах неизменной МС до начала антропогенных воздействий, характеризующих ее естественную пространственно-временную изменчивость.

В течение ряда лет в научно-исследовательском океанографическом центре (НИЦ) ГНИНГИ МО РФ формируется автоматизированный Банк океанографических и геофизических данных ВМФ как совокупность структурированных материалов отечественных и зарубежных исследований. Цель создания банка - интеграция результатов многолетних комплексных исследований Мирового океана, выполненных ГС ВМФ, учреждениями Росгидромета, РАН и других ведомств, а также их использование в интересах навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения Минобороны (ВМФ, ВВС), ФПС, МЧС, гражданских министерств и ведомств России и экономической деятельности организаций, морских транспортных коммуникаций в целом. В архиве ГНИНГИ хранятся отчетные материалы почти 2 тыс. экспедиций ГС ВМФ и более чем 10 тыс. экспедиций мореведческих организаций страны.

В соответствии с [1] среди глобальных экологических проблем, в решении которых участие России необходимо для развития международного сотрудничества по сохранению, защите и восстановлению экосистемы Земли, выделено безопасное уничтожение химического и ядерного оружия и меры по его обеспечению.

В аспекте военно-морской деятельности решение указанных проблем невозможно без обследования и ведения мониторинга мест затоплений (дампинга) химических боеприпасов и ядерных отходов, а также мест отстоя списанных кораблей с ядерными энергетическими установками (ЯЭУ) и районов аварий ПЛ с ядерными боеприпасами.

Специалисты ГНИНГИ принимали непосредственное участие в проведении мониторинга таких районов и формировании баз данных по результатам этих работ. В частности, в 1992-1993 гг. впервые в России коллективом сотрудников учреждений РАН, Росгидромета и других ведомств под руководством специалистов ГНИНГИ выполнены комплексные исследования по оценке последствий затопления в Балтийском море химического оружия фашистской Германии [6-8]. На основе информационного поиска по базам данных ГС ВМФ, других ведомств РФ (СССР), а также зарубежных источников была уточнена информация о проведении после Второй Мировой войны (1946-1947 гг.) в соответствии с договоренностью между СССР, США, Великобритания, Франция, в нескольких районах Балтийского моря затоплений нескольких десятков тысяч тонн немецких химических боеприпасов (по другим данным - нескольких сотен тысяч тонн).

Разработанная методология исследований морской экосистемы в районах затопления предусматривала формирование специализированных баз данных (СБД) по следующим направлениям:

а) на подготовительном камеральном этапе - анализ океанографической и геофизической изученности предполагаемых районов затопления; теоретические и модельные исследования процессов коррозии оболочек боеприпасов, растворения и гидролиза загрязняющих (отравляющих) веществ (ОВ) в морской воде;

б) на этапе морских работ - поиск, обнаружение и локализация мест затопления ОВ; контроль состояния окружающей среды в районах затопления; комплексный мониторинг акватории;

в) на этапе обработки и анализа результатов исследований - анализ состояния и прогноз последствий воздействия загрязняющих (отравляющих) веществ на окружающую среду; разработка рекомендаций и проектов нормативных документов по созданию системы контроля экологического состояния районов затоплений.

Для формирования СБД для двух основных районов затоплений в Балтийском море были проведены следующие экспедиционные работы:

- гидрографическое, телевизионное и визуальное обследование дна акватории с надводных судов и подводных аппаратов;
- гидрогеохимическое обследование морской воды и донного грунта;
- гидрофизические и гидрологические измерения;
- микробиологические исследования, включая исследования бентоса.

В результате перечисленных работ были получены и введены в СБД:

- рельеф и микрорельеф дна моря;
- положение затопленных объектов на дне и в грунте;
- характеристики физико-механических свойств донных отложений;
- концентрация тяжелых металлов в донных осадках;
- гидрохимические, гидрофизические, гидробиологические (включая данные о бентосе) характеристики морской воды.

Сравнительный анализ СБД и информации Банка океанографических и геофизических данных ГНИНГИ поэтому региону позволили сделать вывод об отсутствии в период работ значимых физико-химических аномалий в районах затоплений и о сходстве основных параметров исследуемой экосистемы со значения-

ми этих параметров в прилегающих акваториях Балтийского моря, а также обобщать рекомендации по созданию системы комплексного мониторинга районов затоплений как подсистемы общего экомониторинга Балтийского моря.

Особую угрозу экологической безопасности МС и прибрежных зон представляют подводные лодки с ЯЭУ, выведенные из состава ВМФ и уже продолжительное время находящиеся в пунктах отстоя [2, 9]. В местах базирования атомных подводных лодок (АПЛ) Северного и Тихоокеанского флотов, на судостроительных и судоремонтных заводах Минэкономки и Минобороны России находятся в отстое более 140 АПЛ. На 110 АПЛ, выведенных из состава ВМФ, не выгружено отработанное ядерное топливо. Эти объекты переведены в ядерно- и радиационно безопасное состояние, обеспечивается их непотопляемость, взрыво- и пожаробезопасность, осуществляется необходимый контроль. Вместе с тем они представляют потенциальную экологическую опасность и требуют значительных финансовых затрат на содержание. В пунктах базирования сил флота накоплено более 14000 м<sup>3</sup> жидких и более 25000 м<sup>3</sup> твердых радиоактивных отходов. На береговых и плавучих технических базах содержится более 30000 отработавших тепловыделяющих сборок и 5 активных зон (в сборе) [9]. Следует отметить, что экологически опасные объекты ВМФ в отличие от остальных источников загрязнения, рассматриваемых в [2], не локализованы в одном месте, а рассредоточены по побережью в операционной зоне флота, что создает потенциальную угрозу масштабного радиоактивного загрязнения в этих районах.

Помимо утилизируемых АПЛ, источниками техногенных загрязнений МС являются также затонувшие суда и корабли ВМФ с ЯЭУ, ядерными и химическими боеприпасами, топливом, токсичными веществами, радиоактивными материалами, затопленные отсеки с составными частями судовых ядерных реакторов и другие образцы вооружения и военной техники ВМФ.

В качестве первого шага решения проблемы защиты МС от техногенных загрязнений, связанных с военно-морской деятельностью, необходима организация под эгидой ГС ВМФ России интегрированной системы комплексного мониторинга морской арктической среды и прибрежных зон.

Данные от сети наблюдений интегрированной системы мониторинга должны поступать в центр сбора, хранения и обработки информации, в котором формируется СБД, и ведется обобщенная база метаданных по проблеме на основе геоинформационных технологий [10]. В качестве такого центра может выступать НИЦ ГНИНГИ.

Опыт работ, выполненных специалистами ГНИНГИ по проведению радиоэкологического мониторинга в районе гибели атомной подводной лодки "Комсомолец" [11], позволяет сформулировать требования к составу и характеристикам аппаратного комплекса для оценки влияния техногенного загрязнения (и, в частности, радиоактивного заражения) акватории на экологическую ситуацию в регионе, а также - по составу специализированных баз данных о потенциально опасных затопленных объектах ВМФ. В качестве ориентировочного перечня данных, включаемых в СБД (с указанием их источника), можно рекомендовать:

- а) наименование объекта;
- б) дата и место затопления;

- в) океанографические и геологические характеристики района затопления:
  - климатические значения скорости и направления течений по глубине,
  - физико-химический состав грунта;
- г) физические параметры потенциально опасного объекта, включая состав и количество опасного вещества в объекте;
- д) характеристика защиты от попадания опасных веществ в МС;
- е) уровень контроля за состоянием объекта.

Безусловно, актуальным является более широкое вовлечение ГС ВМФ России в кооперацию, в том числе международную, по защите МС с приданием ГНИНГИ ведущей роли в научно-методическом обеспечении мониторинга техногенного загрязнения морей России.

В связи с этим в составе Банка океанографических и геофизических данных, функционирующего в ГНИНГИ, целесообразно создать специальный раздел "Потенциально опасные береговые и подводные объекты". В нем следует интегрировать данные о МС включающее фактографическую и прогнозную информацию о ее состоянии по дисциплинам гидрография, физическая океанология, морская метеорология и аэрология, морская геофизика, а также документированную навигационно-гидрографическую информацию об основных источниках техногенных загрязнений в зоне ответственности ВМФ, аварийных и плановых затоплениях кораблей ВМФ, их отдельных отсеков, образцов В и ВТ, с результатами оперативного обследования, включая дистанционное зондирование и мониторинга мест затоплений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Российской Федерации от 4 февраля 1994 г. № 236 "О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития"//Российская газета. 1994. № 26, 9 февраля.
2. Национальный план действий по защите морской среды от антропогенного загрязнения в Арктическом регионе Российской Федерации (НПД - Арктика). Проект. Министерство экономического развития и торговли РФ. М., 2001. 19 с.
3. Замышляев Б. В. Экологическая безопасность военной деятельности. Методологические аспекты//Геополитика и безопасность. 1993. № 1. С. 165-168.
4. Правила охраны природной среды в ВМФ (ПОПС-90). М., Воениздат. 1993. 180 с.
5. Блинов И. А. Гидрография и экология//Навигация и гидрография. 1996. № 2. С. 146-149.
6. Ставров К. Г. Принципы использования комплекса средств и методов гидрографии и геофизики в целях экологического мониторинга морской среды и предотвращения ее загрязнения.//Навигация и гидрография. 1996. № 3. С. 122-126.
7. Анохин В. Н., Ставров К. Г. Методология и основные результаты комплексной оценки опасности и экологических последствий затоплений трофейного немецкого химического оружия в Балтийском море//Динамика гетерогенных сред в геотехнологическом производстве. Труды КГАРФ. Вып. 3 Петропавловск – Камчатский, 1998. С. 70-76.
8. Ставров К. Г. Особенности применения геофизических методов для обследования и экомониторинга районов затоплений опасных веществ//Тез. докл. II Российской конф. "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии". СПб.: ГНИНГИ, 1995. С. 109.
9. Государственный доклад "О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1999 году". М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 2000.
10. ARC/INFO для военных приложений и разведки. Проспект СП "ДАТА+". М., 1996. 4 с.
11. Балясников С. Б. Навигационно-гидрографическое и гидрометеорологическое обеспечение подводно-технических работ в районе затонувшей АПЛ "Комсомолец"//Навигация и гидрография. 1998. № 7. С. 47-52.



---

## СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

---

### *WALDO LYON AND THE ARCTIC SUBMARINE*

**WILLIAM M. LEARY**

(Coulter Professor of History, the University of Georgia, USA)

The idea of a submarine travelling under the ice first appeared in 1648. In the wake of Cornelius Drebbel's successful experiments with a leather-covered, 12-oared submersible boat in the Thames River in the 1620s, John Wilkins, Bishop of Chester, a founder of the Royal Society and tireless promoter of 17th century England's "new science", speculated that a "submerged ark" might be used to proceed safely under the "ice and great frosts" of the polar regions. [1]

Although few people have ever heard of John Wilkins, Jules Verne has attracted a much wider audience. In 1869, more than 200 years after the English clergyman had imagined the advantages of a submerged ark, the French novelist published *Twenty Thousand Leagues Under the Sea*. This popular tale featured the submarine *Nautilus* and a dramatic voyage under an ice-covered sea to the South Pole.

Among the many individuals inspired by Verne's imaginative novel was Simon Lake, then a boy growing up in New Jersey, who became an inventor. Intent on developing a practical submarine, Lake in 1902 built a gasoline-powered submersible that he later used for under-ice experiments in Narragansett Bay. Equipped with inverted sled runners over the top of the conning tower, Lake's submarine was designed to slide underneath the ice. [2]

Although Lake's experiments never amounted to much, his concept of an under-ice submarine later became the centerpiece in the plans of Sir Hubert Wilkins to travel to the North Pole. The Australian-born explorer and adventurer reached an agreement with Lake in 1930 to convert the obsolete O-12 into an under-ice configuration along the lines of Lake's earlier experiments.

The Wilkins expedition to the North Pole, undertaken in the summer of 1931, failed to reach beyond 82° North. Although Lake's concept of an under-ice submarine proved entirely unworkable, Wilkins did manage to accomplish, important scientific work that later would prove useful for under-ice voyages by nuclear-powered submarines. [3]

It was not until after World War II that work began on developing equipment and techniques for submarine operations under the ice. The United States Navy took the lead in this area. Although a number of naval officers and scientists would work on turning the concept into a reality, one individual stands out in the story of the under-ice submarine. More than anyone else, Dr. Waldo K. Lyon, a naval scientist, was responsible for developing the arctic submarine.

Receiving his Ph.D. in physics from UCLA in 1941, Lyon joined the U.S. Navy Radio and Sound Laboratory at San Diego. During the war years, he worked mainly on harbor defenses, devising acoustical equipment to measure currents at the bottom of harbors, the height of waves, and the size of wakes made by ships. In 1945 he conducted experiments in the Pacific Northwest with Canadian scientists on the distortion caused to sonar by layers of cold water. [4]



Lyon continued to work on cold water acoustics after the war. In December 1946 and January 1947, he participated in Operation HIGHJUMP in Antarctica. Based on Sennet (SS 408), he learned a great deal about the ability of submarines to operate on the surface in ice-filled waters. The trip, he later recalled, served as "a very good tempering for one to appreciate ice and give self-confidence for any future ice operations". He came away from HIGHJUMP "fully intrigued" with the possibility of developing an under-ice submarine. [5]

In 1947, with the enthusiastic support of Rear Adm. A. R. McCann, Commander of Submarines in the Pacific, Lyon began experiments with Boarfish (SS 327). On 1 August 1947 McCann and Lyon were on board when Boarfish dove under the ice in the Chukchi Sea. The submarine spent more than an hour underneath the ice pack before emerging unharmed. During the following week, Boarfish made two additional forays under the ice, the longest extending for 12 miles. [6]

Lyon was delighted with the results of the trials. Boarfish, he believed, had demonstrated that under-ice navigation was entirely practical. Experiments should continue in order to exploit the full tactical advantage of submarines in the arctic area. "I intend to stay right in the middle of the polar undersea warfare program," he wrote to a friend in October 1947, "for it appears to be most productive, interesting and virgin territory".

Thanks to Admiral McCann, Lyon obtained a submarine in 1948 to continue under-ice experiments. Carp (SS 338) reached the ice pack in the vicinity of 72° North, 167° West, in early September. Over an eight-day period, the submarine made 14 vertical dives and ascents in open areas - or polynyas - within the ice pack, pioneering the technique that would be necessary for extended under-ice voyages by diesel-electric boats. [8]

In November 1948 Lyon published Naval Electronics Laboratory Research Report 88 on "The Polar Submarine and the Navigation of the Arctic Ocean". After reviewing the experiments with Sennet, Boarfish, and Carp, he concluded: "The reality of a polar submarine that can navigate the entire Arctic Ocean is not only admissible, but may be an immediate practicality".

The naval establishment, however, had their doubts. Although Lyon's work had received strong backing from a few "believers" like Admiral McCann, most naval officers took a more skeptical view of his objectives. The official position could be found in the Navy Arctic Operations Handbook, prepared by the Arctic and Cold Weather Coordinating Committee of the Office of the Chief of Naval Operations and published in 1949. While acknowledging the success of the under-ice experiments with Boarfish and Carp, the Handbook reached a different conclusion than had Lyon. "Development of the trans-Arctic submarine," it proclaimed, "remains in the realm of fantasy". [9]

With Admiral McCann's departure from his Pearl Harbor command, Lyon found it difficult to secure a submarine for under-ice experiments. Recognizing that basic oceanographic information on arctic waters would be needed for any future submarine operations, he turned to a scientific program to secure the required data. Beginning in 1949, Lyon worked closely with Canadian oceanographers in a series of scientific expeditions to the Bering, Chukchi, and Beaufort Seas, Amundsen Gulf, Viscount Melville Sound, and adjacent waters. At the same time he put together laboratory facilities in San Diego that enabled him to test equipment in simulated arctic conditions. [10]

Over a five-year period, Lyon participated in a series of icebreaker-based expeditions to the Far North, gathering a tremendous amount of information on what pre-

viously had been a largely unknown part of the world. The capstone of his oceanographic program came in 1954 when, for the first time in history, a ship transited McClure Strait and circumnavigated Banks Island. [11]

Twice during this period, in 1952 and 1953, Lyon managed to obtain a submarine for under-ice work. The most productive patrol came in 1952, when Redfish (SS 395) conducted a series of war-fighting exercises with the icebreaker Burton Island (AGB 1). These experiments convinced Lyon that the arctic submarine would be "the supreme weapon" for combat in areas of sea ice. It was virtually immune from detection and attack by surface ships and aircraft and it could strike anywhere in the Arctic from the periphery of a protective sea ice cover. [12]

Lyon's enthusiasm for the under-ice submarine failed to impress his superiors at the Bureau of Ships, who provided the funds for the Naval Electronics Laboratory's arctic work. In fact, in 1955 and 1956 BuShips severely reduced NEL's budget for Lyon's arctic research. Only the intervention of the director of NEL, who employed various bureaucratic maneuvers to delay implementation of BuShips crippling budget cuts, enabled Lyon's Arctic Submarine Laboratory to survive. [13]

The year 1957 saw renewed interest in an arctic submarine at the Navy's highest levels, thanks largely to the prompting of Senator Henry M. Jackson (Dem, Wash.). In February, the influential chairman of the Senate subcommittee on military applications of atomic energy, quizzed Admiral Arleigh A. Burke, chief of naval operations, on the Navy's efforts in the Far North. Lyon was called upon to help prepare the Navy's response to Jackson. The result was an arctic program that called for field tests of an under-ice submarine. [14]

At the same time, Capt. Eugene P. Wilkinson, skipper of the first nuclear-powered submarine and an arctic enthusiast, was lobbying his superiors to send Nautilus (SSN 571) to the Arctic in the summer of 1957. On 1 July 1957, Admiral Burke approved the draft proposal for developing techniques and equipment for operating submarines in cold weather and ice areas. The program included an under-ice summer voyage by Nautilus to the "vicinity" of 83° North, or 420 nautical miles from the North Pole, "at the discretion of the Commanding Officer". [15]

The appearance of the nuclear-powered submarine, Lyon recognized, "opened the door to a whole new world". While he believed that diesel-electric submarines could operate safely for extended distances under the ice pack, surfacing in open areas to obtain needed air, the nuclear submarine offered the possibility of "unlimited movement" under the ice. [16]

On 2 July 1957 Lyon wrote to Comdr. William R. Anderson, who had replaced Wilkinson in command of Nautilus in June, and stressed the need "to gather data most pertinent to evaluating the submarine warfare potential of the Arctic Ocean". This was especially important in light of the intense Soviet activity in the Arctic over the past 12 years. A submarine reconnaissance of the deep arctic basin, Lyon emphasized, would enable the United States to catch up quickly with the Soviets in obtaining valuable information on this strategically important part of the world. [17]

Commander Anderson needed little persuading. Bitten by the polar bug, he intended to go as far north as possible on the planned arctic cruise. Anderson believed that his orders gave him sufficient discretionary authority to try for the North Pole. "I secretly hoped that we could," he later recalled. However, he recognized that reaching the Pole "was a desirable but not a critical objective of the patrol". [18]

Nautilus, with Lyon on board, got underway from New London, on 19 August 1957. Anderson reached the edge of the ice pack, north of Jan Mayen Island, on September 3, and began a high-speed run toward the North Pole. Everything went well until midday on September 4. Just as Nautilus approached 86° North, 240 miles from the Pole, a blown fuse interrupted the ship's two gyrocompasses. Although power was restored within a minute, both compasses showed erratic readings. As the magnetic compass was useless at high latitudes, Anderson needed the gyrocompasses for directional guidance. Having lost this source of information, he had no choice except to return south - or at least what he believed to be south! "The major problem of the Arctic Ocean is being demonstrated," Lyon noted in his scientific journal, "namely to determine position". [19]

With the assistance of bathymetric data obtained during Sir Hubert Wilkins 1931 expedition, Nautilus emerged safely from under the ice pack on the morning of September 6. The submarine had travelled 1,000 miles under the ice in what the Navy Department hailed as "one of the most incredible adventures in naval history". "The trans-arctic submarine," Lyon wrote in his senior scientist's report of the voyage, "which five years ago was often called fantastic, is a demonstrable fact". The Arctic Ocean, he emphasized, had become "a area for the submarine forces". [20]

As it happened, news of Nautilus "incredible adventure" received little notice in the press. The Navy's press release on the voyage, issued in late October, came shortly after the Soviet Union had launched the world's first artificial earth satellite. Newspapers across the country were filled with stories of how the appearance of the Soviet satellite signalled the weakness of American science and threatened the nation's security. Nautilus, Lyon observed, became "lost in Sputnik's shadow". [21]

On a more positive note, the administration of Dwight D. Eisenhower proved receptive to a proposal from Admiral Burke to send Nautilus in 1958 from the Pacific to the Atlantic Ocean via the North Pole. The arrival of Nautilus in European waters would be timed to coincide with the opening of the World's Fair in Brussels in June. The voyage would be given maximum publicity as an example of U.S. technological excellence. President Eisenhower, however, insisted on an unprecedented degree of peacetime security for what was labelled Operation SUNSHINE lest it fail and cause embarrassment comparable to the abortive launch of Vanguard. The widely publicized Vanguard missile had blown up on its launch pad in December 1957 to the scorn of the press. [22]

Nautilus departed Seattle on 9 June 1958 for the trans-arctic transit. To assist with polar navigation, the submarine was equipped with a North American Autonetic N6A inertial navigation system, which had been adapted from the Air Force's Navajo cruise missile. It also had a system of topside echo sounders that had been developed by NEL to show overhead ice coverage. Nautilus, however, lacked the forward scanning sonar that Lyon had used during earlier under-ice experiments. The QLA scanning sonar, employed during World War II to detect mines, had gone out of stock. [23]

The absence of QLA sonar, essential for detecting ice ahead of the submarine, concerned Lyon. Nautilus would have to pass through the shallow waters of the Bering Strait and Chukchi Sea to reach the deep Arctic Basin. From past experience during icebreaker oceanographic expeditions, Lyon expected to encounter rafted ice with drafts of 40 to 50 feet. He believed, however, that Nautilus could make it through the shallow area. [24]

The voyage went well at first, and Commander Anderson managed to find a passage through the Bering Strait. He then entered the Chukchi Sea. The water was 160 feet deep. Nautilus measured 55 feet from keel to top of sail. Anderson selected a

cruising depth of 120 feet, placing the submarine 40 feet off the bottom and giving a clearance of 65 feet for downward projecting ice.

Shortly before midnight on June 17, Nautilus passed under a piece of ice that projected 47 feet below the surface. "This was entirely unexpected," Anderson noted in his patrol report "and did not show up as such a deep piece on [the ship's] sonar before passing overhead". As he eased down to 140 feet, placing Nautilus only 20 feet from the bottom of the sea but increasing the distance between the sail and the surface to 85 feet, the submarine ran under ice with a keel of 58 feet. This diminishing margin of safety was too thin for Anderson, and he ordered an immediate turn to the south. Moments later, Nautilus passed under a pressure ridge that projected 80 feet below the surface. The submarine had cleared the ice by a scant five feet. [25]

"It took only a second's reflection for me to realize that Operation SUNSHINE had already totally and irrevocably failed," Anderson recalled. He informed Admiral Burke that Nautilus could not penetrate the ice barrier and asked for permission to try again when conditions improved. Burke agreed, provided that the security of the operation be maintained. [26]

Thanks to the extraordinary discretion of the entire crew of Nautilus, the necessary secrecy remained intact during the submarine's stay at Pearl Harbor. Nautilus departed on July 21 for another try to complete Operation SUNSHINE. This time, the voyage went forward under more favorable ice conditions. Anderson again passed through Bering Strait with no problem. He then followed the Barrow Sea Valley, a deep passage off Point Barrow that earlier had been charted by oceanographers from NEL, into the Arctic Basin. On August 3 Nautilus reached the North Pole. Anderson continued in deep waters until he exited the ice pack in the Atlantic on August 5. [27]

The success of Nautilus received wide publicity. Anderson was flown to Washington, where President Eisenhower presented him with the Legion of Merit. The submarine returned to the United States in late August to a gala welcome, including a ticker-tape parade for the crew through the streets of New York. The voyage of Nautilus, one senior naval officer proclaimed, was "America's answer to Sputnik". [28]

Lyon could not have been more pleased. In his senior scientist's report of the cruise, he noted that the transpolar crossing "culminates many years of experimentation with submarines under ice, and surely demonstrates unequivocally the on hand reality and capability of the transarctic submarine". The exploratory phase had ended, Lyon concluded, and the door was now open to the "systematic development" of the under-ice submarine and "the consequent control of the Arctic Ocean by the U.S. Navy". [29]

While Nautilus was making its widely acclaimed transarctic voyage, Skate (SSN 578) also had been conducting; an extensive arctic patrol. In fact, as Lyon recognized, Skate's cruise had contributed far more than Nautilus to "the real scientific work" in the Arctic. Under the command of James F. Calvert, Skate not only had surveyed a more extensive area of the Arctic Basin than had Nautilus but also had perfected the surfacing techniques in polynyas that Carp had first developed in 1948. [30]

Skate, with Lyon on board, undertook an even more ambitious under-ice patrol in March 1959. This time the submarine travelled 3,090 miles under the ice. With polynyas frozen over, Commander Calvert pioneered a method for breaking through the ice cover. On ten occasions, Skate surfaced through ice from 1 to 22 inches thick. It also became the first submarine to surface at the North Pole.<sup>31</sup>

The widely hailed accomplishments of Nautilus and Skate gave a visibility and priority to under-ice submarine experiments that Lyon had sought from more than a decade. No longer did he have to plead for limited submarine time for arctic operations, hoping that the force commanders in the Pacific or Atlantic might be sympathetic towards his under-ice program. Arctic patrols, previously scorned by many naval officers as impractical, dangerous, and useless, now brought decorations, honors, and publicity. It was, Lyon later recognized, "the golden period". [32]

Of all the under-ice submarine patrols during what proved to be a brief "golden period," the most challenging came in 1960 with the dramatic winter voyage of "Sargo" (SSN 583). Under the command of John H. Nicholson and carrying Lyon as senior scientist, Sargo departed Pearl Harbor on 28 January 1960 to attempt the first-ever winter transit of the Bering and Chukchi Seas. The submarine would have to penetrate 1,000 miles of shallow water under ice conditions more severe than those that had stopped Nautilus in June 1958. Sargo, however, was equipped with NEL's new scanning sonar, a outgrowth of the wartime QLA mine-detecting equipment, that was designed to give a clear picture of the downward projecting ice in front of Sargo. [33]

By 0200 on January 28, Sargo was approaching Bering Strait, cruising at 100 feet. The bottom lay 26 feet below the submarine's keel, there was 51 feet between the top of the sail and the surface. Deep draft ice ridges dotted the sonar screen. For the next 12 hours, Sargo underwent what Nicholson described as a "baptism of fire, or rather ice". Maintaining a minimum maneuvering speed of five knots and trying to keep at least 20 feet under the keel, Nicholson found it necessary to twist and turn almost continuously as he threaded his way through a forest of ice pinnacles. "Taking violent action," he reported, "has become a part of our transit routine".

At one point, the depth of the sea bottom suddenly dropped from 120 to 165 feet. Then, just as quickly, it began to shoal. "The video pip on the UQN screen," Nicholson observed, "began wheeling around the scope from 55 feet down to 40, 20, 10...". The diving officer of the watch, Lt David A. Phoenix, faced the challenging task of staying off the bottom, maintaining a zero bubble, and not hitting the ice overhead. "I made a spur of the moment decision," Phoenix recalled, "to blow the main ballast tanks with the vents open in order to acquire some upward momentum that I hoped I could control before hitting the ice overhead. As far as I know, this maneuver had never been used before". [34]

As Sargo rose ten feet, the pip on the UQN screen reached five feet. "We braced ourselves to bounce off the bottom", Nicholson wrote, however, the sounding began to increase as rapidly as they had shoaled. Phoenix's ad hoc maneuver had worked. "One bad moment," Lyon commented in his scientific journal. [35]

Not until 0830 on January 30 did Sargo reach the 30 fathom curve in the Chukchi Sea. "Never," Nicholson wrote, "had 30 fathoms looked so deep". Shortly after noon, Sargo entered the deeper waters of the Arctic Basin, completing the first-ever winter transit of the Bering and Chukchi Seas.

Six hours later, however, NEL's scanning sonar failed. If this had happened earlier, Nicholson noted, "we would have been in serious trouble". He could proceed to the North Pole without the scanning sonar, staying deep enough to avoid any deep draft ice ridges, but he would need the equipment for Surge's return transit to the Pacific, or else be forced to exit to the Atlantic.

As Sargo visited the North Pole, explored McClure Strait, and made a rendezvous with Ice Island T-3 off Point Barrow, Arthur H. Roshon of NEL, who had been largely responsible for devising the scanning sonar, worked with members of the ship's crew to repair the equipment. After a good deal of difficult disassembly, they discovered that the training motor of the transducer had failed. When it proved impossible to correct the problem, Roshon hit upon the idea of connecting this transducer to the ship's BQR-2 hydrophone. Satisfied with the jury-rigged system, Nicholson decided to continue with the original plans for the cruise and exit through the shallow waters of the Chukchi and Bering Seas.

At first, the make-shift sonar array seemed to perform well. On the evening of February 19, however, Sargo collided with an ice keel. It later was discovered that the collision had dished in the reinforced top of the sail but had not damaged the main supporting member. "Although we were all saddened to see the damage to the sail," Nicholson wrote after examining the sail two days after the collision, "each of realized how lucky we had been".

After analyzing the data from the recorders, Roshon and Nicholson determined that strong side lobes from the combined NEL/BQR-2 gear had masked the targets when Sargo approached within 500 yards. They developed a technique to work within the limitations of the equipment. Although difficult passages lay ahead, Sargo managed to complete the outbound transit without further incident.

"The most fabulous patrol of my career," Lyon wrote in his scientific journal. He had every right to be pleased with the results of the expedition. Sargo had steamed 6,000 miles under the ice, including 2,000 miles in shallow water. The submarine had spent 31 days in the ice pack, far exceeding the combined total of all previous arctic patrols. Sargo had surfaced 20 times, at one point breaking through 48 1/2 inches of ice. All in all, the cruise had been an outstanding success. [36]

In April 1960 the American Society of Naval Engineers presented Lyon with their prestigious Gold Medal Award. The Sargo patrol, the accompanying citation noted, had marked the culmination of pioneering work that had begun in 1946. Its success had been due not only to the equipment that had been developed under Lyon's direction, "but also to the persistence, enthusiasm, leadership, extraordinary professional abilities and devotion with which he pursued his goal against every possible obstacle of technique and personal hardship". [37]

More adventures and honors lay ahead. In the summer of 1960, Lyon was on board Seadragon (SSN 584) when it proceeded from New London to Pearl Harbor via the Northwest Passage - Baffin Bay, Lancaster Sound, Barrow Strait, Viscount Melville Sound, McClure Strait, and the Beaufort Sea. Seadragon, under the command of George P. Steele, demonstrated that submarines could operate safely in the iceberg-infested waters of Baffin Bay and transit the ice-covered passageways through the Canadian Archipelago. The patrol, Lyon wrote in his senior scientist's report, had "closed the circle" on experimental arctic cruises that had begun in 1947 with Boarfish. Submarines could now patrol safely in the ice-covered waters of the Arctic Ocean and its approaches during all seasons of the year. The required sonar equipment, operated by ships crews, had been developed and was ready to shift from experimental prototypes to production models. "The Arctic Ocean is the submarine's private sea," Lyon emphasized; "hence, his sole capability to exploit and control". It was now necessary to move on to the next phase - military control of the Arctic Ocean and its approaches. [38]

In the summer of 1962, war-fighting exercises in the Arctic between Skate and Seadragon revealed the limitations of existing weapons. A submarine was the only defense against another submarine operating in the ice pack. But the Mk 37 torpedoes, a series of tests showed, could not hit targets hiding under the ice.

"My recently acquired belief that the Mark 37-0 is a decent torpedo is gone," Commander Joseph L. Skoog, Jr., of Skate noted in his patrol report, "at least in the case of Arctic environment". The exercise had demonstrated that the Mk 37, set on active homing, would be captured by ice when running at depths of less than 400 feet. Furthermore, Skoog concluded, "We have no torpedo capable of hitting a submarine which is shallow under ice...". Seadragon's skipper, Charles D. Summitt, agreed. "We definitely determined," he reported, "the capabilities and limitations of the Mk 37 torpedo in the Arctic - but it was all disheartening". As Lyon stressed in his senior scientist's report, the ability of torpedoes to operate in an arctic environment "is zero". This lack of a weapons concept, he continued, remains "the most serious deficit in our knowledge of arctic submarine warfare". [39]

Lyon proposed an extensive program of submarine operations in the Arctic over the next seven years which would include war-games, oceanographic surveys, and sound propagation studies. The program secured the approval of the chief of naval operations in May 1963, thanks at least in part to Soviet submarine activity in the Arctic. On 27 January 1963, the Soviet press had reported that the nuclear submarine Leninsky Komsomol had reached the North Pole the previous July. The Soviet Union, the submarine's captain was quoted as saying, now had the capability "to detect and destroy the enemy nuclear submarines that were trying to approach Soviet shores". [40]

Under ordinary circumstances, Soviet competition could be expected to act as a spur to American naval interest in the Arctic. But this did not happen because of the Thresher disaster. The loss of Thresher in April 1963 led to a program of modifications - SubSafe - that would severely curtail submarine availability over the next five years. Arctic operations, Lyon soon learned, did not rank high on the navy's list of priorities. As the commander of submarines in the Pacific noted, "The paucity of nuclear submarines in the Navy and in the Pacific Fleet in particular have caused CINCPACFLT to settle upon a binding list of priorities, some ten in number, which must determine the utilization of these submarines". Under-ice operations ranked tenth on this list. [41]

Lyon did not get back to sea until 1967. With the support of enthusiasts in the Pentagon, he secured approval for a brief test of the new arctic-capable 637-class attack submarine, Queenfish (SSN 651), the first of the class to be ready for sea, was scheduled for a ten-day cruise, taking it to the edge of the polar ice pack in the Davis Strait.

Queenfish spent 96 hours under the ice in February 1967. In many ways, the most valuable lesson that Lyon learned during the patrol - or relearned - centered on the importance of that area where the open sea and the ice came together. The cruise, he emphasized, "struck home for me that there is a very real danger to the Navy in this interface between the open sea and the ice cover, which we call the marginal sea ice zone". The first hundred miles or so of the ice cover presented "a mixed-up, muddled, unpredictable ocean environment". Contrasting temperatures and salinity resulted in confused sonar conditions. "It's a perfect place to hide and move," Lyon pointed out, "where detection is extremely difficult". He called for future research aimed at acquiring greater understanding of the conditions in the marginal sea ice zone. [42]

Although the cruise had taken a major stride in establishing the ability of the 637-class submarine to operate successfully in the fringe areas of the Arctic, Lyon had to wait two years before conducting exercises in the deep Arctic Basin. Not until March 1969 did the 637-class Whale (SSN 638) set out to evaluate the BQS-8 ice detecting sonar, hardened sail, and sail mounted, 90 rotatable dive planes of the new class of submarine during ascents through ice-covered polynyas. Whale also would test modified Mk 37 torpedoes in war games with Skate.

The patrol, Lyon wrote in his senior scientist's report, "completes the task of evaluating under-ice operations by SSN-637 class submarines". The BQS-8 sonar satisfied the requirements for under-ice navigation. Also, tests with Whale confirmed the ice-breaking ability of the 637-class. Finally, it appeared that the ice capture problem with the Mk 37 torpedo seemed close to solution. "The 637-class submarine", Lyon concluded, "is the culmination of twenty years of experimentation" Research should now turn to the creation of the next generation of arctic submarines. [43]

Between 1970 and the present, there have been a series of successful under-ice patrols by 637-class submarines. But the new generation of arctic-capable submarines has not appeared. Lyon participated in what proved to be his final arctic patrol in November 1981 when he rode Silversides (SSN 751) during an under-ice exercise to Baffin Bay, Nares Strait, and the Kara Sea. The following year the Navy decided not to build an experimental arctic submarine. With the last of the 637-class submarines due to be retired by the end of the 1990s, the Navy will lose most of its under-ice capability.

Lyon continued to fret over the Navy's failure to develop a new generation of under-ice submarines. The end of the Cold War, he believed, had not signalled an end to the dangers facing the United States. With an unprecedented worldwide proliferation of submarines, there would surely come a time when the U.S. and Canada would desperately need an arctic defense. "We must acknowledge the existence of the arctic ice jungle," he wrote in 1992, "and the possibility of war in it, and settle down to do the technical work necessary to learn the nature of this warfare". [44]

His pleas fell on deaf ears. In 1993 the Navy ordered the Arctic Submarine Laboratory to be closed.

Although the laboratory in San Diego may disappear, Lyon's record of accomplishment will remain. While many individuals contributed to the development of the under-ice submarine, Lyon was primus inter parus - the first among equals. As the citation of his 1993 David Bushnell Award attested, "Rarely has a single individual so demonstrated a technology ...". Thanks to his persistent determination, Bishop John Wilkins' 17th century dream of an arctic submarine became a reality.

Lyon continued to speak out against what he considered the short-sightedness of the Navy until his death at age 84 from a massive heart attack on May 5, 1998. In March 1999, USS Hawkbill carried Lyon's ashes to the North Pole, where they were scattered on May 3. The submarine's commander, Robert Perry, wrote following this voyage: "Dr. Lyon was a great man. The United States owes him a great debt of gratitude for what he did for the Navy and Submarine Force".

#### **BIBLIOGRAPHY**

1. On the remarkable Wilkins, see Barbara J Shapiro, John Wilkins, 1614-1672: An Intellectual Biography (Berkeley: University of California Press, 1969). For an excellent survey of the early development of the arctic submarine, see Alfred McLaren, "The Arctic Submarine. Its Evolution and Scientific and Commercial Potential," in Sylvie Devers (ed.), Pole Nord 1983 (Paris: Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, 1987), pp. 329-41.



2. Simon Lake, *The Submarine in War and Peace* (Philadelphia: Lippincott, Brewer, Warren & Putnam, 1918); Lake, "The Development of the Under Ice Submarine," in Sir Hubert Wilkins, *Under the North Pole* (New York, 1931).
3. Wilkins, "Report - 'Nautilus' Submarine Expedition" 1947, in the Papers of Sir Hubert Wilkins, Byrd Polar Research Center, University Archives, Ohio State University. The best biography of Wilkins is John Grierson. *Sir Hubert Wilkins: Enigma of Exploration* (London: Her Majesty's Stationery Office, 1986), pp. 176-80.
4. Leary interviews with Lyon, 15-17 December 1995, San Diego, CA. See also "The reminiscences of Dr. Waldo K. Lyon," Oral History Department, U.S. Naval Institute-This 297-page transcript .of interviews conducted by Etta Belle Kitchen, January-March 1971, is hereinafter cited as Lyon oral history.
5. Lyon oral history. On HIGHJUMP, see Lisle A. Rose, *Assault on Eternity: Richard E Byrd and the Exploration of Antarctica, 1946-47* (Annapolis: Naval Institute Press, 1980).
6. On Boarfish, see John H. Turner, "Report of Alaskan Cruise," 16 August 1947, and Lyon, "The Polar Submarine and Navigation of the Arctic Ocean," Research Report 88, 18 November 1948, U.S. Navy Electronics Laboratory; both in the Papers of Waldo K. Lyon, San Diego, CA.
7. Lyon to John P. Tully, 1 October 1947, Lyon Papers.
8. On Carp, see J. M. Palmer to CNO, "Report on Under-Ice Operations in Arctic Ice Field of Chukchi Sea," 20 September 1958, and Lyon, "Polar Submarine"; both in Lyon Papers.
9. A copy of this document is available in the Naval Historical Center, Washington, DC
10. Lyon oral history.
11. William L. Maloney to CNO, "Preliminary Report of Joint Canadian-United States Beaufort Sea Expedition of 1954," September 1954, Lyon Papers.
12. USS Redfish, "Report of REDFISH Participation in Beaufort Sea Expedition," 7 October 1952, and Lyon, "Summary Report of Chief Scientist, Joint Canadian-U.S Beaufort. Sea Expedition," n.d. [October 1952]; both in Lyon Papers.
13. Lyon oral history.
14. Scientific journal, 5 March 1957, CNO to CinCLantFlt, 1 July 1957, Lyon Papers.
15. CNO to CinCLantFlt, 1 July 1957, Lyon Papers.
16. Lyon oral history, Lyon, "Senior Scientist's Report to C.O. NAUTILUS," September 1957, Lyon Papers.
17. Lyon to Anderson, 2 July 1957.
18. Anderson (with Clay Blair, Jr.), *Nautilus 90 North* (Cleveland, World Publishing Company, 1959), p.52.
19. Anderson, *Nautilus 90 North*, pp. 94-95, Lyon, "Submarine Exploration of the North Pole Region: History, Problems, Positioning and Piloting," in Devers (ed.), *Pole Nord*, pp. 313-328; scientific journal, 5 September 1957.
20. Lyon, "Senior Scientist's Report to C.O. NAUTILUS," September 1957, Lyon Papers.
21. *New York Times*, 30 October 1957; Lyon oral history.
22. Anderson, *Nautilus 90 North*, p. 104; Leary interview with Anderson 2 February 1997.
23. On QLA sonar, see Arthur H. Roshon, "CTFM Sonar," Lyon Papers.
24. Scientific journal, 13 February and 18 June 1958.
25. 25 Anderson to CNO, "Report of Operation SUNSHINE 1" 28 June 1958, Lyon Papers.
26. Anderson, *Nautilus 90 North*, pp. 166-68.
27. Anderson to CNO. "Final Report on NAUTILUS Transpolar Voyage," 25 August 1958, Lyon Papers.
28. *New York Times*, 9, 12, 26, and 28 August 1958.
29. Lyon, "Senior Scientist's Report," 25 August 1958, Lyon Papers.
30. James F. Calvert to CNO, "Report of Patrol Number One," 22 September 1958, Lyon Papers, *New York Times*, 24 September 1958.
31. Calvert to CNO, "Report of SKATE March 1958 Arctic Patrol," 7 April 1959. Lyon Papers; Calvert, *Surface at the Pole* (New York: McGraw-Hill, 1960).
32. Lyon oral history.
33. On the Sargo patrol, see Nicholson to CNO, "Report of January-February Arctic Cruise, USS SARGO," 3 March 1960, Lyon Papers; and Nicholson, "Sargo," in James Dugan and Richard Vahan (eds.), *Men Under Water* (Philadelphia: Chilton Books. 1965), pp. 53-67.
34. Phoenix to Leary, 6 March 1997.
35. Scientific journal, 29 January 1960.
36. Scientific journal, 6 March 1960; Lyon, "Senior Scientist's Report, SARGO Winter Pacific Arctic Patrol, 1960," 3 March 1960, Lyon Papers.
37. American Society of Naval Engineers, "Citation," April 1960, Lyon Papers.
38. Steele to CNO, "Report of August-September Arctic Cruise," 14 September 1960, Lyon Papers; Steele, *SEADRAGON: Northwest Under the Ice* (New York: Dutton, 1962); Lyon, "Senior Scientist's Report. U.S.S. SEADRAGON Arctic Cruise, August-September 1960," 17 September 1960, Lyon Papers.
39. Skoog to CNO, "Report of July-August 1962 Arctic Cruise," 28 August 1962; Summitt to CNO, "SEADRAGON Report of SUBICEX 2-62," 28 August 1962; Lyon, "Senior Scientist's Report, USS SKATE-USS SEADRAGON Arctic Cruise 1962". 23 August 1962, all in Lyon Papers.
40. Lyon, "Notes - Arctic Program, 1963," 30 September 1962, Lyon Papers, *New York Times*, 28 January 1963; Norman Polmar and Jurien Noot, *Submarines of the Russian and Soviet Navies 1718 - 1990* (Annapolis: Naval Institute Press, 1991), pp. 170-71.
41. ComSubPac to Jackson B. Richard, 13 June 1967, Lyon Papers.
42. Richard to CNO, "Report of February 1967 Marginal Sea Ice Zone Operations in the Davis Strait," 19 February 1967; Lyon, "Senior Scientist's Report. USS QUEENFISH," 16 February 1967; both in Lyon Papers.
43. Lyon, "Senior Scientist's Report " U.S.S. WHALE," 24 April 1969, Lyon Papers.
44. Lyon, "Submarine Combat in the Ice," U. S. Naval Institute Proceedings US (February 1992): 34-40.

### **УОЛДО ЛАЙОН И АРКТИЧЕСКАЯ ПОДВОДНАЯ ЛОДКА**

**УИЛЬЯМ М. ЛИРИ**

(Университет штата Джорджия, США)

Перевод с английского И.В. Козыря

Идея подледного плавания впервые возникла в 1648 г. После успешных экспериментов Корнелиуса Дреббля с ныряющей 12-весельной подводной лодкой, проводившихся на Темзе в 1620 г., Джон Уилкинс – епископ честерский, основатель Королевского научного общества и неутомимый патрон британской "новой науки" XVII века, выдвинул предположение о том, что "подводный ковчег" можно было бы использовать для безопасного плавания "подо льдом и великими морозами" в районе Северного полюса [1].

О Джоне Уилкинсе мало кто слышал. Жюль Верн смог привлечь внимание более многочисленной аудитории. В 1869 г., через 200 лет после того, как в воображении английского священника родилась мысль о преимуществах подледного плавания "подводного ковчега", французский романист написал книгу "Двадцать тысяч лье под водой". В этом популярном произведении приводилось описание подводной лодки под названием "Наутилус" и рассказывалось о ее драматическом плавании подо льдом к Северному полюсу.

Среди множества людей, вдохновленных фантастическим романом Жюль Верна, был выросший в Нью-Джерси мальчик по имени Саймон Лэйк - будущий изобретатель. Полный решимости создать пригодную для практического применения подводную лодку, Лэйк построил в 1902 г. корабль с газолиновым двигателем, на котором позже проводил эксперименты по подводному плаванию в заливе Наррангасетт. Оборудованная обращенными к поверхности полозьями, закрепленными в верхней части рубки, подводная лодка Лэйка должна была скользить подо льдом [2].

Несмотря на то, что эксперименты Лэйка не получили высокой оценки, его концепция подлодки для плавания подо льдом стала краеугольной в планах путешествия к Северному полюсу уроженца Австралии, путешественника и исследователя сэра Хьюберта Уилкинса. Ему удалось достичь договоренности с Лэйком о переоборудовании устаревшей лодки О-12 для плавания подо льдом в соответствие с общими чертами ранних экспериментов Лэйка.

Экспедиция Уилкинсона к Северному полюсу, предпринятая летом 1931 г., оказалась неудачной. Ей удалось достичь только 82° северной широты. Хотя концепция Лэйка подводной лодки для плавания подо льдом и обнаружила практическую несостоятельность, Уилкинсону удалось выполнить научную работу, имеющую большое значение, результаты которой оказались полезными для будущих подледных походов атомных подводных лодок [3].

Работы по созданию специального оборудования для обеспечения действий подводных лодок подо льдом были начаты только после окончания Второй Мировой войны, и Соединенные Штаты удержали первенство в этой области. Хотя в работах по практической реализации концепции подледного плавания принимало участие большое количество офицеров флота и ученых, личность

одного из них в истории создания арктической подводной лодки занимает особое место. Речь идет об Уолдо Лайоне.

После получения диплома доктора наук в области физики университета штата Луизиана, Лайон поступил на работу в Лабораторию радио и акустики ВМС США в Сан-Диего. В годы войны он в основном занимался проблемами защиты пунктов базирования кораблей и созданием акустических измерителей параметров придонных течений и высоты волн в гаванях, а также средств измерения параметров волнения, вызванного движением кораблей и судов. В 1945 г. он руководил проводившимися совместно с канадскими учеными экспериментами по изучению эффектов преломления акустических лучей корабельных гидроакустических станций, обусловленных влиянием вертикальной изменчивости температуры морской воды [4].

После войны Лайон продолжил свои исследования по проблемам низкотемпературной морской акустики. В декабре 1946 и в январе 1947 гг. он принимал участие в операции "Хайджамп" ("Highjump") в Антарктике. Находясь на борту подводной лодки "Сеннет" (SS 408 "Sennet"), он много узнал о возможностях действий подводных лодок в надводном положении в районах со сложными ледовыми условиями. Это путешествие, как он позже отметил, стало "очень хорошим испытанием для тех, кто хотел оценить особенности ледового плавания и приобрести уверенность для проведения новых операций во льдах". Он вернулся после операции "Хайджамп" "глубоко заинтригованный" перспективами создания подводной лодки для плавания подо льдом [5].

В 1947 г. при горячей поддержке контр-адмирала Мак-Кэна – командующего подводными силами на Тихом океане, Лайон приступил к экспериментам, имея в своем распоряжении подводную лодку "Боарфиш" (SS 327 "Boarfish"). 1 августа 1947 г. "Боарфиш", на борту которой находились Мак-Кэн и Лайон, погрузилась подо льдом в Чукотском море. Подводная лодка провела под паковым льдом более часа и всплыла в надводное положение без каких-либо повреждений. В течение следующей недели "Боарфиш" совершила еще два перехода подо льдом. Самый большой из них составил 12 миль [6].

Лайон был в восторге от результатов испытаний. Он был убежден, что опыт плавания "Боарфиш" убедительно доказал практическую возможность подледной навигации. Эксперименты нужно было продолжать для того, чтобы полностью выявить тактические преимущества использования подводных лодок в Арктике. "Я намерен занять центральное место в программе создания вооружения для действий подводных лодок в полярных областях, – писал он своему другу в октябре 1947 г., – поскольку все это представляется весьма плодотворным, интересным и является совершенно неисследованной областью" [7].

Благодаря поддержке адмирала Мак-Кэна, Лайон для продолжения экспериментов в области подледного плавания получил в 1948 г. подводную лодку.. "Карп" (SS 338 "Carp") достигла границы паковых льдов в районе с координатами 72° с. ш., 167 з. д. в начале сентября. После этого в течение 8 дней подводная лодка выполнила 14 погружений и всплытий в местах свободных ото льда или в полыньях среди паковых льдов, занимаясь отработкой новаторских методов, которые могут быть необходимы для более продолжительных походов подо льдом дизель-электрических подводных лодок [8].

В ноябре 1948 г. Лайон опубликовал научно-исследовательский отчет Лаборатории электроники ВМС США № 88 под названием "Полярная подводная лодка и навигация в Арктике". Подводя итоги экспериментов с участием подводных лодок "Сеннет", "Боарфиш" и "Карп", он сделал заключение: "Реальность полярной подводной лодки, способной плавать во внутренних районах арктического бассейна является не просто доказанной, все это может быть немедленно осуществлено на практике".

Однако военно-морской истеблишмент не был в этом уверен. Хотя работа Лайона и получила поддержку некоторого числа "уверовавших", таких как адмирал Мак-Кэнн, но большинство офицеров флота отнеслась к ней с большим скептицизмом. Официальный взгляд отражен в "Руководстве по военно-морским операциям в Арктике", подготовленном Координационным комитетом по действиям в Арктике и в условиях низкой температуры при управлении командующего ВМС США и изданном в 1949 г. Признавая успешность экспериментов в области подледного плавания с участием подводных лодок "Боарфиш" и "Карп", авторы "Руководства" приходят к совершенно иному выводу. "Создание трансарктической подводной лодки, – утверждалось в нем, – по-прежнему относится к сфере фантазии" [9].

После того, как адмирал Мак-Кэнн оставил свой пост командующего в Пирл-Харборе, Лайон столкнулся с большими проблемами в получении подводной лодки для продолжения экспериментов в области подледного плавания. Отдавая себе отчет в том, что фундаментальные сведения об океанографических условиях в Арктике будут необходимы для любых будущих операций подводных лодок в этом районе, он возвратился к научным исследованиям, направленным на получение необходимых данных. Начиная с 1949 г., Лайон тесно сотрудничает с канадскими океанографами при проведении серии научных экспедиций в Беринговом и Чукотском морях, в море Бофорта, а также в заливе Амундсена, в районе Висконт Мелвилл Саунд и прилегающих к нему акваториях. Он привлекает к ним также подразделения лаборатории в Сан-Диего, что позволяет ему проводить испытания оборудования, имитируя арктические условия [10].

В течение пяти лет Лайон принимал участие в серии высокоширотных ледокольных экспедиций, позволивших собрать огромный объем информации об этом практически неизученном ранее районе земного шара. Своей кульминации эта океанографическая программа достигла в 1954 г., когда впервые в истории корабль экспедиции прошел через пролив Мак-Клура и обогнул Бэнкс-Айленд [11].

Дважды в течение этого времени (в 1952 и 1953 г.) Лайон пытался получить подводную лодку для осуществления подледных экспериментов. Наиболее плодотворным оказался поход 1953 г. когда подводная лодка "Редфиш" (SS 395 "Redfish") выполнила совместно с ледоколом "Бартон Айленд" (AGB 1 "Burton Island") серию боевых упражнений. Эти эксперименты убедили Лайона в том, что арктическая подводная лодка будет "наиболее совершенным оружием" для ведения боевых действий во льдах. Лодку будет практически невозможно обнаружить или атаковать надводными кораблями и авиацией, тогда как она сможет наносить удары по противнику на периферии ледового покрова [12].

Энтузиазм Лайона относительно перспектив создания подводной лодки для плавания во льдах не произвел, однако, ни малейшего впечатления на руководителей Управления кораблестроения, ответственных за принятие решений о финансировании арктических исследований, осуществлявшихся Лабораторией

электроники ВМС. Фактически, в 1955 и в 1956 гг. Управлением кораблестроения финансирование арктических исследований под руководством Лайона было сильно сокращено. Только вмешательство директора Лаборатории, воспользовавшегося всевозможными бюрократическими ухищрениями для того, чтобы помешать намерениям Управления урезать бюджет, помогло выжить Лаборатории арктической подводной лодки под руководством Лайона [13].

В 1957 г. высшие сферы ВМС внезапно проявили интерес к вопросу создания арктической подводной лодки, инициированный главным образом запросом сенатора Генри Джексона. В феврале влиятельный председатель подкомитета сената США по вопросам применения атомной энергии в военных целях озадачил командующего ВМС США адмирала Орли Бёрка вопросом относительно возможностей применения сил флота в высоких широтах. Лайон был вызван "наверх" для подготовки ответа ВМС на запрос Джексона. В результате этого родилась программа арктических исследований для оценки практических возможностей навигации подо льдом [14].

В это же время кэптан Юджин Уилкинсон – командир первой атомной подводной лодки и энтузиаст подледного плавания – сумел повлиять на принятие решения командованием ВМС об отправке в Арктику летом 1957 г. лодки "Наутилус" (SS 571 "Nautilus"). 1 июля 1957 г. адмирал Бёрк утвердил проект предложений о разработке методов и средств обеспечения боевых действий подводных лодок во льдах и в условиях низкой температуры. Программа предусматривала подледный переход лодки "Наутилус" в район 83° с. ш., находящийся на расстоянии 420 миль от Северного полюса, "по усмотрению командира лодки" [15].

Появление атомных подводных лодок по оценке Лайона "открыло дверь в совершенно иной мир". В то время, когда он был уверен в том, что дизель-электрические подводные лодки способны безопасно действовать на значительном пространстве подо льдом, всплывая на поверхность в районах свободных ото льда для пополнения воздуха, появление атомных подводных лодок принесло возможность "неограниченного плавания" подо льдом [16].

2 июля 1957 г. Лайон обращается с письмом к командеру Уильяму Андерсону, заменившему в июне Уилкинсона на посту командира "Наутилуса", где подчеркивает необходимость "сбора данных, имеющих значение для развития потенциальных возможностей боевого применения подводных лодок в Арктике". Это было особенно важно в свете интенсивной деятельности в Арктике советской стороны на протяжении последних 12 лет. Выполнение разведки в глубоководной части арктического бассейна, подчеркивал Лайон, позволило бы догнать СССР в получении ценной информации относительно важнейшего в стратегическом отношении района Мирового океана [17].

Особой необходимости убеждать в этом Андерсона не было. Зараженный "полярным вирусом", он намеревался забраться как можно дальше на север во время запланированного похода. Андерсен был уверен, что полученные им инструкции предоставляют ему достаточно самостоятельности для достижения Северного полюса. "Втайне я надеялся, что мы сможем это сделать, – отметил он позже. Тем не менее, он признавал, что достижение полюса было желанной, но не обязательной целью похода" [18].

"Наутилус", на борту которого находился Лайон, вышел из Нью-Лондона 19 августа 1957 г. Андерсон достиг границы паковых льдов севернее острова Ян-

Майен 3 сентября и продолжил на высокой скорости подледный переход к Северному полюсу. Все шло хорошо до полудня 4 сентября. Короткое замыкание вывело из строя два гирокомпаса, едва "Наутилус" достиг широты 86° на удалении 240 миль от полюса. Хотя неисправность и была устранена в течение одной минуты, но показания гирокомпасов стали неустойчивыми. Так как в высоких широтах магнитный компас становится бесполезным, Андерсону для получения точного курса были необходимы гирокомпасы. Лишившись этого источника информации, он не имел другого выбора, как повернуть на юг (или, по крайней мере, в ту сторону, где по его предположениям тот находился). "Так вскрылась важнейшая проблема Арктики, – отметил в своем научном журнале Лайон, – а именно – проблема определения местоположения" [19].

Пользуясь батиметрическими данными, полученными во время экспедиции 1931 г. под руководством сэра Хьюберта Уилкинсона, "Наутилус" вышел за пределы паковых льдов и благополучно всплыл утром 6 сентября. Подводная лодка прошла подо льдом более 1100 миль, что позволило Управлению ВМС назвать это походом "наиболее впечатляющим событием в военно-морской истории". "Трансарктическая подводная лодка, – записал Лайон в отчете научного руководителя о походе, – которая пять лет тому назад часто называлась плодом фантазии, стала очевидным фактом". Арктика, подчеркнул он, стала "районом деятельности подводных сил" [20].

Так получилось, что известие о "наиболее впечатляющем событии военно-морской истории" не привлекло особого внимания прессы. Пресс-релиз об этом походе, подготовленный ВМС, был опубликован в конце октября вскоре после получения сообщения о том, что в Советском Союзе осуществлен запуск первого в мире искусственного спутника Земли. Газеты по всей стране были заполнены публикациями о том, что запуск советского спутника обнаружил бессилие американской науки и несет в себе угрозу национальной безопасности. "Наутилус", – заметил Лайон, – пропал в тени спутника" [21].

Более внимательно администрация Дуайта Эйзенхауэра отнеслась к предложению адмирала Бёрка отправить "Наутилус" из Тихого океана в Атлантику через Северный полюс в 1958 г. Появление "Наутилуса" в европейских водах по времени должно было быть приурочено к открытию в июне Всемирной выставки в Брюсселе. Поход должен был в максимальной степени убедить широкие круги мировой общественности в технологическом превосходстве Америки. В то же время президент Эйзенхауэр настоял на проведении необычных для мирного времени мер секретности (походу было присвоено условное наименование "Саншайн" ("SUNSHINE")) для того, чтобы в случае неудачи избежать скандала, сопоставимого с возникшим после неудачного запуска ракеты "Вангард". Во время шумно разрекламированного запуска "Вангарда" в декабре 1957 г. произошел взрыв ракеты, вызвавший издевки прессы [22].

9 июня 1958 г. "Наутилус" начал в Сиэтле свой трансарктический поход. Для решения задач навигации в высоких широтах подводная лодка была оборудована инерциальной навигационной системой (ИНС) North American Autonetetic N6A – адаптированного аналога ИНС, применявшейся для оснащения крылатых ракет типа "Навахо". Она была также оснащена навигационным эхолотом для оценки характеристик ледового покрова, разработанным в Лаборатории электроники ВМС США. Однако "Наутилус" не имел гидроакустической станции для

обнаружения льда в носовых курсовых углах, который использовался Лайоном в ходе ранее проводившихся экспериментов по подледному плаванию. А гидроакустическая станция QLA, применявшаяся для этих целей во время Второй Мировой войны, к этому времени уже не производилась [23].

Лайона тревожило отсутствие станции QLA, необходимой для обнаружения льда по курсу движения лодки. В глубоководную часть арктического бассейна "Наутилус" должен был пройти через мелководный пролив Беринга и Чукотское море. Исходя из опыта ледокольных океанографических экспедиций, Лайон предполагал возможность встречи лодки с подводными ледовыми торосами с осадкой от 40 до 50 футов [24]. Однако он полагал, что "Наутилус" сможет пройти через мелководный район.

В начале плавания проходило благополучно, и командеру Андерсону удалось отыскать проход в Беринговом проливе. Затем он вошел в Чукотское море. Глубина моря в этом районе составляла около 160 футов. Высота "Наутилуса" от киля до верхней части рубки составляла 55 футов. Андерсон выбрал для перехода рабочую глубину 120 футов. Таким образом, запас глубины под килем составил бы 40 футов, а расстояние между ограждением рубки и нижней кромкой ледового покрова – 65 футов.

Незадолго до полуночи 17 июня "Наутилус" прошел под глыбой льда с осадкой 47 футов. "Для нас это было совершенно неожиданным, – отметил Андерсон в своем отчете о походе, – а на гидроакустической станции мы смогли обнаружить лед с такой низкой осадкой в воде только тогда, когда уже прошли под ним". Поскольку лодка погрузилась на глубину 140 футов, что уменьшило запас глубины под килем лодки до 20 футов и увеличило расстояние от рубки до поверхности до 85 футов, она благополучно миновала подводный торос с осадкой 58 футов. Такое изменение условий плавания с точки зрения безопасности серьезно обеспокоило Андерсона и он приказал немедленно повернуть на юг. Через какое-то мгновение "Наутилус" прошел под нагромождением льда, нижняя кромка которого достигала глубины 80 футов. Расстояние между рубкой лодки и льдом составило всего лишь 5 футов [25].

"Потребовалось всего несколько мгновений, чтобы осознать, что операция "Саншайн" провалилась окончательно и бесповоротно", – вспоминал Андерсон. Он сообщил адмиралу Бёрку о том, что "Наутилус" не смог пройти через ледовый барьер и просил разрешения сделать еще одну попытку, когда ледовые условия станут более благоприятными. Бёрк согласился, одновременно требуя сохранения секретности операции [26].

Благодаря исключительно высокой ответственности экипажа "Наутилуса", секретность операции сохранялась в течение всего времени пребывания лодки в Пирл-Харборе. 21 июля "Наутилус" вышел в море для того, чтобы повторить попытку выполнения операции "Саншайн". На это раз поход проходил в более благоприятных ледовых условиях. Андерсон вновь прошел проливом Беринга без особых сложностей. А затем через подводную долину моря Барроу (глубокий проход от мыса Пойнт-Барроу, ранее нанесенный на карту океанографами Лаборатории электроники ВМС США) вывел свой корабль в арктический бассейн. 3 августа "Наутилус" достиг Северного полюса. Андерсон продолжил переход через глубоководную часть Арктики и 5 августа вышел из-под паковых льдов в Атлантику [27].

Успех "Наутилуса" имел широкую огласку. Андерсон был самолетом доставлен в Вашингтон, где президент Эйзенхауэр вручил ему медаль "За заслуги". Подводная лодка вернулась в Соединенные Штаты в конце августа, где членов экипажа ожидал грандиозный прием, включая торжественное прохождение по улицам Нью-Йорка под дождем из серпантина. Поход "Наутилуса", как заявил один из старших офицеров ВМС США, стал "ответом США на запуск советского искусственного спутника Земли" [28].

Лайону было более чем приятно. В своем отчете научного руководителя похода он отметил, что в этом трансарктическом переходе "воплотились результаты многолетних экспериментов в области подледного плавания" и что он "ясно обнаружил реальность и возможность создания арктической подводной лодки". Этап начальных исследований завершен, сделал заключение Лайон, и теперь открыта дверь для "систематических исследований и разработок" подводной лодки для подледного плавания с "установлением в недалеком будущем полного контроля ВМС США над акваторией Арктики" [29].

В то время, когда "Наутилус" выполнял свой трансарктический поход, получивший такое признание, подводная лодка "Скэйт" (SS 578 "Scate") также выполнила продолжительный арктический поход. Фактически, по признанию Лайона, поход в Арктику "Скэйта" был более значимым "с точки зрения науки". Под командование Джеймса Калверта "Скэйт" не только обследовал намного большую часть арктического бассейна чем "Наутилус", но и усовершенствовал методы всплытия в полыньях (то, что лодка "Карп" впервые осуществила в 1948 г.) [30].

"Скэйт" с Лайоном на борту совершила еще более амбициозный поход в марте 1959 г. На этот раз протяженность похода подводной лодки подо льдом составила 3090 миль. При обнаружении замерзших полыней командер Калверт впервые реализовал метод всплытия со взламыванием ледяного покрова. В десяти случаях удалось всплыть из подо льда толщиной от 1 до 22 дюймов. "Скэйт" стала первой подводной лодкой, всплывшей на Северном полюсе [31].

Широкое общественное признание успеха "Наутилуса" и "Скэйта" привлекло общественное внимание и обеспечило высокий приоритет экспериментам Лайона в области подледного плавания, проведения которых он добивался более десяти лет. Ему больше не приходилось обращаться по поводу выделения подводных лодок на ограниченное время для осуществления операций в Арктике, надеясь, что командование подводных сил на Тихом океане или в Атлантике проникнется сочувствием к его проектам. Арктические походы, совсем недавно воспринимавшиеся большинством офицеров ВМС как дело невозможное, бесполезное и опасное, теперь приносили награды, славу и общественное признание. Это, как признавался Лайон, было "золотое время" [32].

Среди походов подо льдом, выполненных в течение периода, названного "золотым", наиболее результативными стали походы 1960 г., включая драматический поход зимой этого года подводной лодки "Сарго" (SSN 583 "Sargo"). Под командованием Джона Николсона и с Лайоном в качестве научного руководителя на борту, "Сарго" покинула Пирл-Харбор 28 января 1960 г. для того, чтобы попытаться впервые в истории пересечь Берингов пролив и Чукотское море зимой. Подводной лодке предстояло преодолеть около 1000 миль мелководья в ледовых условиях еще более тяжелых, чем те, которые остановили "Наутилус" в



июне 1958 г. Однако на вооружении “Сарго” уже находилась новая сканирующая гидроакустическая станция, прообразом которой была старая военная станция миноискания QLA, позволявшая получить ясное изображение подводной кромки льда впереди “Сарго” [33].

К двум часам ночи 28 января “Сарго” подошла к Берингову проливу, следуя на глубине 100 футов. Глубина под килем составляла 26 футов, а запас глубины над подводной лодкой до нижней поверхности льда – 51 фут. На экране гидроакустической станции отображались многочисленные торосы с большой осадкой. В течение последующих 12 часов “Сарго” прошла, по словам Николсона “крещение огнем или точнее – льдом”.

Следуя на минимальной скорости 5 узлов и стараясь иметь запас глубины под килем не менее 20 футов, Николсон столкнулся с необходимостью постоянно маневрировать среди настоящего леса ледовых сталактитов. “Действия в экстремальных условиях, - докладывал он, - стали обычным явлением для нашего похода”. Неожиданно глубина увеличилась со 120 до 165 футов. Затем так же внезапно она стала уменьшаться. “Отметка на экране UQN, - по наблюдениям Николсона - “побежала от отметки 55 футов к 40, 20, 10...”. Вахтенный офицер, управляющий всплытием и погружением лодки, лейтенант Дэвид Финикс, столкнулся с необходимостью решения задачи избежать столкновения с морским дном, удерживать нулевой дифферент и уклоняться от подводных ледовых образований, нависших над кораблем. “Я принял мгновенное решение, - вспоминал Финикс, - продуть цистерны главного балласта с открытыми клапанами вентиляции для того, чтобы получить положительный момент плавучести, с которым я смогу справиться прежде, чем мы столкнемся с нижней ледовой кромкой льда. Насколько мне известно, подобный способ маневрирования до этого еще не применялся” [34].

“Sargo” всплыла на 10 футов, при этом отметка глубины на экране гидроакустической станции UQN, показывающая расстояние до нижней части ледового покрова, достигла 5 футов. “Мы приготовились к тому, чтобы удариться о дно”, - записал Николсон. Тем не менее, показания эхолота начали расти так же стремительно, как уменьшались перед этим. Спонтанный маневр Финикса удался. “Неприятный момент”, - прокомментировал Лайон в своем журнале научных наблюдений [35].

Только к 08. 30 30 января “Sargo” достигла в Чукотском море изобаты 30 морских саженей. “Никогда еще 30 саженей не казались такой большой глубиной”, - записал Николсон. Вскоре после полудня “Сарго” достигла глубоководной части арктического бассейна, осуществив впервые проход через Берингов пролив и Чукотское море зимой.

Однако через 6 часов после этого сканирующий гидролокатор NEL вышел из строя. Если бы это произошло чуть раньше, заметил Николсон, то “у нас могли возникнуть большие проблемы”. Он мог бы обойтись без гидролокатора, чтобы дойти до Северного полюса. Для этого нужно было выбрать достаточно большую глубину, чтобы не столкнуться с глубоко погруженными подводными ледовыми торосами. Но этого было уже недостаточно для того, чтобы вернуться в Тихий океан через Берингов пролив и вынуждало выйти в Атлантику.

В то время как “Сарго” достигла Северного полюса, проводила исследования прохода Мак-Клура и навестила ледовую станцию Т-3 в районе Пойнт-

Барроу, Артур Рошон из Лаборатории электроники ВМС США, ответственный за эксплуатацию сканирующего гидролокатора, трудился вместе с членами экипажа лодки, занимаясь его ремонтом. После того как им с большим трудом удалось разобрать станцию, они обнаружили, что из строя вышел двигатель в устройстве электромеханической развертки излучателя. Когда стало очевидно, что устранить такую неисправность невозможно, Рошону пришла в голову идея подключить излучатель к гидрофону корабельной гидроакустической станции BQR-2. Удовлетворенный работой такой импровизированной станции, Николсон принял решение вернуться к первоначальному плану похода и возвращаться через мелководные Чукотское и Берингово моря.

Вначале казалось, что такая конструкция гидроакустической станции работает неплохо. Однако вечером 19 февраля "Сарго" столкнулась с выступающей нижней частью тороса. Позже было установлено, что удар пришелся в верхнюю часть ограждения рубки с усиленной конструкцией, но не повлек за собой серьезных повреждений несущих элементов конструкций. "Хотя все были огорчены теми повреждениями рубки, которые мы увидели, – записал Николсон после осмотра, проведенного через два дня после столкновения, – каждый почувствовал, насколько нам повезло".

Проанализировав показания самописцев, Рошон и Николсон установили, что сильные боковые лепестки акустической диаграммы комбинированного устройства NEL/BQR-2 маскируют цель при приближении на расстояние ближе 500 ярдов. Поэтому они придумали способ работы при подобных ограничениях аппаратуры. Поскольку впереди был трудный переход, "Сарго" сумела завершить его без новых происшествий.

"Самый удивительный поход за мою карьеру", – записал Лайон в своем журнале научных наблюдений. Он имел все основания для удовлетворения от полученных во время экспедиции научных результатов. "Сарго" преодолела 6000 миль подо льдом, включая 2000 миль, пройденных через мелководье. Подводная лодка провела среди паковых льдов 31 день, что намного превосходило в общей сложности результаты предыдущих походов в Арктику. Она выполнила 20 всплытий во льдах, при этом однажды ей пришлось взломать лед толщиной 48,5 дюймов. Все это свидетельствовало о выдающемся успехе [36].

В апреле 1960 г. Американское общество корабельных инженеров наградило Лайона своей престижной Золотой медалью. Поход "Сарго", как было отмечено в представлении к медали, стал кульминацией пионерских исследований, начатых в 1946 г.. Этот успех стал возможен не только благодаря аппаратуре, созданной под руководством Лайона, "но также благодаря настойчивости, энтузиазму, руководящим качествам, исключительному профессионализму и самоотверженности, с которыми он добивался намеченной цели, невзирая на технические и личностные проблемы" [37].

Но еще большие приключения и слава были впереди. Лето 1960 г. Лайон провел на борту подводной лодки "Сидрэгон" (SS 584 "Seadragon"), совершившей переход из Нью-Лондона в Пёрл-Харбор через Северо-Западный проход – залив Баффина, Ланкастер Саунд, проход Барроу, Вискаунт Мелвилл Саунд, проход Мак-Клура и море Бофорта. "Сидрэгон" под командованием Джорджа Стила продемонстрировал возможности безопасного использования подводных

лодок в опасных от айсбергов водах залива Баффина и прохода подо льдом через проливы канадского архипелага. Этот поход, как записал Лайон в своем отчете научного руководителя, "замкнул цепь" в серии исследовательских походов, начиная с похода "Боарфиша" в 1947 г. Подводные лодки теперь могут безопасно плавать подо льдом на всей протяженности акватории Арктики и подходов к ней в любое время года. Необходимое гидроакустическое вооружение обслуживаемое экипажем, было разработано. Оставалось только перейти от опытных образцов к их промышленному производству. "Северный ледовитый океан стал частной собственностью подводных лодок. Отсюда вытекают уникальные возможности применения для этих кораблей", – подчеркнул Лайон. Теперь необходимо перейти к следующему этапу – установлению военного контроля над Арктикой и подходами к ней [38].

Боевые учения зимой 1962г. в Арктике с участием "Скэйта" и "Сидрэгона" выявили ограниченные возможности существующих средств вооружения. Подводная лодка была единственным средством защиты от другой подводной лодки, действующей среди паковых льдов. Но после серии испытаний было установлено, что торпеды Mk 37 не в состоянии поразить цель, скрывающуюся подо льдом.

"Моя недавняя уверенность в том, что Mk 37 – приличная торпеда исчезла, – записал в своем отчете о походе командер Джозеф Скуг младший, – по крайней мере, в условиях Арктики". Упражнения показали, что Mk 37 в режиме активного самонаведения при стрельбе в районе с глубиной места менее 400 футов начинают наводиться на лед. Более того, сделал заключение Скуг: "У нас нет торпед, способных поразить подводную лодку, действующую подо льдом в районах с небольшими глубинами ...". С ним был согласен и командир "Сидрэгона" Чарльз Саммит. "Мы совершенно точно установили, – докладывал он, – все возможности и ограничения применения торпеды Mk 37 в Арктике, и все это производит удручающее впечатление". Как подчеркнул он в своем отчете научного руководителя, возможности применения торпедного оружия в Арктике "равны нулю". Это отсутствие концепции по применению оружия, – продолжал он, – остается серьезнейшим пробелом в наших знаниях о сущности боевого применения подводных лодок в Арктике" [39].

Лайон предложил интенсивную программу деятельности подводных лодок в Арктике, рассчитанную на 7 лет, предусматривающую проведение боевых упражнений, океанографических исследований и изучения особенностей распространения звука в морской среде. Программа была одобрена командующим ВМС США в мае 1963 г. отчасти благодаря деятельности советских подводных лодок в Арктике. 27 января 1963 г. в советской прессе было опубликовано сообщение о том, что атомная подводная лодка "Ленинский комсомол" достигла Северного полюса в июле прошлого года. Советский Союз, в соответствии с приведенным заявлением командира лодки, теперь обладал возможностью "обнаружить и уничтожить атомные подводные лодки противника, которые пытаются подойти к берегам СССР" [40].

Можно было бы предположить, что при обычных обстоятельствах такое соперничество привело бы к усилению интересов ВМС США к Арктике. Но этого не произошло из-за гибели подводной лодки "Трешер" ("Thresher"). Потеря "Трешера" в апреле 1963 г. вызвала появление программы модернизации подводных лодок SubSafe, обусловившей серьезное ограничение в размерах подводных

сил в течение последующих 5 лет. Арктические операции, как скоро понял Лайон, уже не имеют высокого приоритета в ВМС. Как отмечал командующий подводными силами на Тихом океане, "малочисленность атомных подводных лодок, которыми располагали ВМС и Тихоокеанский флот в частности, обусловила утверждение командующим Тихоокеанским флотом перечня обязательных приоритетных направлений, определяющих применение этих подводных лодок. Таких направлений было десять". Подледные операции подводных лодок занимали в этом списке десятое место [41].

Лайон не выходил в море вплоть до 1967 г. При поддержке энтузиастов из Пентагона он добился утверждения короткой программы испытаний новой многоцелевой подводной лодки типа "637", способной действовать в арктических условиях. Для "Куинфиш" (SSN 651 "Queenfish"), первой из лодок этого типа, подготовленной к выходу в море, был спланирован 10-дневный поход, предусматривавший плавание у границы паковых льдов в районе пролива Дэвиса.

В феврале 1967 г. "Куинфиш" провела подо льдом в общей сложности 96 часов. Во многих отношениях наиболее важный урок, вынесенный из этого похода, заключался в осознании особой важности пограничной области между открытым морем и ледовым покровом. "В этом походе, - отмечал он, - я живо осознал насколько сильна опасность, угрожающая ВМС, в районе, на границе раздела между открытым морем и ледовым покровом, который мы назвали маргинальной зоной". Несколько сотен миль ледовой поверхности представляли собой "перемешанную, хаотичную и непредсказуемую морскую среду". Изменчивость температуры и солености морской воды резко ухудшала гидроакустические условия. "Это наиболее подходящее место для укрытия и маневрирования, - отметил Лайон, - где обнаружение подводной лодки чрезвычайно затруднено". Он призывал к проведению в будущем исследований, позволяющих лучше понять особенности условий среды в маргинальной зоне морских льдов [42].

Несмотря на то, что этот поход очень много дал для установления возможностей успешного применения подводных лодок типа "637" в районах, прилегающих к границе полярных льдов, продолжения экспериментов в глубинах арктического бассейна Лайону пришлось дожидаться два года. Только в марте 1969 г. для проведения испытаний новой гидроакустической станции наблюдения за ледовой обстановкой BQS-8, усиленной конструкции ограждения рубки, а также рубочных горизонтальных рулей, с углом поворота до 90° в море вышла подводная лодка "Вэйл" ("Whale") нового "637" типа для отработки всплытия в замерзших полыньях. "Вэйл" совместно со "Скэйт" предстояло также провести испытания модернизированной торпеды Mk 37.

Этот поход, как записал в своем журнале научного руководителя Лайон "завершил испытания по оценке возможностей применения подводных лодок типа SSN-637 подо льдом". Гидроакустическая станция BQS-8 смогла удовлетворить требованиям по обеспечению плавания подо льдом. Испытания с участием "Вэйл" также подтвердили ее способность взламывать лед при всплытии. И - наконец - испытания показали, что проблема ложного наведения торпеды на ледовые образования также близка к решению. "Создание подводной лодки 637 типа, - сделал заключение Лайон, - стало кульминацией исследований, проводившихся в течение 20 лет". Теперь исследования должны быть направлены на создание арктических подводных лодок нового поколения [43].

С 1970 г. по настоящее время подводными лодками 637 типа была выполнена целая серия успешных походов подо льдом. Но арктическая подводная лодка нового поколения так и не была создана. Лайон принимал участие в подледном плавании лодки "Силверсайд" (SSN 571 "Silver side") во время учений, проходивших в заливе Баффина, проходе Нареса и в Карском море. И это был его последний поход в Арктику. В следующем году ВМС приняли решение отказаться от создания экспериментальной арктической подводной лодки. К концу 90-х годов последние лодки 637 проекта должны были быть исключены из состава флота, и вместе с ними ВМС лишаются большинства возможностей по ведению боевых действий подо льдом.

Лайона по-прежнему тревожило то, что ВМС не смогли создать арктическую подводную лодку нового поколения. Он был уверен, что окончание холодной войны не означает то, что исчезла угроза национальной безопасности США. При беспрецедентном развитии подводных сил в различных странах мира должно было прийти время, когда Соединенным Штатам и Канаде несомненно потребуются создание надежной системы обороны в Арктике. "Мы должны признать существование "арктических джунглей" и вероятность возникновения там военного конфликта, – писал он в 1992 г., – и взяться за выполнение технической работы, необходимой для того, чтобы понять сущность такой войны" [44].

Он взывал к глухим. В 1993 г. ВМС приняли решение о закрытии Лаборатории арктической подлодки.

Хотя лаборатория в Сан-Диего была закрыта, достижения Лайона сохранятся навсегда. Несмотря на то, что в создании арктической подводной лодки принимало участие много людей, Лайон был "первым среди равных" – "*primus inter parus*". Как было написано в его представлении в 1993 г. на получение премии Дэвида Бушнелла: "редко один человек может так представлять целую технологию...". Благодаря его настойчивости и решительности мечта епископа Джона Уилкинса, жившего в XVII столетии, об арктической подводной лодке стала реальностью.

Лайон продолжал выступать против того, что он считал проявлением недальновидности ВМС вплоть до своей смерти, наступившей 5 мая 1998 г. после тяжелого сердечного приступа, когда ему было 84 года. В марте 1999 г. прах ученого был принят на борт подводной лодки ВМС США "Хокбилл" ("Hawkbill"), направлявшейся к Северному полюсу, и развеян там 3 мая. Командир подводной лодки Роберт Перри, вспоминая об этом походе, написал: "Доктор Лайон был великим человеком. Соединенные Штаты должны быть благодарны ему за то, что он сделал для флота и подводных сил".

*Прмечание переводчика:*

1 фут = 0,305 м; 1 сажень = 1,829 м; 1 ярд = 0,9144 м.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. On the remarkable Wilkins, see Barbara J. Shapiro, John Wilkins, 1614-1672: An Intellectually Biography (Berkeley: University of California Press, 1969). For an excellent survey of the early development of the arctic submarine, see Alfred McLaren, "The Arctic Submarine: Its Evolution and Scientific and Commercial Potential", in Sylvie Devers (ed.), Pole Nord 1983 (Paris: Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, 1987), pp. 329-41.
2. Simon Lake, The Submarine in War and Peace (Philadelphia: Lippincott, Brewer, Warren&Putnam, 1918); Lake, "The Development of the Under Ice Submarine", in Sir Hubert Wilkins, Under the North Pole (New York, 1931).

3. Wilkins, "Report "Nautilus" Submarine Expedition", 1947, in the Papers of Sir Hubert Wilkins, Byrd Polar Research Center, University Archives, Ohio State University. The best biography of Wilkins is John Grierson, *Sir Hubert Wilkins: Enigma of Exploration* (London: Her Majesty's Stationary Office, 1986), pp. 176-80.
4. Leary interviews with Lyon, 15-17 December 1995, San Diego, CA. See also "The reminiscences of Dr. Waldo K. Lyon, "Oral History Department", U. S. Naval Institute. This 297-page transcript of interviews conducted by Etta Belle Kitchen, January-March 1971, is hereinafter cited as Lyon oral history.
5. Lyon oral history. On HIGHJUMP, see Lisle A. Rose, *Assault on Eternity: Richard E. Byrd and the Exploration of Antarctica, 1946-47* (Annapolis: Naval Institute Press, 1980).
6. On Boarfish, see John H. Turner, "Report of Alaskan Cruise", 16 August 1947, and Lyon, "The Polar Submarine and Navigation of the Arctic Ocean", Research Report 88, 18 November 1948, U. S. Navy Electronics Laboratory; both in the Papers of Waldo K. Lyon, San Diego, CA.
7. Lyon to John P. Tully, 1 October 1947, Lyon Papers.
8. On Carp, see J. M. Palmer to CNO, "Report on Under-Ice Operations in Arctic Ice Field of Chukchi Sea", 20 September 1958, and Lyon, "Polar Submarine", both in Lyon Papers.
9. A copy of this document is available in the Naval Historical Center, Washington, DC.
10. Lyon oral history.
11. William L. Maloney to CNO, "Preliminary Report of Joint Canadian-United States Beaufort Sea Expedition of 1954", September 1954, Lyon Papers.
12. USS Redfish, "Report of REDFISH Participation in Beaufort Sea Expedition", 7 October 1952, and Lyon, "Summary Report of Chief Scientist, Joint Canadian-US Beaufort Sea Expedition", n. d. [October 1952]; both in Lyon Papers.
13. Lyon oral history.
14. Scientific journal, 5 March 1957; CNO to CinCLantFlt, 1 July 1957, Lyon Papers.
15. CNO to CinCLantFlt, 1 July 1957, Lyon Papers.
16. Lyon oral history; Lyon, "Senior Scientist's Report to C. O. NAUTILUS", September 1957, Lyon Papers.
17. Lyon to Anderson, 2 July 1957.
18. Anderson (with Clay Blair, Jr.), *Nautilus 90 North* (Cleveland: World Publishing Company, 1959), p. 52.
19. Anderson, *Nautilus 90 North*, pp. 94-95; Lyon, "Submarine Exploration of the North Pole Region: History, Problems, Positioning and Piloting", in Devers (ed.), *Pole Nord*, pp. 313-328; scientific journal, 5 September 1957.
20. Lyon, "Senior Scientist's Report to C. O. NAUTILUS", September 1957, Lyon Papers.
21. *New York Times*, 30 October 1957; Lyon oral history.
22. Anderson, *Nautilus 90 North*, p. 104; Leary interview with Anderson, 2 February, 1997.
23. On QLA sonar, see Arthur H. Roshon, "CTFM Sonar", Lyon Papers.
24. Scientific journal, 13 February and 18 June 1958.
25. Anderson to CNO, "Report of Operation SUNSHINE 1", 28 June 1958, Lyon Papers.
26. Anderson, *Nautilus 90 North*, pp. 166-68;
27. Anderson to CNO, "Final Report on Nautilus Transpolar Voyage", 25 August 1958, Lyon Papers.
28. *New York Times*, 9, 12, 26 and 28 August 1958.
29. Layon, "Senior Scientist's Report", 25 August 1958, Lyon Papers.
30. James F. Calvert to CNO, "Report of Patrol Number One", 22 September 1958, Lyon Papers; *New York Times*, 24 September 1958.
31. Calvert to CNO, "Report of SCATE March 1958 Arctic Patrol", 7 April 1959, Lyon Papers; Calvert, *Syrface at the Pole* (New York: McGraw-Hill, 1960).
32. Lyon oral history.
33. On the Sargo patrol, see Nicholson to CNO, "Report of January-February Arctic Cruise, USS SARGO", 3 March 1960, Lyon Papers; and Nicholson, "Sargo", in James Dugan and Richard Vahan (eds.), *Men Under Water* (Philadelphia: Chilton Books, 1965), pp. 53-67.
34. Phoenix to Leary, 6 March 1997.
35. Scientific journal, 29 January 1960.
36. Scientific journal, 6 March 1960; Lyon, "Senior Scientist's Report, SARGO Winter Pacific Arctic Patrol, 1960", 3 March 1960, Lyon Papers.
37. American Society of Naval Engineers, "Citation", April 1960, Lyon Papers.
38. Steele to CNO, "Report of August-September Arctic Cruise", 14 September 1960, Lyon Papers; Steele, *SEADRAGON: Northwest Under the Ice* (New York: Dutton, 1962); Lyon, "Senior Scientist's Report, U. S. S. SEADRAGON Arctic Cruise, August-September 1960", 17 September 1960, Lyon Papers.
39. Skoog to CNO, "Report of July-August 1962 Arctic Cruise", 28 August 1962; Summit to CNO, "SEADRAGON Report of SUBICEX 2-62", 28 August 1962; Lyon "Senior Scientist's Report, USS SKATE-USS SEADRAGON Arctic Cruise 1962", 23 August 1962; all in Lyon Papers.
40. Lyon, "Notes - Arctic Program, 1963", 30 September 1962, Lyon Papers; *New York Times*, 28 January 1963; Norman Polmar and Jurrien Noot, *Submarines of the Russian and Soviet Navies, 1718-1990* (Annapolis: Naval Institute Press, 1991), pp. 170-171.
41. ComSubPac to Jackson B. Richard, 13 June 1967, Lyon Papers.
42. Richard to CNO, "Report of February 1967 Marginal Sea Ice Zone Operations in the Davis Strait", 19 February 1967; Lyon, "Senior Scientist's Report, USS QUEENFISH", 16 February 1967; both in Lyon Papers.
43. Lyon, "Senior Scientist's Report USS WHALE", 24 April 1969, Lyon Papers.
44. Lyon, "Submarine Combat in the Ice", U. S. Naval Institute Proceedings 118 (February 1992): 34-40.

## ПОРТРЕТ ФИРМЫ

ГРНТИ 89.29

### **АППАРАТУРА СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГЛОНАСС И GPS КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**А.А. ШАНИН,  
О.А. БОРСУК,  
В.В. ДОРОЩУК,  
И.Н. МИЩЕНКО**  
(КБ НАВИС)

*Рассмотрена техническая концепция разработки аппаратуры, использующей сигналы СНС ГЛОНАСС и GPS на основе применения унифицированных базовых модулей и модулей функционального расширения для создания функционально законченного ряда такой аппаратуры. Показаны ее преимущества. Приведена номенклатура серийно выпускаемой и разрабатываемой КБ НАВИС аппаратуры СНС ГЛОНАСС и GPS и ее основные характеристики.*

**Введение.** Конструкторское бюро Навигационных систем (КБ НАВИС) на протяжении ряда лет ведет работы по созданию технологий и аппаратуры, использующей сигналы спутниковых навигационных систем (СНС) ГЛОНАСС и GPS, в т. ч. специальной и гражданской аппаратуры для навигационного, геодезического и координатно-временного обеспечения морских, наземных и авиационных потребителей, аппаратуры частотно-временной синхронизации для систем связи, технологического оборудования имитации сигналов СНС ГЛОНАСС и GPS, а также их функциональных дополнений типа WAAS, MSAS и EGNOS [1–6].

КБ НАВИС учреждено в 1996 г предприятием КБ КОРУНД-М (г. Москва) в форме закрытого акционерного общества.

Разработчики КБ НАВИС имеют многолетний опыт работ в указанной области и многие из них участвовали в создании и освоении в серийном производстве трех поколений аппаратуры потребителей (АП):

- 1984 г. – 1990 г. – АП СНС "Цикада", "Цикада-М", "Транзит", серии "Челн-1; 2; 3", заказчик МО СССР;
- 1991 г. – 1996 г. – АП СНС ГЛОНАСС и GPS серии "Челн-4", заказчик МО СССР;
- 1995 г – 2000 г. – АП СНС ГЛОНАСС и GPS серии "Бриз" и ее различных модификаций на основе базового модуля приемовычислителя серии СН-3000, заказчик МО РФ; АП СНС ГЛОНАСС и GPS на основе базовых модулей приемовычислителей серий СН-3000 и "НАВИОР-14" (СН-3704) в интересах широкого круга гражданских потребителей.

Вся номенклатура серийно выпускаемых и разрабатываемых модификаций АП СНС ГЛОНАСС и GPS и другого оборудования для использования

СНС ГЛОНАСС и GPS КБ НАВИС образуют функционально законченный ряд аппаратуры:

- морского назначения для различных судов, надводных кораблей и подводных лодок;
- авиационного назначения для самолетов и вертолетов;
- для наземных подвижных объектов (носимая и возимая);
- для геодезического обеспечения;
- для координатно-временного обеспечения и синхронизации систем связи;
- для технологического обеспечения.

С целью создания такого функционально законченного ряда аппаратуры, технологического и другого оборудования, использующего сигналы СНС ГЛОНАСС и GPS, разработаны унифицированные базовые модули и модули функционального расширения, выполненные на единой элементной базе и по единой технологии. Широкое применение принципов цифровой обработки навигационных сигналов и рациональных методов решения необходимых задач позволили максимально унифицировать программно-математическое обеспечение (ПМО) и создать библиотеку программных модулей. Работы проводятся под научным руководством к. т. н. Ю.С. Дубинко.

В КБ НАВИС с применением вышеупомянутых модулей кроме АП СНС ГЛОНАСС и GPS создана аппаратура контрольно-корректирующих станций (СН-3500) для обеспечения реализации дифференциального режима в СНС ГЛОНАСС и GPS с использованием для передачи диффсообщений радиоканала морских радиомаяков.

Для обеспечения разработки, изготовления, испытания и поставки аппаратуры с гарантированным качеством создана аппаратура имитации сигналов навигационных спутников СНС ГЛОНАСС и GPS, а также их функциональных дополнений типа WAAS, MSAS и EGNOS.

В настоящее время ведутся работы по созданию нового поколения унифицированных базовых модулей и модулей функционального расширения с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками для разработки четвертого поколения АП СНС ГЛОНАСС и GPS [2]. Внедрение их позволит значительно увеличить ряд модификаций АП СНС ГЛОНАСС и GPS, в т. ч. специализированной аппаратуры и многофункциональных датчиков, а также другого оборудования. При этом расширяются функциональные возможности и решаемые задачи аппаратуры СНС, а также возможности ее применения.

Большинство из разработанных базовых модулей и модулей функционального расширения и созданных на их базе датчиков является законченным товарным продуктом и может поставляться различным заказчикам для построения своих интегрированных навигационных комплексов или использования в различных системах с учетом специфичных технических и эксплуатационных требований.

Основными научно-техническими достижениями КБ НАВИС являются:

- создание оригинальных структурных схем радиоприемного тракта и аппаратуры СНС ГЛОНАСС и GPS в целом, а также рациональных алгоритмов обработки радиосигналов и решения необходимых задач; проектирова-



ние специализированных аналоговых и цифровых БИС приемного тракта АП СНС ГЛОНАСС и GPS;

- разработка унифицированных технических и конструктивных решений, позволяющих создать унифицированные базовые модули и модули функционального расширения и на их базе создавать необходимые модификации АП СНС ГЛОНАСС и GPS для различных потребителей;

- создание оборудования имитации сигналов навигационных спутников СНС ГЛОНАСС и GPS, а также их функциональных дополнений типа WAAS, MSAS и EGNOS с различным модульным ПМО для обеспечения решения задач проверки и испытания АП СНС ГЛОНАСС и GPS, а также оборудования, использующего сигналы СНС ГЛОНАСС и GPS;

- ориентация разработок на возможности отечественных технологий.

Все это обеспечивает информационную и технологическую независимость разработок и возможность ее воспроизводства на любом отечественном предприятии радиоприборного профиля без значительных затрат на подготовку производства.

**Аппаратура потребителей СНС ГЛОНАСС и GPS.** Специалистами КБ НАВИС накоплен значительный практический опыт в области разработки и серийного производства АП СНС ГЛОНАСС и GPS специального и гражданского назначения, применяемого в различных условиях эксплуатации. Создано и налажено серийное производство более двадцати моделей АП СНС различного назначения. Среди заказчиков потребителей этой аппаратуры государственные и другие учреждения, организации и предприятия, в том числе и зарубежные. Аппаратура эксплуатируется как автономно, так и в составе различных систем и комплексов для целей навигационно-временного и геодезического обеспечения, синхронизации аппаратуры систем связи, диспетчеризации на транспорте, а также при проведении специальных работ.

КБ НАВИС в процессе выполнения работ по разработке, производству и испытаниям АП СНС ГЛОНАСС и GPS использует техническую концепцию [1], позволяющую успешно решать поставленные задачи, содержанием ее является:

- создание специализированной элементной базы, определяющей уровень основных технических и эксплуатационных характеристик аппаратуры;
- создание базовых технических решений в области:
  - структуры радиоприемного тракта и аппаратуры в целом,
  - алгоритмов обработки радиосигналов, измерения радионавигационных параметров, приема навигационных сообщений и решения необходимых задач,
  - базового программно-математического обеспечения,
  - информационных и конструктивных интерфейсов;
- создание унифицированного ряда базовых навигационных модулей;
- создание модулей функционального расширения;
- создание модификаций АП СНС для различных потребителей специального, гражданского и двойного назначения.

В настоящей технической концепции основополагающим принципом является принцип "базовости" технических решений. Он предполагает модуль-

ность построения схем, конструкций и программного обеспечения АП СНС, а также унификацию создаваемых модулей и, в сочетании с используемыми при ее реализации доступными технологиями, обеспечивает:

- возможность создания в короткие сроки модификаций АП СНС для различных потребителей;
- существенное снижение затрат на разработку АП СНС и подготовку ее серийного производства;
- возможность, с появлением новых технологий, быстрого создания АП СНС с улучшенными техническими характеристиками;
- относительно низкие цены на серийно выпускаемую аппаратуру военного, гражданского и двойного назначения.

Основным и наиболее сложным узлом АП СНС является модуль приемовычислителя, объединяющий функции приемника сигналов СНС и навигационного процессора. В соответствии с принятой идеологией разрабатываются взаимозаменяемые базовые модули приемовычислителей, отличающихся количеством каналов приема и возможностями навигационного процессора.

Базовые модули серии СН-3000 имеют стандартный набор функций, включающий:

- 14 канальный прием и обработку сигналов СНС ГЛОНАСС и GPS в любой комбинации;
- измерение их радионавигационных параметров;
- выделение навигационных сообщений;
- решение по полученным данным навигационной задачи определения координат, скорости и времени (в том числе в дифференциальном режиме) при использовании адаптивного робастного алгоритма оценки навигационных параметров;
- обмен с внешними потребителями через два порта RS232E по протоколам NMEA0183, BINR, RTCM104.

Адаптивный робастный алгоритм оценки навигационных параметров практически не допускает некачественных измерений в обработку (независимо от причин, вызвавших эти аномалии) [3]. Этот алгоритм практически мгновенно (в темпе обновления информации) реагирует на эти аномалии (в отличие от стандартных алгоритмов RAIM).

Базовый модуль для частотно-временной синхронизации по навигационным сигналам, кроме перечисленных выше функций, обеспечивает управление устройствами сдвига метки времени местной шкалы и установки частоты сигнала местного опорного генератора для обеспечения их синхронизации относительно метки времени и частоты опорного генератора UTC, а также измерение температуры опорного генератора, контроль управляющего напряжения опорного генератора и другие функции.

Базовые модули серии СН-3000 представляют собой трехплатную конструкцию. Платы имеют размер 110×115мм. На базе модуля СН-3000 созданы многофункциональные навигационные датчики СН-3702 (безкорпусной) и СН-3700 (в корпусе). В модуле СН-3000 используется высокочастотный тракт приема сигнала с преобразованием частоты, полностью аппаратное цифровое радиоприемное устройство, выполненное на базе полузаказных микросхем ASIC

собственной разработки и вычислитель, выполненный на базе микропроцессоров фирмы Intel. Полузаказная микросхема ASIC представляет собой семиканальную секцию цифрового приемника, которая используется для обработки сигналов СНС ГЛОНАСС и GPS в любой комбинации. Ее применение позволяет строить приемники с числом параллельных каналов кратных 7, т. е. 7...28.

Такой модуль производит измерения радионавигационных параметров как по огибающей сигнала, так и по фазе несущей частоты сигнала (соответственно псевдодалности с точностью 0.2 м и фазы несущей с точностью 4мм), а также формирование и оцифровку секундной метки. Создание необходимого набора базовых и дополнительных модулей, требуемого ПМО создает условия для разработки в короткие сроки АП СНС различного назначения с требуемыми функциями и решаемыми задачами.

По заказу МО РФ в рамках ОКР "Бриз" с использованием базового модуля СН-3000 разработаны корабельная аппаратура "Бриз-К" (СН-3101) и аппаратура для наземных потребителей "Бриз-Н" (СН-3001), которые прошли государственные испытания, производятся серийно предприятием КБ "Корунд-М" и приняты в 1999г. на снабжение вооруженных сил МО РФ, а также многофункциональный навигационный датчик (СН-3700) и его модификации, предназначенные для использования в составе интегрированных навигационных систем. В статье [4] приводятся краткое описание работы аппаратуры "Бриз-К" (СН-3101) и ее основные характеристики.

С использованием базового модуля СН-3000 и модулей функционального расширения созданы опытные образцы аппаратуры для геодезического обеспечения потребителей "Бриз-ГП" (СН-3601), для координатно-временного обеспечения потребителей Бриз-МВ (СН-3820) и для навигационного обеспечения подводных лодок Бриз-ПЛ (СН-3103). Данная аппаратура успешно прошла предварительные испытания и подготовлена к проведению государственных испытаний.

Для установки на пассажирских и транспортных магистральных самолетах с использованием базового модуля СН-3000 разработана АП СНС СН-3301, которая в 2000 г. одобрена Авиарегистром МАК для использования на самолетах АН-140 типовой конструкции. Проводятся работы по ее одобрению для использования на других типах самолетов. В этой АП СНС с учетом специфики ее применения непрерывно вырабатывается величина отклонения самолета от маршрута, которая передается в автопилот для удержания самолета на заданном курсе. Предусмотрено устройство для считывания в память АП СНС полетного задания и возможность записи в нее базы данных необходимой для обеспечения полетов и захода на посадку.

Одновременно в рамках отдельных ОКР КБ НАВИС ведет разработки специализированной элементной базы, которая позволит создавать конкурентную, высокотехнологичную АП СНС на основе только отечественных технологий. Разработаны и изготавливаются основные компоненты радиоприемного тракта навигационного приемника СНС ГЛОНАСС и GPS, позволяющие создавать функционально полный набор унифицированных модулей для проектирования из них ряда АП СНС с новыми техническими и функциональными возможностями различного назначения. В их числе:

- трехплатный базовый модуль приемовычислителя (СН-3000)); обеспечивающий прием в частотном диапазоне L1 стандартных сигналов (ПТ коды) СНС ГЛОНАСС и стандартных сигналов (С/А коды) СНС GPS, обработку их и решение навигационных задач;
- одноплатный базовый модуль приемовычислителя (СН -3706), обеспечивающий прием в частотного диапазона L1 стандартных и высокоточных сигналов (ВТ и ПТ коды) СНС ГЛОНАСС и стандартных сигналов (С/А коды) СНС GPS, обработку их и решение навигационных задач;
- одноплатный базовый модуль приемовычислителя БМ-99, входящий в многофункциональный трехплатный навигационный датчик СН-99, обеспечивающий прием в частотном диапазоне L1 стандартных и высокоточных сигналов (ВТ и ПТ коды) СНС ГЛОНАСС и стандартных сигналов (С/А коды) СНС GPS, обработку их и решение навигационных задач, он предназначен для установки на высокодинамичных объектах при жестких условиях эксплуатации.

Кроме того, КБ НАВИС для построения АП СНС гражданского применения на элементной базе общего назначения разработан одноплатный базовый модуль навигационного приемовычислителя СНС ГЛОНАСС и GPS "НАВИОР-14" (СН-3704), обеспечивающий прием в частотном диапазоне L1 стандартных сигналов (ПТ коды) СНС ГЛОНАСС и стандартных сигналов (С/А коды) СНС GPS, обработку их и решение навигационных задач.

В дополнение к базовым модулям приемовычислителей разрабатываются совместимые с ними модули унифицированного ряда для расширения функций радиоприемника (РПУ) и расширения функций АП СНС, а также создания их модификаций в том числе:

- одноплатный модуль приема сигналов СНС ГЛОНАСС частотного диапазона L2 (СН-3706 L2), который является функциональным дополнением к базовому модулю СН-3706 и позволяет создавать двухчастотные приемники сигналов СНС ГЛОНАСС;
- модуль приемника дифференциальных сообщений в диапазоне рабочих частот 283,5...325 КГц;
- модули контроллера дисплея и клавиатуры;
- модуль накопителя информации;
- модули различных интерфейсов (ГОСТ 24.15-83, MIL 1553, шины VME, ISA);
- модуль радиомодема;
- модули вторичных источников питания.

Для обеспечения потребностей различных потребителей разработан и выпускается ряд приемных антенн сигналов СНС ГЛОНАСС и GPS, в том числе для различных типов носителей АП СНС три типа унифицированных активных антенн с комплектами монтажных элементов:

- авиационная - в полном соответствии с требованиями ARINC 743;
- морская - в соответствии с требованиями МЭК 61108-3;
- возимая - миниатюрная, с магнитным креплением.

Для удлинения фидерной линии до 100 м может устанавливаться промежуточный малошумящий усилитель.

На основе базовых модулей и модулей функционального расширения создан ряд аппаратуры потребителей специального и гражданского назначе-

ния, технологическое и другое оборудование. Номенклатура аппаратуры СНС ГЛОНАСС и GPS КБ НАВИС приведена в таблице. С основными характеристиками ее можно познакомиться на Web-сайте КБ НАВИС [www.navis.ru](http://www.navis.ru).

**Аппаратура СНС ГЛОНАСС и GPS КБ НАВИС**

№ п/п	Условное обозначение. Наименование	Краткая характеристика аппаратуры
<b>Наземная</b>		
1	СН-3001 БРИЗ-Н	АП СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR. 14 параллельных каналов приема в режиме "All-in-view", L1 диапазон, ПТ - код, С/А - код. Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 180/90с. Темп обновления навигационной информации – 1 Гц. Потребляемая мощность - не более 7 Вт, габаритные размеры 198×165×50 мм
2	СН-3002	АП СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR. 14 параллельных каналов приема (7 ГЛОНАСС+7GPS), L1 диапазон, ПТ - код, С/А - код. Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 180/90с. Темп обновления навигационной информации – 1 Гц. Потребляемая мощность - не более 5 Вт, габаритные размеры 181×176×65 мм.
3	СН-3022	АП СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR для выработки корректирующей информации. Обеспечивает выработку и выдачу дифференциальных сообщений в соответствии с RTCM SC 104.14 параллельных каналов приема в режиме "All-in-view", L1 диапазон, ПТ - код, С/А - код. Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 180/90с. Темп обновления навигационной информации – 1 Гц, Потребляемая мощность- не более 7 Вт, габаритные размеры 195×176×65 мм.
<b>Морская</b>		
4	СН-3101 БРИЗ-К Свидетельство об одобрении типа судовой аппаратуры Минтранса РФ №4/3-1005-99С	АП СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR. 14 параллельных каналов приема в режиме "All-in-view", L1 диапазон, ПТ - код, С/А - код. Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 180/90с. Темп обновления навигационной информации – 1 Гц, Потребляемая мощность - не более 9 Вт, габаритные размеры 217×178×104 мм.
5	СН-3103 БРИЗ-ПЛ	АП СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR. 21 параллельный канал приема в режиме "All-in-view", L1, L2 - диапазоны, ПТ - код, ВТ - код, С/А - код, Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 5/1.5 мин. Темп обновления навигационной информации – 1 Гц. Потребляемая мощность – не более 20 Вт, габаритные размеры 217×178×130 мм.
6	СН-3104 БРИЗ-ПЛ	АП СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR 14 параллельных каналов приема в режиме "All-in-view", L1-диапазон, ПТ-код, С/А-код, Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 180/90с. Темп обновления навигационной информации – 1 Гц, Потребляемая мощность- не более 10 Вт, габаритные размеры 217×178×104 мм.
<b>Авиационная</b>		
7	СН-3301 Одобрительное письмо АВИАРЕГИСТРА МАК для использования на самолетах Ан-140 №649-613 от 26.05.2000г.	АП СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR для установки на пассажирских и транспортных магистральных самолетах, самолетах местных авиалиний и вертолетах. 14 параллельных каналов приема в режиме "All-in-view", диапазон L1, ПТ - код, С/А - код. Темп обновления навигационной информации – 1 раз в 2 секунды. Выдача информации по цифровому интерфейсу в соответствии с ARINC 429, метки времени - ARINC 734А. Потребляемая мощность - 15Вт, габаритные размеры 384×159×51 мм.

№ п/п	Условное обозначение. Наименование	Краткая характеристика аппаратуры
<b>Аппаратура морской дифференциальной подсистемы</b>		
8	СН-3501	Аппаратура опорной станции с MSK-модулятором для определения дифференциальных поправок для всех спутников, находящихся в зоне радиовидимости и преобразования их в стандартные сообщения (RTCM SC-104) для передачи с помощью радиомаяка. 28 каналов приема сигналов ГЛОНАСС/GPS. Потребляемая мощность - не более 30 Вт, габаритные размеры 482×462×130 мм.
9	СН-3502	Аппаратура станции интегрального контроля с MSK-демодулятором для непрерывного контроля рабочих параметров опорной станции, а также контроля целостности ГНСС ГЛОНАСС и GPS. 28 каналов приема сигналов ГЛОНАСС/GPS. Потребляемая мощность - не более 30 Вт, габаритные размеры 482×462×130 мм.
10	СН-3920	Приемник дифференциальных сообщений, передаваемых опорной станцией по радиомаячному каналу. Диапазон рабочих частот 283.5 – 325 кГц. Время синхронизации при горячем/холодном старте не более –2/60с. Скорость обмена 1200, 2400, 4800 и 9600 бод. Потребляемая мощность - не более 1.15 Вт, габаритные размеры 160×110×36 мм.
<b>Геодезическая</b>		
11	СН-3601 БРИЗ-ГП	АП СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR для высокоточного определения навигационных параметров при геодезической съемке. 14 параллельных каналов приема в режиме "All-in-view", L1-диапазон, ПТ - код, С/А - код. Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 180/90с. Темп обновления навигационной информации – 1 Гц, Потребляемая мощность - не более 8 Вт, габаритные размеры 176×80×180 мм. Пакет прикладных программ для постобработки.
<b>Универсальные датчики</b>		
12	СН-3700 Свидетельство об одобрении типа судовой аппаратуры Минтранса РФ №4/3-1117-2000С	GNSS универсальный навигационный датчик. 14 параллельных каналов приема в режиме "All-in-view", L1 - диапазоны, ПТ - код, С/А - код, Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 180/90с. Темп обновления навигационной информации – 1 Гц, Потребляемая мощность - не более 7 Вт, габаритные размеры 137×176×59 мм.
13	СН-3701	Малогобаритный GNSS универсальный навигационный датчик. 14 параллельных каналов приема в режиме ГЛОНАСС+7GPS, L1-диапазон, ПТ-код, С/А-код, Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 180/90с. Темп обновления навигационной информации – 1 Гц, Потребляемая мощность - не более 3.7 Вт, габаритные размеры 137×176×25 мм.
14	СН-3702	GNSS универсальный навигационный датчик 14 параллельных каналов приема в режиме "All-in-view", L1 - диапазон, ПТ - код, С/А - код, Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 180/90с. Темп обновления навигационной информации - 1 Гц, Потребляемая мощность - не более 7 Вт, габаритные размеры 115×133×40 мм.
15	СН-3704 Свидетельство об одобрении типа судовой аппаратуры Минтранса РФ №4/3-1178-2000С	GNSS универсальный одноплатный навигационный датчик. 14 параллельных каналов приема в режиме ГЛОНАСС+7GPS, L1 - диапазон, ПТ - код, С/А - код, Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 180/90с. Темп обновления навигационной информации – 1 Гц, Потребляемая мощность - не более 3.7 Вт, габаритные размеры 110×115×17 мм.
16	СН-99	GNSS универсальный навигационный датчик для высоко динамичных объектов и жестких условий эксплуатации, 14 параллельных каналов приема в режиме "All-in-view", диапазон L1, ПТ - код, ВТ - код, С/А - код, Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 180/90с. Темп обновления навигационной информации - 1(10) Гц. Потребляемая мощность - 10Вт, габаритные размеры 176×137×59 мм.

№ п/п	Условное обозначение. Наименование	Краткая характеристика аппаратуры
<b>Имитации сигналов</b>		
17	СН-3802	Блок имитации сигналов спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС, GPS и их функциональных дополнений для имитации радиочастотных сигналов диапазона L1 и L2(ГЛОНАСС) до 4-х космических аппаратов... Потребляемая мощность - 6Вт, габаритные размеры 230×115×19 мм.
18	СН-3803 Сертификат об утверждении типа средств измерений военного назначения RU. С. 33.018. В №8743	Аппаратура имитации сигналов спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС, GPS и их функциональных дополнений. для имитации радиочастотных сигналов диапазона L1 и L2(ГЛОНАСС) до 24-х космических аппаратов. Потребляемая мощность - 100Вт, габаритные размеры 420×190×500 мм. (Базовый блок СН-3802).
<b>Аппаратура частотно-временной синхронизации</b>		
19	СН-3820 БРИЗ-МВ	АП СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR для оснащения наземных и корабельных приемных пунктов. 14 параллельных каналов приема в режиме "All-in-view", L1 - диапазон, ПТ - код, С/А - код, Формирует сигнал текущего времени(секундная метка 1PPS и код времени) со среднеквадратичной погрешностью 100нс. Время начального определения при "холодном"/"горячем" старте – не более 5/1.5мин. Темп обновления навигационной информации – 1 Гц, Потребляемая мощность - не более 10 Вт, габаритные размеры 217×178×102 мм.
20	СН-3831 НАВИОР-МВ	Устройство частотно-временной синхронизации с использованием сигналов ГЛОНАСС и GPS для оборудования средств связи стандарта CDMA. 14 параллельных каналов приема в режиме 7 ГЛОНАСС+7GPS, L1 - диапазон, ПТ - код, С/А - код, Формирует сигнал текущего времени(секундная метка 1 PPS - 2 выхода и код времени) со среднеквадратичной погрешностью 100нс и высокостабильный синусоидальный сигнал 10 Мгц (16 выходов) с относительной нестабильностью $1 \times 10^{-11}$ в среднем за сутки. Потребляемая мощность- не более 40 Вт, габаритные размеры 626×87×372 мм.
21	СН-3833 (НАВИОР-Т) Сертификат со-ответствия ГОССТАНДАРТА РФ №0000369	Устройство частотно-временной синхронизации по сигналам СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR. 14 параллельных каналов приема в режиме 7 ГЛОНАСС+7GPS, L1 - диапазон, ПТ - код, С/А - код, Формирует сигнал текущего времени(секундная метка 1 PPS и код времени) со среднеквадратичной погрешностью 100 нс и высокостабильный синусоидальный сигнал 10 Мгц с относительной нестабильностью $1 \times 10^{-11}$ в среднем за сутки. Потребляемая мощность- не более 7.5 Вт, габаритные размеры 320×115×140 мм.
22	СН-3834 (НАВИОР-S) Сертификат со-ответствия ГОССТАНДАРТА РФ №0000362	Устройство временной синхронизации по сигналам СНС ГЛОНАСС и GPS NAVSTAR. 14 параллельных каналов приема в режиме 7 ГЛОНАСС+7GPS, L1 - диапазон, ПТ - код, С/А - код, Формирует сигнал текущего времени(секундная метка 1 PPS и код времени) со среднеквадратичной погрешностью 100 нс. Потребляемая мощность - не более 4.5 Вт, габаритные размеры 110×115×17 мм.
23	СН-3836	Устройство частотно-временной синхронизации по сигналам СНС ГЛОНАСС и GPS для средств связи стандарта DECT. 14 параллельных каналов приема в режиме 7 ГЛОНАСС+7GPS, L1- диапазон, ПТ - код, С/А- код, Формирует сигнал текущего времени(секундная метка 1 PPS и код времени) со среднеквадратичной погрешностью 500нс и высокостабильный синусоидальный сигнал 2.048 Мгц с относительной нестабильностью $1 \times 10^{-11}$ в среднем за сутки. Потребляемая мощность - не более 12 Вт, габаритные размеры 482.6×304.8×88.1 мм (Разработано на базе СН-3834)
24	СН-3837	Автономное устройство частотно-временной синхронизации по сигналам СНС ГЛОНАСС и GPS для оборудования средств связи стандарта CDMA. 14 параллельных каналов приема в режиме 7 ГЛОНАСС+7GPS, L1- диапазон, ПТ - код, С/А- код, Формирует сигнал текущего времени(секундная метка 1PPS и код времени) со среднеквадратичной погрешностью 100нс. Потребляемая мощность- не более 5 Вт, габаритные размеры 252,0×225,0×75,5 мм. (Разработано на базе СН-3834)

Основные реализованные в 1999 – 2000 годах КБ НАВИС проекты:

- создание унифицированного ряда аппаратуры для специальных применений серии "Бриз" и освоение ее серийного производства;
- создание ряда модификаций аппаратуры для частотно-временной синхронизации систем связи, в том числе для аппаратуры стандарта CDMA (по заказам фирм LG IC (Корея) и Lucent Technologies(США)), которая прошла сертификацию и эксплуатируется в составе системы в гг. Костроме, Уфе, Тюмени и Москве.
- создание оборудования частотно-временной синхронизации для средств связи стандарта DECT по заказу фирмы СОТКОМ;
- разработка, изготовление и поставка морской администрации порта Новороссийск аппаратуры ККС дифференциальной подсистемы СНС ГЛОНАСС и GPS, которая принята в январе 2001 г. в опытную эксплуатацию;
- создание имитатора сигналов СНС "ГЛОНАСС" и GPS, а также их функциональных дополнений и методик испытаний АП СНС для проверки оборудования (совместный проект с НПФ "Гейзер" г. Москва).

Опыт эксплуатации подтвердил высокие технические и эксплуатационные характеристики аппаратуры, а также правильность выбранной концепции "базовости" технических решений при создании аппаратуры различного назначения.

Показательным в этом отношении является опыт разработки ряда АП СНС ГЛОНАСС и GPS для синхронизации систем связи. За сравнительно короткий срок создан базовый модуль – датчик точного времени СН3834 "НАВИОР-S" и на его основе ряд аппаратуры для синхронизации систем связи. При этом использованы базовые решения других проектов. Для НАВИОР-S полностью заимствована схема и конструкция серийно выпускаемого датчика координат НАВИОР-14, большинство модулей из его библиотеки программного обеспечения. Благодаря этому сведен к минимуму объем работ и существенно сокращены сроки разработки и затраты.

Вся АП СНС КБ НАВИС проходит тщательную отработку и испытания на соответствие государственным и международным стандартам, большинство приборов сертифицированы соответствующими государственными органами.

В основу ряда АП СНС ГЛОНАСС и GPS, КБ НАВИС, заложены унифицированные технические решения сориентированные на технологические возможности конкретного производства (КБ Корунд-М), что позволяет существенно сократить временные и материальные затраты на создание различных типов аппаратуры, подготовки их производства и обеспечивает возможность в кратчайшие сроки организовать серийные поставки аппаратуры по заказам потребителей.

**Аппаратура контрольно-корректирующей станции морской дифференциальной подсистемы СНС ГЛОНАСС и GPS.** Контрольно-корректирующая станция (ККС) морской дифференциальной подсистемы (МДП) ГНСС ГЛОНАСС и GPS предназначена для выработки дифференциальных поправок для всех радиовидимых спутников СНС ГЛОНАСС и GPS, контроля их работы и работы МДП, формирования диффсообщений в соответствии со стандартом RTCM 104 версия 2.2 и передачи их по радиомаяч-



ному каналу потребителям. В составе диффсообщений кроме диффпоправок передается информация о работоспособности видимых спутников, целостности МДП и другие данные.

МДП обеспечивает возможность определения координат судов с точностью 1–5 м на удалении от радиомаяка не менее 300 км над морской поверхностью при работе АП СНС в дифференциальном режиме.

В КБ НАВИС разработана аппаратура ККС (СН-3500), в основной комплект которой входят аппаратура опорной станции СН-3501, станции интегрального контроля СН-3502, контрольной станции и, если требуется, удаленной контрольно-управляющей станции и удаленного пункта контроля [5]. В СН-3501 и СН-3502 используется 28 канальная аппаратура приема и обработки сигналов СНС ГЛОНАСС и GPS, выполненная на основе двух базовых модулей СН-3000 и программное обеспечение соответствующее их назначению. В соответствии с рекомендациями RTCM 104 формируются для передачи по радиомаячному каналу диффсообщения 1, 3, 5, 6, 7, 9, 16, 31, 32, 33, 34, 35, 36. Опорная станция СН-3501 передает диффсообщения через встроенный MSK модулятор на радиомаяк или по интерфейсу RS 232 в другие системы. В станции интегрального контроля СН-3502 для демодуляции принимаемых диффсообщений используется встроенный MSK демодулятора.

Контрольная станция построена на IBM совместимом компьютере индустриального исполнения с программным обеспечением NAVIOR® RSIM и предназначена для оперативного контроля состояния и управления функционированием ККС с заданными характеристиками.

В ККС обмен данными между опорной станцией, станцией интегрального контроля и контрольной станцией и, если имеются, удаленной контрольно-управляющей станцией и удаленным пунктом контроля, производится в соответствии с форматом RSIM v 1.1 (с учетом использования не только СНС GPS, но и СНС ГЛОНАСС).

КБ НАВИС поставило аппаратуру ККС СНС ГЛОНАСС и GPS Морской администрации порта г. Новороссийск для создания МДП, которая введена в опытную эксплуатацию в январе 2001 г.

**Аппаратура имитации сигналов СНС ГЛОНАСС и GPS, а также их функциональных дополнений типа WAAS, MSAS и EGNOS.** КБ НАВИС изготавливает АП СНС различной сложности и назначения, ориентируясь на профессиональные сферы применения. Большое значение при этом имеет наличие специального технологического оборудования для отработки и испытаний АП СНС. С этой целью в КБ НАВИС разработана и изготавливается аппаратура имитации сигналов СНС ГЛОНАСС и GPS, а также их функциональных дополнений типа WAAS, MSAS и EGNOS (СН-3803) [6].

Она предназначена:

- для контроля параметров и анализа качества функционирования АП СНС на этапах разработки, производства и сертификации;
- для самоконтроля систем с использованием АП СНС;
- для специальных применений (использование в качестве псевдоспутников, постановщиков помех и др.).

Аппаратура имитации обеспечивает проверку функциональных возможностей и технических характеристик при проведении испытаний АП СНС различного назначения.

Имитатор сигналов СНС СН3803 обеспечивает имитацию стандартных и высокоточных (ВТ и ПТ кодов) сигналов СНС ГЛОНАСС в диапазоне L1 и L2, и гражданского сигнала GPS на частоте L1. Основой имитатора является базовый модуль СН3802 и специальное программное обеспечение, обеспечивающее создание различных сценариев изменения сигналов СНС в соответствии с потребностями практики. При этом обеспечивается имитация различных режимов движения АП СНС, штатных и нештатных ситуаций в СНС, что позволяет наиболее полно и достоверно испытать возможности АП СНС в лабораторных условиях.

Имитатор СН3803 прошел большой объем испытаний, сертифицирован как средство измерений и включен в состав оборудования для сертификации АП СНС.

**Выводы.** В КБ НАВИС при создании функционально законченного ряда аппаратуры, технологического и другого оборудования, использующего сигналы СНС ГЛОНАСС и GPS, применяется техническая концепция, основополагающим принципом которой является "базовость" технических решений. Этот принцип предполагает модульность построения схем, конструкций и программного обеспечения АП СНС, а также унификацию создаваемых модулей в сочетании с используемыми при ее реализации доступными технологиями, что позволяет существенно сократить временные и материальные затраты на создание различных типов аппаратуры, подготовку их производства и обеспечивает возможность в кратчайшие сроки организовать серийные поставки аппаратуры по заказам потребителей.

Вся АП СНС КБ НАВИС проходит тщательную отработку и испытания на соответствие государственным и международным стандартам. АП СНС ГЛОНАСС и GPS "Бриз-К" (СН-3101) и "Бриз-Н" (СН-3001) прошла государственные испытания. Она производится серийно предприятием КБ "Корунд-М" и принята в 1999г. на снабжение вооруженных сил МО РФ. Опытные образцы АП СНС ГЛОНАСС и GPS "Бриз-ГП" (СН-3601), Бриз-МВ (СН-3820) и Бриз-ПЛ (СН-3103) успешно прошли предварительные испытания и подготовлены к проведению государственных испытаний.

Большинство приборов гражданского назначения сертифицированы соответствующими государственными органами.

Важным результатом работы КБ НАВИС является подтверждение на практике высоких технико-эксплуатационных характеристик отечественной аппаратуры СНС ГЛОНАСС и GPS.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лукьяненко Н. В., Батищев С. Н., Кириченко А. И., Борсук О. А. Опыт КБ НАВИС в области ГЛОНАСС/GPS технологий.//4-я Международная Конференция СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ – 2000. Доклады том 2, с. 33–36.
2. Дубинко Ю. С. Некоторые направления развития аппаратуры потребителей в фирме КБ НАВИС.//III Международная конференция "Планирование глобальной радионавигации"
3. Дубинко Т. Ю. Робастное оценивание в задачах обработки навигационной информации.//Навигация и гидрография, 9, 1999 г.
4. Дубинко Ю. С., Мищенко И. Н. Судовая навигационная приемная аппаратура СНС ГЛОНАСС и GPS СН-3101//Новости навигации, 3, 1999 г. С. 23–34.

5. Ратьков И. В. Опыт создания морской дифференциальной подсистемы ГНСС ГЛОНАСС/НАВСТАР.//Материалы 2-й Международной научно-практической конференции "Перспективы развития систем связи и навигации на морском и речном Транспорте". Москва, 2001 г.
6. Борсук О. А., Ермолаев А. В., Михайленко А. Л. Аппаратура имитации сигналов СНС ГЛОНАСС/GPS/WAAS КБ НАВИС.//III Международная конференция "Планирование глобальной радионавигации".





---

# ABSTRACTS

---

**S.P. Alekseyev, I.S. Gramberg, A.A. Komaritsyn, G.D. Naryshkin.** Arctic shelf of Russia - new forms of presentation of the bottom relief. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 9.

Based on the analysis of the national hydrographic, geological and geophysical explorations, the chart "Bottom Relief of the Arctic Ocean" at the scale of 1:5 000 000 with vertical interval of 200 m and "Orographic Chart of the Arctic Basin" at the same scale, have been compiled. Both charts have no analogues both in the national and foreign cartography as far as the actual materials substantiation is concerned, and are the most complete (at the scale of 1:5 000 000) representation of the bottom surface of the Arctic Ocean. The charts are the reliable base for different kinds of research as well as for solving many applied problems, including the national ones, the most important of them being the determination of the outer limits for Russia's continental shelf in the Arctic. Combined with geological and geophysical research, these charts allow the area of Russia's continental shelf in the Arctic to be increased by 1 200 000 km<sup>2</sup>. Taking into account the fact that the prospects of Russia's Arctic shelf are very great from the point of view of oil and gas content, the addition of large bottom areas will increase the oil and gas potential of Russia's shelf in the Arctic by 9.6 milliard tons of standard fuel.

**S.P. Alekseyev, P.G. Brodsky, A.N. Dobrotvorsky.** Scientific and Technical Potential of Naval Navigation, Hydrography and Oceanography Serving the National Economy. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 14.

The scientific and technical potential of Russia's naval navigation, hydrography and oceanography is characterised. The stages of its development are considered, using the GNINGI conversion activities as an example. Scientific and applied results obtained by the beginning of the XXI century are presented.

**V.I. Peresyarkin, A.N. Yakovlev.** The Northern Sea Route as International Transport Line - its State and Prospects of Development. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 29.

The problems of organization of international merchant shipping along the Northern Sea Route and prospects of creating the Eurasian corridor on it are outlined.

**A.B. Oparin.** State and Prospects of Development for Oceanographic Data Bank of MOd RF in 2001-2010. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 38.

The problems of formation and development of the Navy oceanographic and geophysical data bank, based on the source materials stored in the funds of the RF HO, are considered.

**V.A. Avdonyushkin, A.M. Chernenko.** Problems of Reconstructing the Shipping Routes System in the Eastern Part of the Gulf of Finland. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 44.

The problems of navigation safety provision in the eastern part of the Gulf of Finland, resulting from the planned intensification of traffic in this part of the Baltic, are considered. The shipping routes systems in the area under consideration are proposed.

**Y.I. Nikitenko, Y.M. Ustinov.** Problems of Training the Highly Skilled Specialists in Radionavigation Systems. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 56.

The existing shortcomings and arising possibilities in training the researchers for radionavigation systems and devices in the framework of 05.12.04 speciality are discussed. The main sections and topics of the RNS study minimum program are outlined.

**A.I. Sorokin.** On Sea and Lake Chart Projections in Computerization Era. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 63.

The problems of re-evaluating the requirements to the choice of sea and lake chart projections under the influence of computerization involving both the chart compilation process and methods of cartographic materials employment are considered.

**B.E. Ivanov.** On Peculiarities of Solving the Navigational Problems when Using the Laplacean Distribution. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 68.

The peculiarities of solving the navigational problems in the case when the errors of navigational parameters generation follow the Laplacean distribution are considered. The relationships for statistical characteristics of the total error of navigational parameters generation, whose particular error components follow the Laplacean distribution, have been obtained and analysed.

**V.G. Peshehonov, V.M. Zinenko, V.F. Savik, V.E. Yanushkevich.** From Radiooptical Sextants to Multifunctional Periscope Systems. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 71.

The complex of studies carried out by the Central Research Institute "Elektropribor" in 1960-1998 to provide the development of the first national "Parus-98" periscope system is characterized in brief. The main data on the attack periscope and optronic mast forming a part of this system are given.

**D.L. Shchennikov.** Evaluation of Attenuation and Distortion of VLF Waves by the Sea Ice Cover. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 75.

The influence of the sea drift ice on the characteristics of electromagnetic waves coming from infinitely distant sources is considered. The attenuation coefficient of electromagnetic waves in the sea drift ice is evaluated.

**Y.S. Doubinko, T.Y. Doubinko.** Software Technique of Multipath Error Elimination for Satellite Navigation Receivers. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 79.

Errors of radionavigation parameters measurement, caused by the multipath propagation of satellite signals, restrict, mainly, the accuracy of differential mode of satellite navigation because they are independent in the users and reference station antennas. New technique of software elimination of these errors in satellite receivers is proposed. Its distinguishing features are the simplicity of

implementation and increased accuracy and reliability. Based on the materials of this technique, the "Navis" Design Bureau has made an application for the patent.

**G.V. Makarov, V.F. Kochurov, A.M. Simon.** Estimate of Position Fixing Accuracy by Azimuths and Altitudes of NAVSTAR and GLONASS SRNS Satellites. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 86.

The procedure of estimate of covariance matrix and error ellipse for point co-ordinates by the azimuths and altitudes of satellites used to fix the position of a point by NAVSTAR and GLONASS SRNS is proposed.

**A.R. Kosulnikov, V.V. Matveyev.** Accuracy Estimate of Relative Measurements Made at Different Time, Using the GLONASS SRNS to Determine the Corrections for Speed Measurers. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 87.

The possibility to implement the method of relative measurements made at different time by the GLONASS SRNS when determining the corrections for speed measurers has been considered. The mathematical techniques for a priori estimate of the measurement accuracy of the distance run by a vessel along the measured line and results of this estimate when using the method in GLONASS system are presented.

**A.G. Zykov.** Receiver of Differential Corrections of GLONASS/GPS SRNS Transmitted on Radionavigation Channel of Chaika (Loran-C) Pulse-Phase RNS. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 94.

The requirements to the receiver of differential corrections of GLONASS/GPS SRNS transmitted on radionavigation channel of "Chaika" (Loran-C) pulse-phase RNS are considered. The receiver is intended to be installed on the objects having a speed of up to 500 km/h. The tasks to be carried out by the receiver are discussed; its structure and operation algorithms are considered. The expected performance data are given.

**S.B. Boloshin, A.I. Kabirov, S.B. Pisaryev, G.A. Semyonov.** Phase VLF Radionavigation System. Capabilities and Prospects. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 99.

The main directions of employment of functional capabilities for "Alfa" phase VLF radionavigation system both in navigational aspect and when using its signals to carry out the applied and fundamental tasks in the interests of different users are considered.

**N.N. Neronov.** Specific Features of Pilotage for Large-displacement Vessels along the Fairways in the Eastern Part of the Gulf of Finland. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 107.

The navigation-hydrographic support for navigation of large-displacement vessels along the fairways of the eastern part of the Gulf of Finland, using the pilotage of the nuclear-powered icebreaker "Lenin" from Kronstadt to Primorsk in 1959 as an example, is described.

**A.N. Dobrotvorsky, S.A. Druzhevsky, V.M. Kushnir, L.A. Petrenko.** Diagnostic Model of Bottom Deformations under the Influence of Hydrometeorological Factors. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 113.

The model of bottom deformations under the influence of hydrometeorological factors is described. Using the Ust-Luga canal as an example, the methods of calculations of sedimentation dynamics, based on the numerical solution of transport equation, allowing for the probability distribution of bottom material fractions according to particle size, are presented. The comparative estimate of values obtained as a result of simulation and field exploration has been carried out.

**S.I. Mastryukov.** Some Problems of Employment of Hydrometeorological Information in Planning the Maritime Activities. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 123.

Based on the experience of information support for planning the maritime activities available at GNINGI MoD RF, some problems arising when the information about the sea water areas is used, are set forth and illustrated. Ways to solve them are proposed.

**Y.N. Zhukov.** Cyclic Time Systems to Reveal the Periodic Phenomena in the Temporal Variation of Meteorological Processes. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 132.

The difference in the definitions of time by Newton and Lobachevsky is considered. Based on the definition of time by Lobachevsky, the concept of cyclic time systems is introduced. It is shown that the use of cyclic time systems in the time series analysis of hydrometeorological elements observations enables to reveal the quasiperiodic components in the temporal variation of meteorological processes.

**K.G. Stavrov, V.K. Palamarchuk, L.G. Georgiyevskaya, V.A. Kalinin.** Geophysical Monitoring as the Basis of Controlling the Processes of Design and Operation Mode of Strategically Important and Ecologically Dangerous Objects in the Nearshore Zones of the North-Western Region. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 140.

The methodology of geophysical (seismoacoustic, magnetic, electromagnetic etc) monitoring aimed at objective analysis of seismic hazard when designing the large, ecologically dangerous objects is considered. The ways to reveal the seismocontrolling structures (waveguides) tested and approved in the course of experimental work in the south-eastern part of the Gulf of Finland are described.

**A.B. Oparin, K.G. Stavrov.** The Importance of the Oceanographic and Geophysical Data Bank for Protection of Marine Environment against Pollution due to Naval Activities. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 145.

The methodology of forming the data bases and banks, based on the monitoring of oceanographic and geophysical parameters of the marine environment with the aim of the objective analysis of the ecological safety and control for the possible marine environment pollution caused by the naval objects, is considered. The results of forming such data bases for some specific types of



pollution caused by the planned and emergency dumping of different kinds of armament and military equipment are described.

**A.A. Shanin, O.A. Borsuk, V.V. Doroshchuk, I.N. Mishchenko.**

GLONASS and GPS SNS Equipment of NAVIS Design Bureau. Navigation and Hydrography, 2001, №12, p. 173.

The technical concept of development of equipment using the GLONASS and GPS SNS signals, based on the employment of unified basic modules and functional extension modules in order to create the functionally complete series of such equipment and its advantage are considered. The nomenclature of GLONASS and GPS SNS equipment serially produced and designed by NAVIS Design Bureau and its main characteristics are presented.



# ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

---

**АВДОНИУШКИН Виктор Алексеевич**, начальник управления ГНИНГИ, капитан 1 ранга. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1975) и ВМА им. Н.Г. Кузнецова (1991). По 1989 служил в Гидрографической службе Северного флота, принимал участие в исследованиях в Белом и Баренцевом морях. Специализируется в области гидрографии и картографии, участвует в работах по проекту освоения Штокмановского месторождения и обустройства новых портов на Балтике.

**АЛЕКСЕЕВ Сергей Петрович**, начальник ГНИНГИ, заслуженный военный специалист РФ, председатель СПб регионального отделения Российского общественного института навигации, действительный член Академии транспорта РФ, контр-адмирал, д.т.н. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1972) и ВМА им. Н.Г. Кузнецова (1983). Автор более 90 печатных трудов.

**БОЛОШИН Сергей Борисович**, зам. генерального директора ЗАО "Фирма "Котлин", д.т.н., профессор. Специализация – радиолокация и радионавигация. Автор ряда печатных трудов

**БОРСУК Олег Анатольевич**, начальник отдела разработки аппаратуры ЗАО "КБ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ". Окончил Харьковский авиационный институт (1987). Специализация - конструирование и производство радиоэлектронной аппаратуры. Автор 2 печатных трудов.

**БРОДСКИЙ Павел Григорьевич**, главный научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 1 ранга, д.в.н. Окончил Каспийское ВВМУ (1974), ВМА им. Н.Г. Кузнецова (1986). Специализация – штурман. Автор около 90 печатных трудов.

**ГЕОРГИЕВСКАЯ Людмила Петровна**, старший научный сотрудник лаборатории Многоуровневого геофизического мониторинга ВНИИ "Океангеология". Окончила Ленинградский горный институт им. Г. В. Плеханова (ЛГИ, 1979). Область научных интересов – аэрогеофизические методы исследований; сейсмология. Автор 70 печатных работ, включая 1 авторское свидетельство на изобретение.

**Victor A. AVDONYUSHKIN**, chief of department of GNINGI, Captain 1-st rank. Graduated from Frunze Naval College (1975) and Naval Academy (1991). Up to 1989 he served in Hydrographic Service of the North Fleet and took part in surveys in the White and Barents Seas. Scientific direction: hydrography and cartography, participation in Stockman oil/gas field project and new Baltic ports development.

**Sergey P. ALEKSEYEV**, Chief of GNINGI, 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). Author of more than 90 publications.

**Sergey B. BOLOSHIN**, deputy general director of JSC "FIRMA "KOTLIN", DSc, professor. Speciality: radiolocation, radionavigation. Author of a number of publications.

**Oleg A. BORSUK**, chief of equipment development division, Closed JSC "Design Bureau of Navigation Systems". Graduated from Kharkov Aviation Institute (1987). Speciality: design and production of radioelectronic equipment. Author of 2 publications.

**Pavel G. BRODSKY**, chief researcher of GNINGI, Captain 1-st rank, DSc. Graduated from Caspian Naval College (1974) and Naval Academy (1986). Speciality: navigation. Author of about 90 publications.

**Ludmila P. GEORGIYEVSKAYA**, senior researcher of Multilevel geophysical monitoring laboratory, VNII "Oceangeologiya". Graduated from Leningrad Mining Institute (1979). Sphere of scientific interests: aerogeophysical methods of surveys; seismology. Author of 70 publications, including 1 certificate of authorship (invention).

**ГРАМБЕРГ Игорь Сергеевич**, директор института ВНИИ "Океангеология", доктор геолого-минералогических наук, профессор, действительный член РАН. Окончил Ленинградский горный институт (1949). Основные интересы – общая и региональная геология, геология морей и океанов, геология нефти и газа. Имеет около 400 трудов.

**ДОБРОТВОРСКИЙ Александр Николаевич**, зам. начальника ГНИНГИ, член-корреспондент Академии Инженер наук РФ, полковник, д.т.н., профессор. Окончил ВИКА им. А. Ф. Можайского (1973). Специализация – системное проектирование. Автор около 170 печатных трудов.

**ДОРОЩУК Владимир Васильевич**, руководитель группы маркетинговых исследований ЗАО "КБ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ". Окончил ВМА им. Н.Г. Кузнецова (1988). Специализация - автоматизированные системы управления.

**ДРУЖЕВСКИЙ Сергей Анатольевич**, Начальник научно-исследовательского отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 2 ранга. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1983), ВМА им. Н.Г. Кузнецова (1997). Автор более 10 печатных трудов.

**ДУБИНКО Татьяна Юрьевна** старший научный сотрудник КБ "Навис", кандидат физмат наук. Закончила ЛГУ (1991) и аспирантуру ЛГУ (1994). Область научных интересов: алгоритмы аппаратуры спутниковой навигации.

**ДУБИНКО Юрий Сергеевич**, ведущий специалист КБ "Навис", капитан 1 ранга (в отставке), к.т.н., доцент. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1958) и ВМА им. Н.Г. Кузнецова (1966). Специализация – спутниковая радионавигация. Автор более 50 печатных трудов, включая две монографии.

**ЗИНЕНКО Владимир Михайлович**, первый заместитель директора ФГУП ГНЦ РФ – "ЦНИИ "Электроприбор", к.т.н., лауреат Государственной премии РФ. Окончил Ленинградский электротехнический институт В.И. Ульянова (Ленина). Специализация морские системы астрокоррекции, обработка навигационной информации, Автор более 70 научных трудов.

**ЖУКОВ Юрий Николаевич**, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ, к.т.н. Окончил ЛГМИ (1972). Специализация – гидрометеорология. Автор 10 печатных трудов.

**Igor S. GRAMBERG**, director of VNI "Oceangeologiya", DSc, professor. Member of RAS. Graduated from Leningrad Mining Institute (1949). Principal scientific interests: general and regional geology, geology of seas and oceans, geology of oil and gas. Author of about 400 publications.

**Alexandr N. DOBROTVORSKY**, Deputy Chief of GNINGI. Colonel, DSc, professor, Corresponding Member of the Academy of Engineering Sciences RF. Graduated from Mozhaisky Military Space Academy (1973). Speciality: system design. Author of about 170 publications.

**Vladimir V. DOROSHCHUK**, leader of the marketing research group, Closed JSC "Design Bureau of Navigation Systems". Graduated from Kuznetsov Naval Academy (1988). Speciality: automated control systems.

**Sergey A. DRUZHESVSKY**, Chief of Research Division of GNINGI, Captain 2-nd rank. Graduated from Frunze Naval College (1983), Kuznetsov Naval Academy (1997). Author of more than 10 publications.

**Tatiana Y. DOUBINKO**, senior researcher of "Navis" Design Bureau, CandSc. Graduated from Leningrad State University (1991) and pursued postgraduate studies there (1991-1994). Sphere of scientific interests: algorithms of SNS equipment.

**Yuri S. DOUBINKO**, leading specialist of "Navis" Design Bureau, Captain 1-st rank (Ret.), CandSc. Graduated from Frunze Naval College (1958) and Naval Academy (1966). Speciality: satellite radionavigation. Author of more than 50 publications, including two monographs.

**Vladimir M. ZINENKO**, deputy director of Federal State Unitary Enterprise RF State Research Centre - Central Research Institute "Elektroprigor", CandSc, RF State Prize Winner. Graduated from Ulyanov (Lenin) Electrotechnical Institute. Speciality: marine astrocorrection systems, navigation information processing. Author of more than 70 publications.

**Yuri N. ZHUKOV**, leading researcher of GNINGI, CandSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute (1972). Speciality: hydrometeorology. Author of 10 publications.

**ИВАНОВ Борис Евгеньевич**, главный научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 1 ранга (в отставке), д.т.н., профессор, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники, председатель секции НТО им. акад. А.Н. Крылова. Окончил Балтийское ВВМУ (1957) и ВМА им. Н.Г. Кузнецова (1969). Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор около 200 печатных трудов.

**КАБИРОВ Андрей Ильгизарович**, директор ДГУП НИИ ННТ РИРВ. Область научных интересов: радионавигационные системы и радиопередающие устройства.

**КАЛИНИН Виктор Алексеевич**, научный сотрудник лаборатории Многоуровневого геофизического мониторинга ВНИИ "Океангеология". Закончил в 1971 году Ленинградский горный институт им. Г. В. Плеханова. Во ВНИИ "Океангеология" работает с 1971 года. Область научных интересов аэрогеофизические методы исследований; сейсмология.

**КОСУЛЬНИКОВ Александр Рудольфович**, доцент кафедры штурманской службы ВМА Н.Г. Кузнецова, к.т.н., капитан 2 ранга. Окончил ТОВМУ (1987), ВСОК (1992), ВМА Н.Г. Кузнецова (1998). Автор более 10 печатных трудов.

**КУШНИР Владимир Моисеевич**, МГИ НАНУ, д.т.н., профессор. Автор многих печатных трудов.

**НАРЫШКИН Герман Дмитриевич**, ведущий научный сотрудник института ВНИИ "Океангеология", кандидат географических наук, научный сотрудник. Окончил географический факультет Ленинградского государственного университета (1974) по специальности – геоморфология морей и океанов, геоморфология арктического бассейна. Имеет более 50 трудов.

**НЕРОНОВ Николай Николаевич**, главный научный сотрудник ГНИНГИ, президент Гидрографического общества, капитан 1 ранга (в отставке), д.т.н., профессор. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1950). Специализация – гидрография. Автор более 40 печатных трудов.

**Boris E. IVANOV**, senior researcher of GNINGI, 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.

**Andrey I. KABIROV**, director of the State Unitary Affiliate at RIRT. Sphere of scientific interests: navigation systems and radiotransmitters.

**Victor A. KALININ**, researcher of Multilevel geophysical monitoring laboratory, VNII "Oceangeologiya." Graduated from Leningrad Mining Institute (1971). Sphere of scientific interests: aerogeophysical methods of surveys; seismology.

**Alexandr R. KOSULNIKOV**, assistant professor of the navigation department at Kuznetsov Naval Academy, Captain 2-nd rank, CandSc. Graduated from Pacific Naval College (1987), Higher Officers' Classes (1992), Kuznetsov Naval Academy (1998). Author of more than 10 publications.

**Vladimir M. KUSHNIR**, Marine Hydrophysical Institute of the National Academy of Sciences, Ukraine, DSc, professor. Author of many publications.

**German D. NARYSHKIN**, leading researcher of VNII "Oceangeologiya", CandSc, researcher. Graduated from Leningrad State University (1974). Speciality: geomorphology of seas and oceans, geomorphology of the Arctic basin. Author of more than 50 publications.

**Nikolai N. NERONOV**, chief researcher of GNINGI, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, professor. President of the Hydrographic Society. Graduated from Frunze Naval College (1950). Speciality: hydrography. Author of more than 90 publications.

**МАКАРОВ Геннадий Васильевич**, начальник кафедры геодезии ГМА им. адм. С.О. Макарова, д.т.н., профессор. Окончил ЛВИМУ им. адм. С.О. Макарова (1967). Специализация – математическая обработка навигационных, гидрографических, геодезических измерений. Автор 60 печатных трудов.

**МАСТРЮКОВ Сергей Иванович**, начальник отдела ГНИНГИ, полковник, к.т.н. Окончил СПб ГМИ (1978). Специализация – океанология. Автор 10 печатных трудов.

**МАТВЕЕВ Владимир Владимирович**, Адъюнкт кафедры штурманской службы ВМА им. Н.Г. Кузнецова, к.т.н., капитан 2 ранга. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1987), ВСОК (1992), ВМА им. Н.Г. Кузнецова (1998). Автор более 10 печатных трудов.

**МИЩЕНКО Игорь Николаевич**, ведущий конструктор ЗАО "КБ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ", к.т.н. Окончил ЛВИМУ им. адм. С.О. Макарова (1952). Специализация – спутниковая радионавигация. Автор более 50 печатных трудов.

**НИКИТЕНКО Юрий Иванович**, профессор ГМА им. адм. С. О. Макарова, д.т.н. Окончил Ленинградское высшее инженерное училище (1949). Специализация – радионавигационные системы. Автор около 150 печатных трудов.

**ОПАРИН Александр Борисович**, начальник НИЦ ГНИНГИ, капитан 1 ранга, ученое звание "старший научный сотрудник", к.т.н. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1977) и ВОСК (1984). Специализация – военный инженер-гидрограф. Автор 56 печатных трудов

**ПАЛАМАРЧУК Василий Климентьевич** заведующий лабораторией Многоуровневого геофизического мониторинга ВНИИ "Океангеология". Закончил в 1968 году Ленинградский горный институт им. Г. В. Плеханова. Кандидат геолого-минералогических наук. Имеет ученое звание "старший научный сотрудник". Во ВНИИ "Океангеология" работает с 1976 года. Область научных интересов - аэрогеофизические методы исследований; сейсмология; геофизические методы при изучении слабой сейсмичности. Автор 120 печатных работ, включая 3 авторских свидетельства на изобретения и монографию.

**Gennady V. MAKAROV**, chief of geodesy department of Makarov State Maritime Academy, DSc, professor. Graduated from Makarov Leningrad Higher Engineering Marine College (1967). Speciality: mathematical processing of navigation, hydrographic, and geodetic measurements. Author of 60 publications.

**Sergei I. MASTRYUKOV**, chief of division of GNINGI, Colonel, CandSc. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute (1978). Speciality: oceanology. Author of 10 publications.

**Vladimir V. MATVEYEV**, post-graduate student of the navigation department at Kuznetsov Naval Academy, Captain 2-nd rank, CandSc. Graduated from Frunze Naval College (1987), Higher Officers', Classes (1992), Kuznetsov Naval Academy (1998). Author of more than 10 publications.

**Igor N. MISHCHENKO**, leading designer of Closed JSC "Design Bureau of Navigation Systems", CandSc. Graduated from Makarov Marine Engineering College (1952). Speciality: satellite radionavigation. Author of more than 50 publications.

**Yuri I. NIKITENKO**, professor of Makarov State Maritime Academy, DSc. Graduated from Leningrad Higher Engineering Marine College (1949). Speciality: radionavigation. Author of about 150 publications.

**Alexandr B. OPARIN**, chief of GNINGI Research Centre, Captain 1-st rank, senior researcher, CandSc. Graduated from Frunze Naval College (1977) and Higher Officers' Classes (1984). Speciality: military engineer-hydrographer. Author of 56 publications.

**Vasily K. PALAMARCHUK**, head of Multilevel geophysical monitoring laboratory VNII "Oceangeologiya", senior researcher, CandSc. Graduated from Leningrad Mining Institute. Sphere of scientific interests: aerogeophysical methods of surveys; seismology; geophysical methods of studying the weak seismicity. Author of 120 publications, including 3 certificates of authorship and 1 monograph.

**ПЕРЕСЫПКИН Всеволод Ильич**, Генеральный директор ЗАО "ЦНИИМФ", д.т.н., академик Академии Транспорта РФ, лауреат Государственной премии, вице-президент РОИН, заместитель председателя подкомитета ИМО по безопасности мореплавания. Автор более 70 печатных трудов.

**ПЕТРЕНКО Лариса Алексеевна**, младший научный сотрудник Морского гидрофизического института Национальной Академии наук Украины. Окончила Одесский гидрометеорологический институт (1986). Специализация - океанография, численные методы обработки данных. Автор шести печатных трудов.

**ПЕШЕХОНОВ Владимир Григорьевич**, директор ФГУП ГНЦ – ЦНИИ "Электроприбор" проф., д.т.н. академик РАН. Президент Международной общественной организации "Академия навигации и управления движением". Лауреат Ленинской и Государственной премии РФ. Окончил Ленинградский политехнический институт. Специализация: автономная навигация, навигационные системы и комплексы, прецизионное приборостроение. Автор более 160 научных трудов.

**ПИСАРЕВ Сергей Борисович**, директор РИРВ, к.т.н. Специализация – радионавигационные системы и радиопередающие устройства. Автор ряда печатных трудов.

**САВИК Валентин Феодосьевич**, начальник научно-исследовательского сектора ФГУП ГНЦ РФ – ЦНИИ "Электроприбор", к.т.н. Окончил Ленинградский электротехнический институт В. И. Ульянова (Ленина). Специализация: оптико-телевизионные системы. Автор более 30 научных трудов и изобретений.

**СЕМЕНОВ Георгий Алексеевич**, главный конструктор проекта ДГУП НИИ ННТ, к.т.н. Специализация – радиолокация и радионавигация.

**СИМОН Александр Михайлович**, инженер-гидрограф. Окончил ГМА им. адм. С.О. Макарова (1996).

**Vsevolod I. PERESYPKIN**, General Director of JSC "Central Research Institute of the Merchant Marine", DSc, Academician of the Academy of Transport RF, State Prize Winner, vice-president of the Russian Public Institute of Navigation, vice-chairman of IMO subcommittee on navigation safety. Author of more than 70 publications.

**Larisa A. PETRENKO**, junior researcher of the Marine Hydrophysical Institute of the National Academy of Sciences, Ukraine. Graduated from Odessa Hydrometeorological Institute (1986). Speciality: oceanography, numerical methods of data processing. Author of 6 publications.

**Vladimir G. PESHEHONOV**, director of Federal State Unitary Enterprise RF State Research Centre – Central Research Institute "Elektropribor", DSc, professor, member of RAS, President of the International Public Organization "Academy of Navigation and Traffic Control", Lenin and State Prize Winner. Graduated from Leningrad Polytechnical Institute. Speciality: self-contained navigation, navigation systems, and integrated systems, precision equipment-building. Author of more than 160 publications.

**Sergey B. PISARYEV**, director of Russian Institute of Radionavigation and Time, CandSc. Speciality: radionavigation systems and radiotransmitters. Author of a number of publications.

**Valentin F. SAVIK**, chief of Research Sector of Federal State Unitary Enterprise RF State Research Centre - Central Research Institute "Elektropribor", CandSc. Graduated from Ulyanov (Lenin) Electrotechnical Institute. Speciality: optical-television systems. Author of more than 30 publications and inventions.

**Georgy A. SEMYONOV**, chief designer of project, the Affiliate State Unitary Enterprise "Research Institute Surface Navigation Technologies, CandSc. Speciality: radiolocation and radionavigation.

**Alexandr M. SIMON**, engineer-hydrographer. Graduated from Makarov State Maritime Academy (1996).

**СОРОКИН Александр Иванович**, Институт Озероведения РАН, советник РАН, член-корреспондент РАН, контр-адмирал (в отставке), д.т.н., заслуженный деятель науки и техники, лауреат Государственной премии СССР. Окончил гидрографический факультет ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1946), ВМА им. Н.Г. Кузнецова (1955). Специализация - гидрография, картография, навигация. Автор более 200 печатных трудов.

**СТАВРОВ Константин Георгиевич**, начальник лаборатории ГНИНГИ, к.ф.-м.н. Окончил ЛГУ (1973). Область научных интересов - геофизические исследования, экологический мониторинг. Автор более 50 печатных трудов.

**ЩЕННИКОВ Дмитрий Леонидович**, доцент СПб ВМИ, капитан 2 ранга, к.т.н. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1985) и ВСОК (1991). Специализация – гидрометеорология. Автор более 40 печатных трудов.

**ЧЕРНЕНКО Аркадий Михайлович**, капитан 2 ранга запаса, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1975). Автор более 35 печатных трудов.

**ЧЕРНЯВЕЦ Владимир Васильевич**, Старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, заслуженный изобретатель России. Автор более 50 печатных трудов.

**ШАНИН Андрей Алексеевич**, директор ЗАО "КБ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ". Окончил Московский авиационный институт (1976). Специализация - электронные вычислительные машины. Автор 2 печатных трудов.

**ЯКОВЛЕВ Анатолий Николаевич**, старший научный сотрудник ЦНИИ МФ, контр-адмирал (в отставке), к.т.н. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1948) и ВМА (1958). Служил на штурманских должностях на ТОФ и СФ (последний пост – Главный штурман флота). Автор более 50 печатных трудов.

**ЯНУШКЕВИЧ Владимир Евгеньевич**, начальник научно-исследовательского отдела ФГУП ГНЦ РФ – ЦНИИ "Электроприбор", лауреат Государственной премии РФ. Окончил Ленинградский электротехнический институт В. И. Ульянова (Ленина). Специализация: радиооптические системы. Автор более 70 научных трудов.

**Alexander I. SOROKIN**, RAS Institute of Limnology, Counselor of RAS, Corresponding Member of RAS, Rear-Admiral (Ret.), DSc, Honoured Scientist, USSR State Prize Winner. Graduated from Frunze Naval College (1946) and Naval Academy (1955). Speciality: hydrography, cartography, navigation. Author of more than 200 publications.

**Konstantin G. STAVROV**, chief of laboratory of GNINGI, CandSc. Graduated from Leningrad State University (1973). Sphere of scientific interests: geophysical investigations, ecology monitoring. Author of more than 50 publications.

**Dmitry L. SHCHENNIKOV**, assistant professor of St. Petersburg Naval Institute, Captain 2-nd rank, CandSc. Graduated from Frunze Naval College (1985) and Higher Officers' Classes (1991). Speciality: hydrometeorology. Author of more than 40 publications.

**Arkady M. CHERNENKO**, senior researcher of GNINGI, Captain 2-nd rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College (1975). Author of more than 35 publications.

**Vladimir V. CHERNYAVETS**, senior researcher of GNINGI, Honoured Inventor of Russia. Author of more than 50 publications.

**Andrei A. SHANIN**, Director of Closed JSC "Design Bureau of Navigation Systems". Graduated from Moscow Aviation Institute (1976). Speciality: computers. Author of 2 publications.

**Anatoly N. YAKOVLEV**, senior researcher of Central Research Institute of the Merchant Marine, Rear-Admiral (Ret.), CandSc. Graduated from Frunze Naval College (1948) and Naval Academy (1958). Served as navigator in the Pacific and North fleets (his last post - Chief Navigator of the North Fleet). Author of more than 50 publications.

**Vladimir E. YANUSHKEVICH**, chief of Research Division of Federal State Unitary Enterprise RF State Research Centre - Central Research Institute "Elektropribor", RF State Prize Winner. Graduated from Ulyanov (Lenin) Electrotechnical Institute. Speciality: radiooptical systems. Author of more than 70 publications.



**ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ,  
НАПРАВЛЯЕМЫХ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ  
"НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ"**

1. Объем статьи не должен превышать 8 с., для статьи обзорно-аналитического характера – до 15 с. Количество рисунков и таблиц – не более 5 (по каждой позиции).
2. Статья должна иметь индекс ГРНТИ, сопровождаться аннотацией (помещается после названия), рефератом, списком использованной литературы и актом экспертизы.
3. К статье следует приложить название статьи, аннотацию и реферат на английском языке, а также основные сведения об авторе(ах) на русском и английском языках.
4. Все рисунки или фотографии должны иметь порядковые номера и подрисуночные подписи, размер не более формата **A4 (297x210 мм)** и черно-белое исполнение. Не рекомендуется использование мелких штриховок и заливок (не читаемых сканером с разрешением 300 точек на дюйм).
5. Все числовые значения в тексте, на рисунках и в таблицах должны соответствовать единицам, принятым в системе СИ.
6. Список использованной литературы должен быть составлен на языке оригинала (исключение – языки с иероглифическим написанием слов, например, японский) в порядке ссылок на источники по тексту.
7. Материалы должны быть подготовлены в формате текстового редактора **MS Word for Windows**, а также других систем, для которых имеются стандартные конвертеры Word. При оформлении использовать только стандартные шрифты (**Arial**, размер 11).
8. Для диаграмм и графиков предпочтительно использование **векторных форматов**, импортируемых в MS Word for Windows и одновременное представление оригинал-макета. Растровая графика (только черно-белая) может быть представлена в формате **TIFF** или **PCX** с разрешением **300 DPI**.
9. В редакцию представляются дискета 3,5" с текстом статьи, аннотации и рефератом и их распечатки через 2 интервала в 1 экз. (дискета возвращается автору).
10. К статье прилагается акт экспертизы.
11. Материалы, отправляемые посредством электронной почты, направлять на адрес **E-mail: editor@navy.ru** в виде предварительно компрессированных архиваторами **ARJ** или **PKZIP**, присоединенных к письму файлов, закодированных **UUENCODE**.

Адрес редакции: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.  
Телефон: (812) 322-22-43 (доб. 215, 249), 322-34-18 (доб. 215, 249),  
Факс: (812) 322-33-19 (в рабочее время).  
E-mail: editor@navy.ru



# ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА

---

## *Уважаемые читатели!*

Юридические и физические лица могут приобрести журнал, оформив подписку на год или заказ на конкретный номер журнала, как за безналичный, так и наличный расчет.

Время оформления подписки не ограничено.

В 2001 году выйдут 12 и 13 номера журнала.

Заказ можно оформить на любой номер журнала, начиная с первого.

Цена одного номера журнала – 120 руб. (НДС не начисляется).

---

Главному редактору  
журнала "Навигация и гидрография"  
**Алексееву С. П.**  
199106, Санкт-Петербург,  
Кожевенная линия, 41

## **БЛАНК-ЗАКАЗ**

Прошу оформить подписку (заказ) на \_\_ экз. журнала "Навигация и гидрография" №№ ...

Стоимость подписки в сумме \_\_\_\_\_

перечислена на расчетный счет:

ИНН 7801020940 – ГНИНГИ МО РФ

р/сч 4050281010000000107

(кор/сч - нет)

БИК 044081002

ОКОНХ 95120

ОКПО 08303504

ПУ ЦБ РФ Флагманское г. С. -Петербург.

Платежное поручение № \_\_\_\_\_ от " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2001 г.

Заказ направить по адресу:

индекс п/о \_\_\_\_\_, область (край, респ.). \_\_\_\_\_

город, улица, дом \_\_\_\_\_

Кому \_\_\_\_\_

(полное название организации и ФИО контактного лица или ФИО заказчика)

В платежном поручении указать: *"Подписная плата за журнал(ы) ..."*.

**Заполненный бланк-заказ перешлите в редакцию по адресу:**

Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия 41, ГНИНГИ МО РФ, Начальнику.

# **НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 2001, №12**

Редакторы: А.И. Баранов, Р.Н. Беркутов, И.Ю. Бугрова, С. А. Рудас.

Компьютерное оформление: В.И. Скалон, М.В. Данилова

Подписано в печать 29.05.2001 г.

Заказ № 117

Рег. № 013267 от 26.01.95 г.

Комитет РФ по печати

---

© Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт  
Министерства обороны РФ