

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

---

---

# **НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ**

**Издается с 1995 года**

**4  
1997**

**МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

---

Санкт-Петербург

**Главный редактор  
В.С.Макода**

**Редакционная коллегия:**

**С.П.Алексеев (заместитель главного редактора),  
А.И.Баранов (секретарь), Б.Н.Беляев,  
П.Г.Бродский, В.К.Воробьев, В.Л.Галахов,  
А.А.Дадашев, В.Н.Демин, В.Г.Дзюба, А.Н.Добротворский,  
Г.И.Емельянцев, Б.Е.Иванов, И.В.Козырь, Н.М.Лец,  
П.И.Малеев, А.П.Михайловский, Н.Н.Неронов,  
А.Г.Панов, В.И. Пересыпкин, В.Г.Пешехонов,  
В.Н.Раскатов, Ю.В.Румянцев,  
С.А.Рудас (заместитель главного редактора),  
А.Е.Сазонов, А.И.Сорокин,  
А.В.Федотов, В.Н.Фрадкин**

**Ответственный редактор номера С.П.Алексеев**

**Ответственный за выпуск В.В.Огородников**

**THE STATE RESEARCH  
NAVIGATION-HYDROGRAPHIC INSTITUTE**

---

**NAVIGATION AND  
HYDROGRAPHY**

**Published since 1995**

**4  
1997**

**RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE**

---

Saint -Petersburg

**Editor-in-chief  
V.S.Makoda**

**Editorial board:**

**S.P.Alekseev (vice editor-in-chief),  
A.J.Baranov (secretary), B.N.Belyaev, P.G.Brodsky,  
V.K.Vorobiev, V.L.Galakhov, A.A.Dadashev,  
B.N.Demin, V.G.Dzyuba, A.N.Dobrotvorsky, G.I.Emeliyantsev,  
B.Elvanov, I.V.Kozyr, N.M.Lez, P.I.Maleev,  
A.P.Mikhaylovsky, N.N.Neronov,  
A.G.Panov, V.I.Peresykin, V.G.Peshekhonov,  
V.N.Raskatov, Yu.V.Rumyantsev,  
S.A.Rudas (vice editor-in-chief),  
A.E.Sazonov, A.I.Sorokin,  
A.V.Fedotov, V.N.Fradkin**

**Editor for the issue S.P.Alekseev**

**Responsible for the issue V.V.Ogorodnikov**

**© RF Ministry of Defence  
The State Research Navigation-Hydrographic Institute  
1997**

## Уважаемый читатель!

Перед Вами очередной, четвертый номер журнала "Навигация и гидрография", который целиком посвящен комплексному освещению проблемы навигационно-гидрографического обеспечения освоения шельфа арктических морей России.

Разработка нефтегазоносных шельфовых полей Российской Арктики представляет собой важнейшую задачу, от успешного решения которой во многом зависит экономическое благосостояние страны в первой половине XXI века. Освоение промысла арктической нефти и природного газа призвано не только компенсировать уменьшение добычи на вот уже несколько десятилетий интенсивно эксплуатирующихся сибирских месторождениях. Во-первых, оно несомненно снизит политическую уязвимость российского экспорта углеводородов, поскольку перспективные маршруты их транспортировки не будут пролегать по территории сопредельных государств или нестабильных регионов. Во-вторых, мощный импульс получит вся экономика российского Северо-Запада, т.к. в первую очередь именно ее промышленность окажется вовлеченной в процесс производственного обеспечения освоения арктического морского промысла углеводородов.

На начальном этапе предстоит разработка Приразломного нефтяного месторождения (ПНМ), тендер по которому выиграла отечественная компания АО "Росшельф". К выполнению комплекса НИОКР по программе освоения ПНМ привлечены ведущие российские НИИ и КБ. Промежуточные итоги этих работ были зафиксированы в рамках технического проекта "Обустройство Приразломного нефтяного месторождения" (1996 г.). В этом проекте Гос.НИНГИ, как головная по своему профилю национальная организация, с 1994 г. возглавляла разработку концепции навигационно-гидрографического обеспечения эксплуатации нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе России. Было показано, что обеспечение безопасности мореплавания на различных этапах их освоения представляет собой сложную комплексную проблему. Актуальность ее в практическом плане подчеркивает тот факт, что при обустройстве ПНМ игнорирование необходимости предусмотреть в структуре компании "Росшельф" специализированной службы ГМО может привести к ежегодному ущербу в 12–17 млн. дол. Успешное решение проблемы обеспечения безопасности мореплавания во многом, если не сказать целиком, предопределяет безопасность персонала и гидротехнических сооружений промысла, сохранность в его районе судов и грузов, нормальную экологическую обстановку.

С целью доведения основных результатов выполненной Институтом работы до кругов широкой инженерной общественности в ноябре 1996 г. Гос.НИНГИ совместно с НТОС им. акад. А.Н.Крылова провел научно-технический семинар, посвященный итогам разработки системы НГи ГМО применительно к условиям ПНМ. В соответствии с его рекомендациями и было принято решение о формировании на основе заслушанных докладов тематического выпуска журнала "Навигация и гидрография". В ходе работы усилиями редколлегии состав подготавливаемых материалов был несколько расширен, в результате чего общий раздел данного номера пополнился серьезным многоплановым обзором климатических условий различных арктических морей (коллектив отечественных и зарубежных авторов) и достаточно интересной в проблемном плане статьей о роли Балтики в системе "океан–атмосфера–литосфера", характеризующей отражение на этом бассейне происходящих в Арктике процессов, что может позволить в определенной степени проследить закономерности последних.

Главный

редактор



В.МАКОДА

## Dear reader!

We present the new, fourth issue of the journal "Navigation and Hydrography" which is completely devoted to the treatment of the problem of navigation and hydrographic support for development of the Russian Arctic seas shelf.

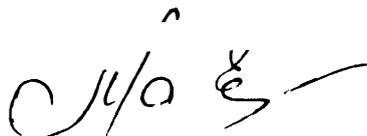
The development of hydrocarbon shelf fields of the Russian Arctic is the most important task. The economic welfare of the country in the first half of XXI century depends on its solution in many respects. The effective exploitation of the Arctic oil and natural gas is to compensate for the decrease of output at the Siberian hydrocarbon fields which are being intensively exploited for some decades. And this is not the only reason. First, it will reduce the political vulnerability of the Russian hydrocarbon export, because the future routes of their shipment will not run across the territories of neighbouring states or politically unstable regions. Second, great impetus will be given to all the economy of the Russian North-West, because it is its industry that will be involved, in the first place, in the process of industrial support directed at development and production of hydrocarbon on the Arctic seas shelf.

At the initial stage, it is planned to develop the Priraziomnoye oil field (POF), the tender for its development has been awarded to the Russian JSCo "Rosshelf". The leading Russian research institutes and design bureaus have been directed to take part in the complex R&D having the program of POF development. The intermediate results of this work were stated in the framework of the technical project "Development of Priraziomnoye oil field" (1996). In this project, Gos.NINGI, as the leading in its profile national organisation, since 1994 has headed the concept development of navigation and hydrographic support of hydrocarbon fields exploitation on the Arctic shelf of Russia. It was shown that provision of navigation safety at different stages of their development is a complicated complex problem. Its actuality in the practical sense is stressed by the fact that of the specialised HMS service in JSCo "Rosshelf" structure when developing the POF is ignored, it could lead to annual loss of \$12-17 millions. The successful solution of the problem of providing the navigation safety determines in many - if not in all - respects the safety of personnel and hydrotechnical structures of the oil field, the safety for vessels and cargoes, and normal ecological conditions.

In November 1996, in order to inform the broad engineering community of the main results of the work carried out by Gos.NINGI, the Institute together with A.N.Krylov's SIS of Shipbuilders held a scientific and technical seminar intended to sum up the results of NH and HMS, as applied to POF conditions.

According to its recommendations, the decision was taken to organise the thematic issue of the journal "Navigation and Hydrography", using the reports delivered at the seminar as a basis. In the course of the work, the scope of the materials being prepared for publication was to a certain degree widened by the editorial board. In result, the general section of this issue was supplemented by a serious review of climatic conditions existing in different Arctic seas (made by a Russian and foreign authors) and by a sufficiently interesting, from the problem point of view, the article on the role of the Baltic in the system "ocean-atmosphere-lithosphere" which shows the influence of the processes taking place in the Arctic on this basin, which can allow to a certain degree, to follow the regularities of these processes.

Editor-in-chief



V.MAKODA

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ОБЩИЕ ВОПРОСЫ**

<i>Алексеев С.П., Герасимов В.М., Добротворский А.Н., Дерцакян А.К.</i> Пути решения проблемы навигационного обеспечения освоения и эксплуатации нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе .....	9
<i>Лосет С., Шхинек К.Н., Михаленко Е.Б., Гудместад О.Т., Страсс П., Фредеркинг Р., Карна Т.</i> Сравнение условий окружающей среды некоторых морей Северного Ледовитого океана .....	29
<i>Бухановский А.В., Рожков В.А.</i> Современные подходы к выбору стохастической гидрометеорологической модели при инженерных расчетах .....	50
<i>Богданов В.М., Медведев М.Ю., Неромов Н.Н.</i> Балтийское море в системе "океан - атмосфера-литосфера" .....	60

**МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ.  
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА**

<i>Пересыпкин В.М.</i> Деятельность ИМО по разработке эксплуатационных требований к средствам и системам навигационного обеспечения безопасности мореплавания .....	65
<i>Сарайский Ю.Н.</i> Деятельность ИКАО по нормированию точности аэронавигации.....	69
<i>Бобков С.А., Демин С.П.</i> Планирование навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения проводки морской ледостойкой платформы .....	73

**НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ**

<i>Зимин Н.С., Ли Р.В.</i> Компьютерный растровый цветной радиолокационный индикатор "Балтика" для систем управления движением судов .....	79
--	----

**СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ**

<i>Ашик И.М.</i> Численные расчёты и прогнозы колебаний уровня, течений и дрейфа льда на шельфе морей западного сектора Арктики .....	85
<i>Мастрюков С.И.</i> Модель расчета течений в Белом море .....	94
<i>Смирнов В.Г., Девятов О.С., Бушуев А.В.</i> Спутниковый мониторинг ледового покрова в районе Приразломного нефтяного месторождения .....	100
<i>Зубченко Э.С., Кондюрин В.Д.</i> Максимальные глубины, определяемые по аэро- и космическим фотоснимкам фотометрическим способом.....	107
<i>Баринев С.П., Панов А.Г.</i> Навигационно-гидрографическое обеспечение установки морской ледостойкой платформы в районе Приразломного нефтяного месторождения.....	113
<i>Авдонюшкин В.А., Лакунин А.А.</i> Оценка качества съемки рельефа дна средствами площадного обследования .....	116

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ**

<i>Бобков С.А.</i> Состав и структура средств по доведению данных о навигационно-гидрографической и гидрометеорологической обстановке до органов управления Приразломного нефтяного месторождения .....	121
<i>Лупян Е.А., Веселов В.М., Захаров М.Ю., Мазуров А.А., Флитман Е.В.</i> Оперативное использование спутниковых данных для решения задач гидрометеообеспечения разработок Приразломного нефтяного месторождения.....	126
<i>Миронов Е.У., Бровин А.И.</i> Специализированные ледовые прогнозы и организация гидрометеорологического обеспечения морских операций в юго-восточной части Баренцева моря .....	135
<i>Бровин А.И., Миронов Е.У.</i> Концепция мониторинга ледового покрова в районе Приразломного нефтяного месторождения.....	140
<i>Лавренов И.В., Давидан И.Н., Бобков В.Н., Дымов В.М., Пасечник Т.А., Яковлева Н.П.</i> Оценка экстремальных высот ветровых волн в Печорском море .....	144
<i>Регинский В.Д., Латышев М.А., Кутузов В.М., Бвзуглов А.В.</i> Использование коротковолновых РЛС в интересах гидрометеорологического обеспечения работ по добыче нефти на шельфе Баренцева моря .....	152
<b>Аннотации на английском языке</b> .....	157
<b>Сведения об авторах</b> .....	160

CONTENTS

GENERAL MATTERS

<i>Alekseev S.P., Gerasimov V.M., Dobrtvorsky A.N., Dertsakyan A.K.</i> Problems of Navigation Support of the Oil and Gas Fields Development and Exploitation on the Arctic Shelf .....	9
<i>Loset S., Shkhinek K.M., Michalenko E.B., Gudmestad O.T., Strass P., Frederking R., Kakna T.</i> Comparison of Environmental Conditions of Arctic Seas .....	29
<i>Boukhanovsky A.V., Rozhkov V.A.</i> Problems of the Choice of Stochastic Hydrometeorological Model in Engineering Calculations .....	50
<i>Bogdanov V.I., Medvedev M.Yu., Neronov N.N.</i> The Baltic Sea in the System "Ocean-Atmosphere-Uthosphere" .....	60

METHODS, ACCURACY AND EFFICIENCY OF NAVIGATION. NAVIGATOR'S ACTIVITY

<i>Peresyppkin V.I.</i> IMO Activities Directed at Development of Maintenance Requirements for Systems and Aids to Navigation Providing Maritime Safety .....	65
<i>Saraisky Uy.N.</i> ICAO Activities Directed at Standardizing the Air Navigation Accuracy .....	69
<i>Bobkov S.A., Demln S.P.</i> Planning the Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological .....	73

NAVIGATION AND INTEGRATED SYSTEMS

<i>Zimin N.S., Li R.V.</i> PC-Based Rasterscan Colour Radar Display "Baltica" for Vessel Traffic Control Systems .....	79
--	----

MEANS AND METHODS OF HYDROGRAPHY, MARINE CARTOGRAPHY AND GEOPHYSICS

<i>Ashik I.M.</i> Numerical Calculations and Forecasts of the Level Oscillations, Currents and Ice Drift on the Shelf of the Western Arctic Seas .....	85
<i>Mastryukov S.I.</i> Computation Model of Currents in the White Sea .....	94
<i>Smirnov V.G., Davyatayev O.S., Bushuev A.V.</i> Satellite Monitoring of the Ice Cover in the Region of the Priraziomnoye Oil Field .....	100
<i>Zoubtchenko E.S., Kondyryn V.D.</i> Maximum Depths Determined from Aerial and Space Photographs Using Photometric Technique .....	107
<i>Barinov S.P., Panov A.Q.</i> Navigation Hydrographic Support Tasks for Offshore Ice-Resistant Platform Installation in the Area of Priraziomnoye Oil Field .....	113
<i>Avdonyushkin V.A., Lakunin A.A.</i> Evaluation of Bottom Relief Surveying Quality by Swath Sounding Systems .....	116

HYDROMETEOROOICAL SUPPORT OF MARINE NAVIGATION

<i>Bobkov S.A.</i> Composition and Structure of the Means Used to Transfer the Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Data to the Administration of Priraziomnoye Oil Field .....	121
<i>Lupyan E.A., Veselov V.M., Zakharov M.Y., Mazurov A.A., Flitman E.V.</i> On-Line Employment of Satellite Data for Hydrometeorological Support of Priraziomnoye Oil Field Explotation .....	126
<i>Mironov E.U., Brovi A.I.</i> SpecializedIceForecasts andOrganizationof Hydrometeorological Support of Marine Operations in the Region of the Priraziomnoye Oil Field In the Pechora Sea .....	135
<i>Brovin A.I., Mironov E.U.</i> The Concept for Ice Cover Monitoring in the Region of thePriraziomnoye Oil Field .....	140
<i>Lavrenov I.V., Davidan I. N., Bokov V.N., Dymov V.I., Pasachnik T.A., Yakovleva N.P.</i> Estimation of Extreme Heights of Wind Waves in the Pechora sea .....	144
<i>Reginsky V.D., Latyshev M.A., Kutuzov V.M., Bezuglov A.V.</i> Employment of Short-Wave Radars in the Interests of Hydrometeorological Support of the Barents Sea Shelf Oil Production .....	152
<b>Abstracts of Published Articles</b> .....	157
<b>Intonnation about Author</b> .....	160

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ГРНТИ 48.21.41.19

### **ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОСВОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ**

**С.П. АЛЕКСЕЕВ,  
В.М. ГЕРАСИМОВ,  
А.Н.ДОБРОТВОРСКИЙ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ),  
**А.К.ДЕРЦАКЯН**  
(ДООАО Гипроспецгаз)

*Анализируются основные результаты технического проектирования системы навигационного обеспечения месторождения «Приразломное». Разработанные в ходе проектирования организационные и научно-технические пути решения проблемы могут быть положены в основу создания системы навигационного обеспечения работ по освоению континентального шельфа России.*

Обеспечение безопасности мореплавания на различных этапах освоения нефтегазовых месторождений на континентальном шельфе представляет собой актуальную в практическом плане проблему. От ее успешного решения зависят безопасность людей, сохранность судов и грузов, гидротехнических сооружений, экологическая обстановка.

Нормы международных морских организаций и положения законодательства РФ требуют создания адекватной системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок. На сегодняшний день в наибольшей степени организационные и технические аспекты создания такой системы проработаны в рамках проекта «Обустройство Приразломного нефтяного месторождения (ПНМ)».

При проектировании системы навигационного обеспечения необходимо было учитывать следующие особенности, определяемые как собственно географией района расположения ПНМ, так и условия эксплуатации месторождения:

- \* размещение основных элементов инфраструктуры промыслов в существующих районах судоходства, рыболовства и оперативной деятельности сил ВМФ и других видов ВС;

- \* сложная навигационно-гидрографическая и гидрометеорологическая, в первую очередь ледовая, обстановка в районах промыслов, отсутствие отечественного и мирового опыта решения целого ряда задач навигационного обеспечения в этих условиях;

- \* недостаточная изученность районов промыслов в навигационно-гидрографическом и гидрометеорологическом отношении как в части обеспечения безопасности мореплавания и полетов воздушных судов, так и в части проектирования гидротехнических сооружений.

- \* значительное усиление интенсивности судопотоков при существенном наращивании объемов перевозок опасных грузов;

- \* необходимость обеспечения заданной регулярности смены буровых вахт и снабжения стационарных морских установок морскими и воздушными судами;

На основании требований руководящих документов и с учетом географических особенностей района ПНМ в состав системы навигационного обеспечения включены следующие функциональные подсистемы (рис. 1):

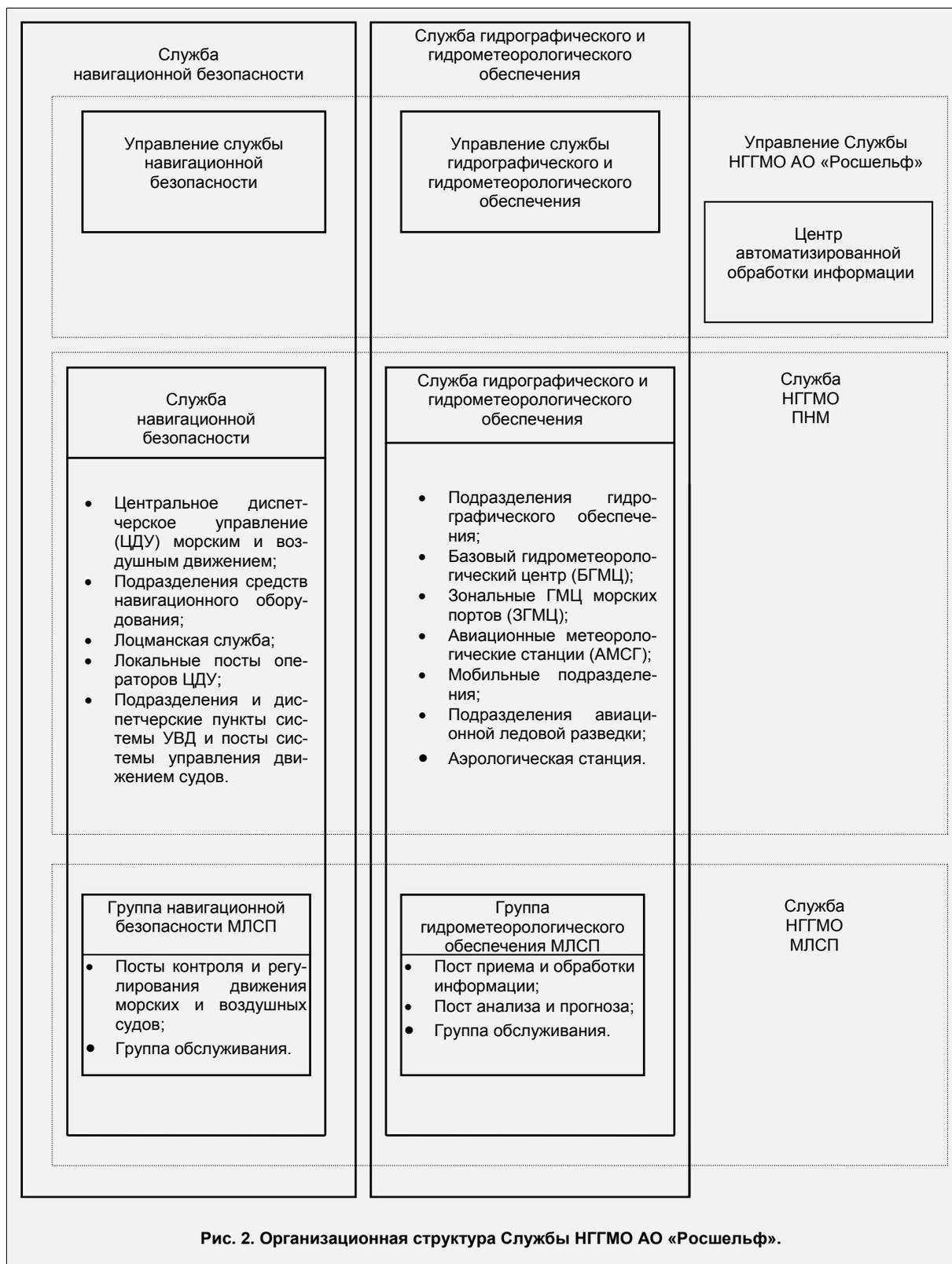
- \* обеспечения навигационной безопасности и управления морским и воздушным движением;

- \* обеспечения безопасности и расчетных режимов функционирования технологических комплексов в различных гидрометеорологических условиях;
- \* сопряжения с автоматизированными комплексами управления объектов ПНМ.



Решение задач навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок целесообразно возложить на специально созданную Службу навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения (НГГМО) АО «Росшельф». На первом этапе освоения нефтегазовых месторождений на шельфе арктических морей России эта Служба будет обеспечивать процессы обустройства и эксплуатации ПНМ. В дальнейшем, по мере наращивания работ на Штокмановском газоконденсатном месторождении и в других районах, она должна расширить сферу своей деятельности и обеспечить морские инженерно-гидрографические и инженерно-гидрометеорологические изыскания, а также процессы проектирования, обустройства и эксплуатации новых объектов. Рекомендуемая организационная структура Службы НГГМО АО «Росшельф» приведена на рис. 2.

Включение в состав Службы НГГМО специальной организационной структуры, отвечающей за гидрометеорологическое обеспечение, на первый взгляд может показаться дискуссионным. Действительно, гидрометеорологическое обеспечение развития экономики и обороны страны возложено на Росгидромет. Однако необходимо различать общее и специализированное гидрометеорологическое обеспечение. Первое заключается в организации регулярного сбора и циркулярного распространения потребителям стандартной гидрометеорологической информации. Оно осуществляется Росгидрометом за счет госбюджета.



Специализированное обеспечение заключается в организации регулярного сбора и доведения до отдельных потребителей специальной гидрометеорологической информации (данных анализа и прогноза по конкретным районам, по специальным перечням параметров, с учетом дополнительных требований по пространственно-временному разрешению и т.д.) в интересах обеспечения конкретной производственной деятельности индивидуального потребителя. Специализированное обеспечение осуществляется Росгидрометом за счет соответствующих ведомств или фирм.

Из опыта известно, что специализированное ГМО оправдывает затраты на его организацию лишь в том случае, когда оно дополнено ведомственными службами, осуществляющими в том числе оценку гидрометеорологической обстановки и разработку рекомендаций органам управления.

В ходе оптимизации технико-экономического обоснования ПНМ показано, что создание специализированной службы ГМО компании «Росшельф» является максимально эффективным решением, которое снизит ущерб, наносимый деятельности промысла за 10 лет (ущерб включает прямое воздействие природной среды и затраты на создание и поддержание специализированной системы ГМО) на 125–164 млн. дол. [1].

В ходе технического проектирования системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок разработаны проекты целого ряда специальных руководящих документов, определяющих ее организацию, а также состав и технические характеристики средств навигационного и гидрометеорологического оборудования объектов ПНМ. Основными из них являются:

- \* Положение о системе управления движением судов (СУДС) в зоне МЛСП и отгрузочного терминала (ОТ) ПНМ;
- \* обязательные постановления по зоне МЛСП и ОТ ПНМ;
- \* Положение об организации гидрометеорологического обеспечения ПНМ;
- \* технические требования к средствам предупреждения и навигационного оборудования (СПНО) морских стационарных платформ;
- \* общие технические требования к средствам гидрометеорологического оборудования объектов ПНМ.

Документы, определяющие общие технические требования к СПНО и средствам гидрометеорологического оборудования, подлежат утверждению следующими ведомствами:

- \* Главным управлением навигации и океанографии МО РФ;
- \* Межгосударственным авиационным комитетом;
- \* Росгидрометом.

В ходе дальнейших работ по освоению месторождений на континентальном шельфе РФ указанные документы составят основу нормативной базы для проектирования и наращивания системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок.

В техническом проекте по системе НГГМО ПНМ были проанализированы основные исходные данные по ряду параметров, приведенные в так называемой «СЕРОЙ КНИГЕ»<sup>\*</sup>. Полученные при этом результаты позволили сделать ряд важных выводов:

а). Для проведения работ по буксировке и установке МЛСП, ОТ и прокладке трубопровода между МЛСП и ОТ необходимо проведение съемки рельефа и грунта дна, а также инженерно-гидрометеорологических изысканий в соответствии с требованиями [2].

б). Реально ожидаемые экстремальные характеристики ветрового волнения существенно отличаются от приведенных в «СЕРОЙ КНИГЕ». Например, для 95% дове-

---

<sup>\*</sup>) Обустройство Приразломного месторождения. Основы структурного проектирования. Документ NPZ-000-001. ВНРLtd., АОТ «Гипроспецгаз», АО «Росшельф» («СЕРАЯ КНИГА»).– 1994.

рительного интервала высоты волн 0,1% обеспеченности находятся в пределах 9,6 - 10,2 м в точке установки МЛСП и 10,5 - 11,1 м в точке установки ОТ.

Для получения указанных уточненных оценок под руководством д.ф.-м.н. Лавренова И.В. и д.ф.-м.н. Давидана И.Н. (ААНИИ) в рамках технического проекта выполнены крупные комплексные исследования, основанные как на анализе данных судовых наблюдений, так и численном моделировании ветрового волнения за продолжительный исторический период.\*

в). Экстремальные характеристики поля скорости течений, в том числе придонных в районе установки МЛСП, а также турбулентной диффузии требуют уточнения.

Это обусловлено тем, что в «СЕРОЙ КНИГЕ» использованы данные измерителей течений механического типа (МГИ-1308, РСМ-7, АЦИТТ). Вместе с тем международные интеркалибрационные эксперименты в условиях мелководья (СМICE-76, SCOR UNESCO 1969, 74, 75 гг.) зарегистрировали расхождения в показаниях механических приборов на поверхностных буйах и более современных приборов, которые могут достигать до 100-250%. Указанные расхождения определены международными экспертными группами как погрешности механических измерителей скорости потока в условиях волновых движений и колебаний поверхностных буйев.

г). Исходные данные по метеорологическому режиму ПНМ вследствие неполноты или отсутствия целого ряда характеристик основных метеорологических параметров (видимости, высоты нижней границы облаков, повторяемости опасных явлений погоды и др.) не позволяют осуществить, исходя из предъявляемых требований по регулярности полетов, категорирование аэродромов базирования авиации, в т.ч. категорирование вертолетных площадок МЛСП и ОТ. Представляется необходимым разработать авиационное климатическое описание района ПНМ, на его основе принять решение о категориях аэродромов базирования авиации, осуществляющей транспортное обслуживание работ на месторождении, а затем определить в соответствии с требованиями руководящих документов состав технических средств для воздушной навигации [ 3, 4, 5 ].

По данному пункту технического проектирования, опираясь на предварительные параметры авиационного климатического описания и возможные сценарии использования воздушных судов на ПНМ, для вертолетных площадок были рекомендованы:

\* на МЛСП и в п. Варандей – I-II категория по нормам ИКАО;

\* на ОТ – II категория по нормам ИКАО.

В табл. 1 приведены значения высоты нижней границы облаков ( $H_{НГО}$ ) и дальности видимости ( $L_{ВИД}$ ), при которых разрешены полеты с аэродромов указанных категорий.

Таблица 1  
Значения  $H_{НГО}$  и  $L_{ВИД}$  для аэродромов I и II категории по нормам ИКАО

Категория аэродрома	$H_{НГО}$ , м	$L_{ВИД}$ , м
I	$\geq 60$	$\geq 800$
II	30 – 60	400 – 800

По предварительным оценкам метеоусловий в районах Крайнего Севера регулярность полетов при техническом оборудовании аэродромов в соответствии с указанными категориями составит 0,5÷ 0,7.

Кроме того, при определении категорировности посадочных площадок МЛСП и ОТ необходимо учитывать состав и функциональные возможности навигационно-посадочного оборудования вертолетов, планируемых для использования на ПНМ.

Перейдем к изложению основных результатов проектирования по функциональным подсистемам системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок (см. рис. 1).

\* Подробнее см. статью И.В.Лавренова и др. в этом номере (Прим.ред.).

**Подсистема обеспечения навигационной безопасности и управления морским и воздушным движением.** В состав подсистемы входят:

- \* система СПНО сооружений морского добычного комплекса;
- \* система управления движением судов;
- \* система управления воздушным движением.

Система СПНО представляет собой обладающий глубоким запасом надежности интегрированный комплекс светотехнических, радиотехнических и звукоопознавательных средств. Основной режим работы системы СПНО автоматический, что позволяет использовать указанный комплекс как на МЛСП, так и на необслуживаемом ОТ.

К основным средствам системы СПНО относятся:

- \* два белых проблесковых огня большой дальности типа ПСО, каждый из которых состоит из первичного и резервного огней, выполненных в едином конструктивном блоке;
- \* четыре красных проблесковых габаритных огня типа ПСГ, каждый из которых состоит из первичного и резервного огней, выполненных в едином конструктивном блоке;
- \* две первичных и две резервных звукоопознавательных установки типа LIEH-710/23 и LIEH-710/051;
- \* два радиолокационных маяка-ответчика типа УКТ-10104;
- \* четыре или более подсвечиваемых опознавательных щита.

Предусмотрены резервные средства включающиеся автоматически при выходе из строя первичных или при нарушениях электропитания, а также аварийные, к которым относится автономная переносная светозвукоопознавательная установка типа АПУ.

Система управления движением судов (СУДС) предназначена для предотвращения навигационных аварий в сложных условиях плавания. Ее технической основой являются радиолокационные станции, средства опознавания, радиосвязи, обработки и отображения радиолокационной информации.

Разработаны два варианта схем зон разделения движения судов в районе ПНМ: для МЛСП и для морского добычного комплекса, состоящего из МЛСП и ОТ. В обеих схемах вокруг каждого из объектов регламентированы 500-метровая зона безопасности и зона маневрирования. Движение в этих зонах осуществляется по указаниям диспетчера СУДС. Предусмотрены подходные маршруты с разделенными полосами движения и места якорных стоянок. Общая зона регулирования СУДС - 10-мильная акватория вокруг каждого из объектов морского добычного комплекса.

В состав СУДС входят:

- \* пост контроля движения судов (лоцман) и пост регулирования движения судов (диспетчер и гидролог) на МЛСП;
- \* телеуправляемый радиолокационный пост на ОТ;
- \* три радиолокатора на МЛСП;
- \* два радиолокатора на ОТ.

В составе СУДС используются навигационные РЛС типов «Енисей» (10 см), «Найда-5М» (3,2 см) и «Балтика-Р» (0,8 см). Использование диапазона 10 см предписано требованиями обеспечения безопасности полетов вертолетов, диапазона 3,2 см требованиями по безопасности мореплавания Международной морской организации.(ИМО)\* Диапазон 0,8 см обеспечивает повышенное разрешение, малую «мертвую зону», а также дает информацию о ледовой обстановке.

Радиолокационные данные от всех пяти РЛС обрабатываются совместно. Обеспечивается взаимное резервирование. Программное обеспечение СУДС базируется на использовании электронных цифровых морских карт.

Аналог предлагаемой для ПНМ СУДС, разработанный российскими фирмами, в настоящее время проходит опытную эксплуатацию на одной из норвежских нефтедобывающих платформ.

\* Подробнее см. статью В.И.Пересыпкина в этом номере (Прим.ред.).

Система управления воздушным движением (УВД) должна обеспечивать деятельность комплекса авиационных средств смешанного (самолетного и вертолетного) состава в количестве 8–14 ед., обеспечивающего работы по обустройству и эксплуатации ПНМ.

Предложен вариант структуры системы УВД, состоящий из базового диспетчерского пункта в г. Архангельске, диспетчерских пунктов на аэродромах в гг. Нарьян-Мар, Амдерма и п. Рогачево, вспомогательного пункта управления в п. Варандей, вертолетного командного пункта на МЛСП, а также пунктов управления авиацией на обеспечивающих судах.

В состав радиотехнического оборудования МЛСП, соответствующего 1 категории аэродрома по нормам ИКАО, входят:

- \* приводная радиостанция типа Р-633;
- \* навигационная радиолокационная станция типа «Енисей»;
- \* автоматический радиопеленгатор типа «Стрела-П» или «Гвоздика»;
- \* посадочный радиолокатор типа «Резистор К-42» или «Призма-В» (в сокращенной комплектации);
- \* спутниковая система посадки и слежения типа «Бриз-А» (ГЛОНАСС-НАВСТАР).

Кроме радиотехнического на МЛСП и ОТ устанавливается стандартное светосигнальное оборудование в соответствии с авиационными требованиями [6].

**Подсистема обеспечения безопасности и расчетных режимов функционирования технологических комплексов в различных гидрометеорологических условиях.** В состав подсистемы (см. рис.1) входят следующие комплексы технических средств:

- \* гидрометеорологического оборудования МЛСП;
- \* гидрометеорологического оборудования ОТ;
- \* освещения гидрометеорологической обстановки на ПНМ;
- \* оборудования БГМЦ, г. Архангельск;
- \* оборудования ЗГМЦ, г. Нарьян-Мар;
- \* оборудования АМСГ, п. Варандей, п. Рогачево;
- \* мобильных гидрометеорологических подразделений.

Ответственное место в структуре Службы НГГМО (см. рис.2) занимает Центр автоматизированной обработки информации (ЦАОИ). Базовый и зональный ГМЦ, а также другие подразделения рассматриваются как абонентские пункты ЦАОИ. Последний обеспечивает решение задач специализированного ГМО на базе информационных ресурсов Росгидромета, ГУНиО МО, гидрографических подразделений Министерства транспорта. Информационное взаимодействие ЦАОИ с указанными источниками планируется осуществлять по проводным и спутниковым каналам связи, в т.ч. каналам сети Internet.

Подготовку специализированных ледовых прогнозов целесообразно возложить на Центр ледовой информации и специализированного обеспечения ГНЦ РФ–АНИИ.

Основные характеристики ледовых прогнозов для этапов строительства и эксплуатации ПНМ приведены в табл. 2.

Цифровую информацию от средств космического базирования среднего разрешения оптического диапазона будет получать Центр космического мониторинга ИКИ РАН и после обработки передавать ее по каналам сети Internet до конечных пользователей, в т.ч. ЦАОИ и ГНЦ РФ АНИИ.

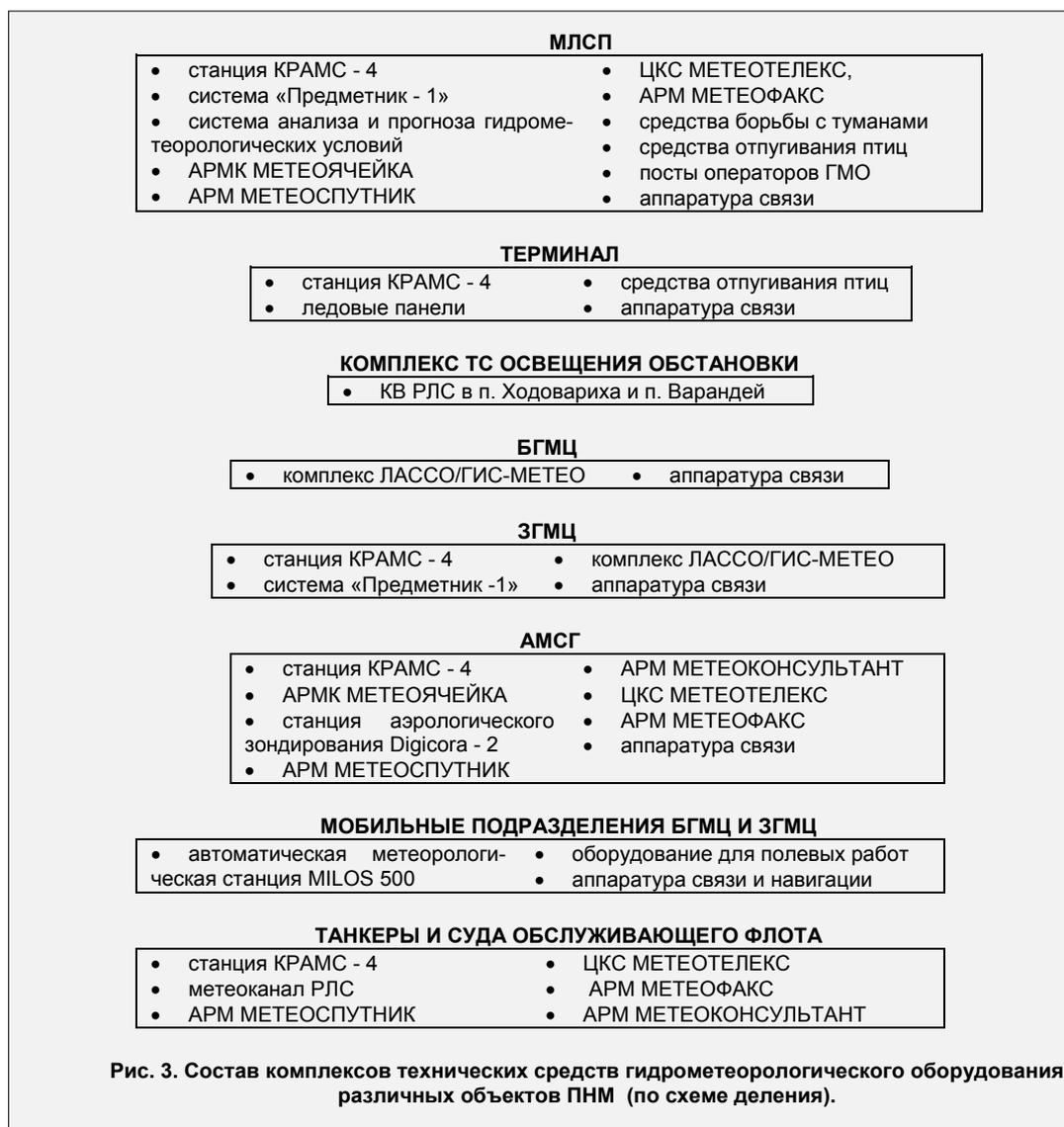
Информация высокого разрешения оптического диапазона будет распространяться Центром ИКИ РАН после подключения к сети Internet НПО «Планета» Росгидромета. В дальнейшем по аналогичной схеме будет осуществляться распространение

**Основные характеристики ледовых прогнозов на этапах строительства промысла и его эксплуатации в районе ПНМ**

Вид прогноза	Дата составления	Период действия	Дискретность	Прогнозируемые характеристики и форма представления
<b>Этап строительства</b>				
1. Долгосрочный прогноз сроков очищения акватории и продолжительности безледного периода	5 мая, 5 июня	1–6 мес.	–	Дата очищения акватории от льда, продолжительность (в сутках) безледного периода. Таблица.
2. Долгосрочный прогноз распределения льдов	5 мая, 5 июня, 5 июля	1–3 мес.	10 сут.	Положение кромки льдов, распределение сплоченности льдов, даты возможного ледокольного плавания, положение оптимального варианта трассы для каравана, состав ледокольного обеспечения. Карты и текст.
3. Долгосрочный прогноз сроков ледообразования и достижения льдом толщин 10–15 см	5 сентября, 5 октября	1–3 мес.	–	Даты начала устойчивого ледообразования, достижение льдом толщин 10–15 см, окончание безледокольного плавания. Карты и текст.
4. Среднесрочный прогноз распределения ледяного покрова	15 июня, 15 августа	1–7 сут.	1 сут.	Положение кромки льдов, распределение сплоченности льда, зон сжатий и разрежений, положение оптимального варианта трассы, затраты времени на буксировку МЛСП. Карты и текст.
5. Краткосрочный прогноз опасных ледовых явлений	Июнь-август, октябрь-ноябрь ежедневно	1–3 сут.	1–24 ч	Смещение льдов из сопредельных районов, максимальные скорости дрейфа льда, сжатия льда, интенсивное нарастание молодого льда. Карты или текст.
<b>Этап эксплуатации</b>				
1. Долгосрочный прогноз распределения льдов	5 число каждого месяца	1 мес.	10 сут.	Положение кромки льдов, распределение зон льдов разного возраста и сплоченности, положение оптимальной трассы для танкеров, затраты времени, состав ледоколов. Карты и текст.
2. Долгосрочный прогноз сроков ледообразования и достижения льдом толщин 10–15 см	5 сентября, 5 октября	1–3 мес.	–	Даты ледообразования, достижения льдом толщин 10–15 см, окончания безледокольного плавания. Карты и текст.
3. Среднесрочный прогноз распределения ледяного покрова	Еженедельно	1–7 сут.	1 сут.	Положение кромки льдов, распределение толщины и сплоченности льда, зон сжатий и разрежений, положение оптимальной трассы для танкеров, затраты времени. Карты и текст.
4. Краткосрочный прогноз опасных ледовых явлений	В течение года	1–3 сут.	1–24 ч	Максимальные скорости дрейфа, возникновение сжатий льда, смещения полей повышенной толщины и торосистости, появление обломков айсбергов, возникновение навалов и др. Текст.

данных радиолокационной съемки с ИСЗ RADARSAT и ERS (после развертывания в России станции приема этой информации).

Состав основного гидрометеорологического оборудования различных объектов ПНМ, а также соответствующих аппаратно-программных средств автоматизированных технологий сбора и обработки информации показан на рис. 3.



В качестве базового варианта оборудования МЛСП принята система гидрометеорологического обеспечения тяжелого авианесущего крейсера «Адмирал флота Кузнецов», которая гарантирует требуемый уровень безопасности использования авиации в Баренцевом море и включает в себя:

- \* судовую метеорологическую станцию типа КРАМС-4 с комплектом измерителей метеорологических параметров (температура, влажность, атмосферное давление, высота нижней границы облаков, видимость, параметры воздушного потока);

- \* автоматизированную систему сбора и обработки данных типа «Предметник-1» с комплектом измерителей гидрологических параметров;

- \* аппаратуру метеоканала корабельной РЛС типа АРМК МЕТЕОЯЧЕЙКА;

- \* аппаратуру приема и обработки спутниковой гидрометеорологической информации типа АРМ МЕТЕОСПУТНИК,

а также необходимые средства анализа и прогноза гидрометеорологической обстановки как по пункту базирования, так и по району решения целевых задач.

Блочное-модульное построение комплекса технических средств гидрометеорологического оборудования МЛСП позволяет сформировать на его основе необходимое

оборудование ОТ, ЗГМЦ, АМСГ, судов танкерного и обслуживающего флотов, в составе которого используются в том числе стандартные средства автоматизированных технологий сбора и обработки информации ЛАССО/ГИС-МЕТЕО, центр коммутации сообщений (ЦКС) МЕТЕОТЕЛЕКС, автоматизированные рабочие места (АРМ) МЕТЕОФАКС и МЕТЕОКОНСУЛЬТАНТ.

Для обеспечения инструментальной ледовой разведки на ПНМ Служба НГГМО компании «Росшельф» может использовать на арендной основе самолет ИЛ 76 МД, оборудованный:

- \* радиолокационной системой высокого разрешения ИК-ВР;
- \* многоспектральной системой высокого разрешения для съемки в видимом и инфракрасном диапазонах;
- \* автоматизированной системой обработки информации и электронного картографирования;
- \* комплектом автономных буйковых дрейфующих станций типа «Дрейф-М».

**Подсистема сопряжения с автоматизированными комплексами управления объектов ПНМ.** Подсистема предназначена для решения следующих групп задач (см. рис. 1):

- \* №1. Обеспечение органов управления ПНМ всех уровней данными о состоянии подвижных объектов, навигационно-гидрографической и гидрометеорологической обстановке;
- \* № 2 .Планирование использования подвижных объектов и прогноз обстановки;
- \* № 3. Выработка рекомендаций по обеспечению безопасности и расчетных режимов функционирования технологических комплексов в прогнозируемых условиях навигационно-гидрографической и гидрометеорологической обстановки.

Обеспечение органов управления данными о фактическом состоянии подвижных объектов (группа задач № 1) осуществляется на базе средств информационно-диспетчерской системы ПНМ.

В подсистеме принята модемная технология передачи информации на базе программного обеспечения MTS, которое работает в среде операционной системы SCO UNIX RELEASE 3.2 версии 4.2 с использованием сетевых средств SCO TCP/IP, SCO NFS, FTP PC/TCP и графического пакета SCO XSIGHT. Кроме того, MTS обеспечивает создание узла сети электронной почты МЕКОМ по выделенным линиям или через телефонную сеть общего пользования.

Для получения и доведения информации до абонентов в пределах одного города может использоваться система BBS. Она построена на программном обеспечении FRONT DOOR и устанавливается на отдельном компьютере, подключаемом к локальной вычислительной сети комплекса ЛАССО/ГИС-МЕТЕО.

Для беспроводной передачи данных в труднодоступных районах предусмотрено использование средств системы INMARSAT, в том числе судовой станции SAILOR H2095B и мобильного спутникового телефона TT-3030 B.

В группе задач № 2 для построения системы планирования транспортного обслуживания рекомендована система сетевого планирования Microsoft Project.

Задачи прогноза обстановки, входящие в состав группы задач № 2, решаются на базе статистических, физико-статистических и гидродинамических схем предвычисления. Модели, обеспечивающие деятельность старших уровней управления ПНМ, представляют собой весьма сложные наборы численных схем и процедур и предполагают использование значительных информационных и вычислительных ресурсов. Их реализация планируется в ЦАОИ, ГНЦ РФ АНИИ и, частично, в БГМЦ. Модели,

обеспечивающие деятельность младших уровней управления ПНМ, должны работать в абонентском режиме и обеспечивать учет местных условий.

Группа задач № 3 обеспечивает усвоение данных об обстановке в процессах управления.

Для решения задач оценки обстановки для старших уровней управления ПНМ рекомендован инструментальный программный комплекс АНФАС одной из специализированных АСУ ВМФ, обеспечивающий работу в слабоструктурированных предметных областях и использование нечетких исходных данных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптимизация технико-экономического обоснования обустройства Приразломного месторождения в части навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения. – Гос.НИНГИ МО РФ. – С.–Петербург, 1995. – 208 с.
2. Ведомственные строительные нормы. Инженерные изыскания на континентальном шельфе. (ВСН 51.2–84). – Мингазпром / Главморнефтегаз. – М. – 1983. – 71 с.
3. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА–95). – Росгидромет, Минтранс РФ. – М. 1995. – 137 с.
4. Нормы годности и эксплуатации аэродромов гражданской авиации СССР (НГЭА–92). – Минтранс РФ. – М. – 1992. – 120 с.
5. «Авиационные правила 139» (Проект авиационного регистра МАК). Классификация аэродромов по составу и характеристикам используемого оборудования. – 1995.
6. Общие авиационные требования к средствам обеспечения вертолетов на судах и приподнятых над водой платформах (ОАТ ГА–90). – Министерство гражданской авиации / Гос.НИИГА. – М. 1990. – 49 с.

#### **PROBLEMS OF NAVIGATION SUPPORT OF THE OIL AND GAS FIELDS DEVELOPMENT AND EXPLOITATION ON THE ARCTIC SHELF**

**S.P.ALEKSEEV,  
V.M.GERASIMOV,  
A.N.DOBROTVORSKY  
(Gos.NINGI RF MoD),  
A.K.DERTSAKYAN  
(JSCo "Giprospetsgas")**

*The main results of designing for the navigation support system on oil field "Priraziomnoye" are analyzed. The organizational and science-technical ways of problem solution, worked out in the course of designing, can be used as the base for creating the navigation support system for Russian continental shelf development.*

Provision of navigation safety at different phases of the oil and gas fields development on continental shelf is an actual practical problem. The safety of people, safety keeping of vessels and cargoes, ecological situation depend on its successful solution.

The International Maritime Organization's standards and Russian legislation provisions demand the creation of an adequate system for marine and air transportations. At present the organizational and technical aspects of creating such a system have mostly been studied in the framework of "Development of Priraziomnoye oil field (POF)" project.

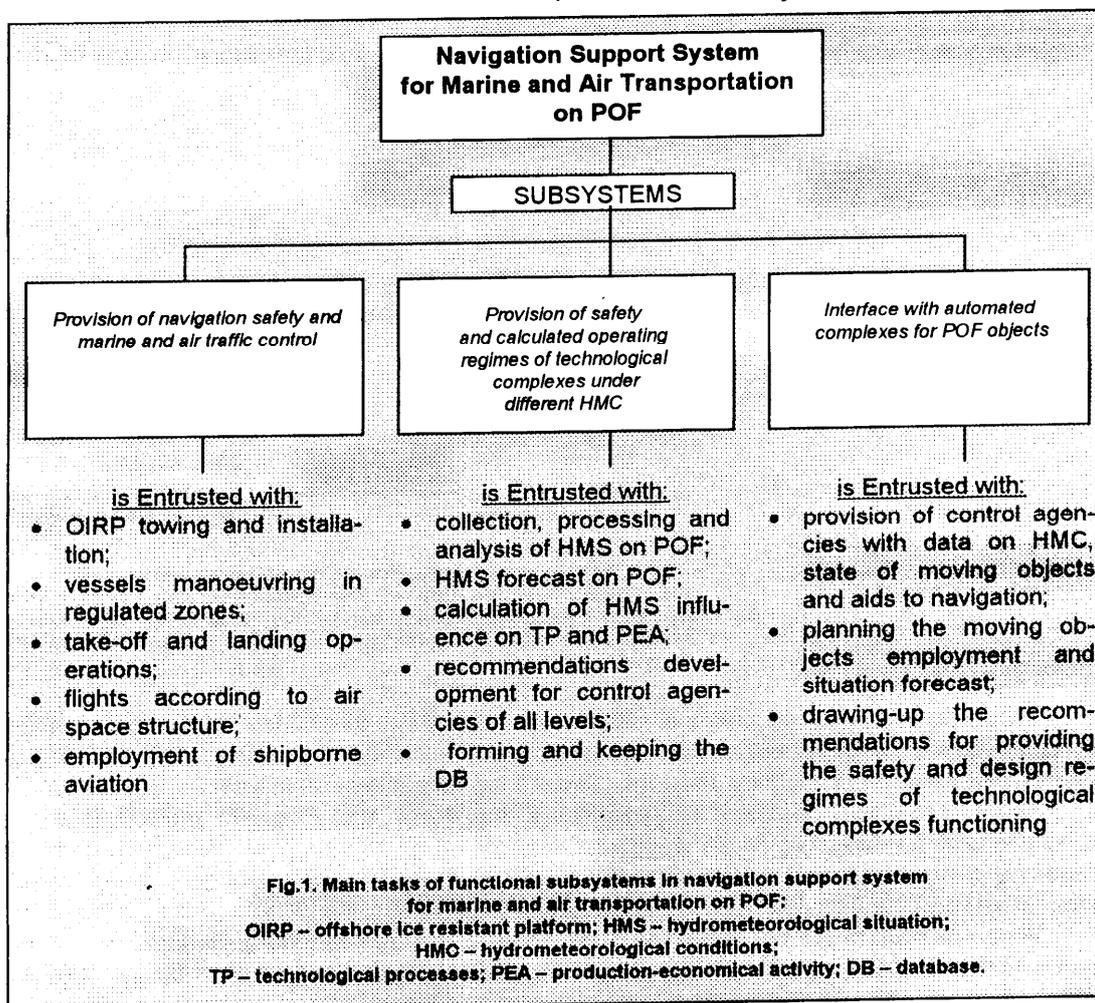
When designing the navigation support system, it was necessary to allow for the following features, determined both by geography of POF region proper and by the field exploitation conditions:

- sitting the basic infrastructure elements in the existing areas of navigation, fishing and operational activity of the Navy and other services ;

- complicated navigation-hydrographical and hydrometeorological conditions - primarily the ice conditions - in the oil fields areas, lack of the domestic and world experience of solving a wide range of navigation support problems under these conditions;
- insufficient exploration of the oil fields areas from the point of view of navigation, hydrography and hydrometeorology concerning the provision of navigation safety and air flight support as well as designing the hydrotechnical objects;
- considerable intensification of the vessel traffic with considerable increase of dangerous cargo transportation;
- the necessity to provide the set boring watches relief regularity and to supply the stationary marine installations by the sea and air routes.

According to the requirements of leading documents and taking the physical and geographical features of POF region into account, the following functional subsystems have been included in the navigation support system (Fig. 1):

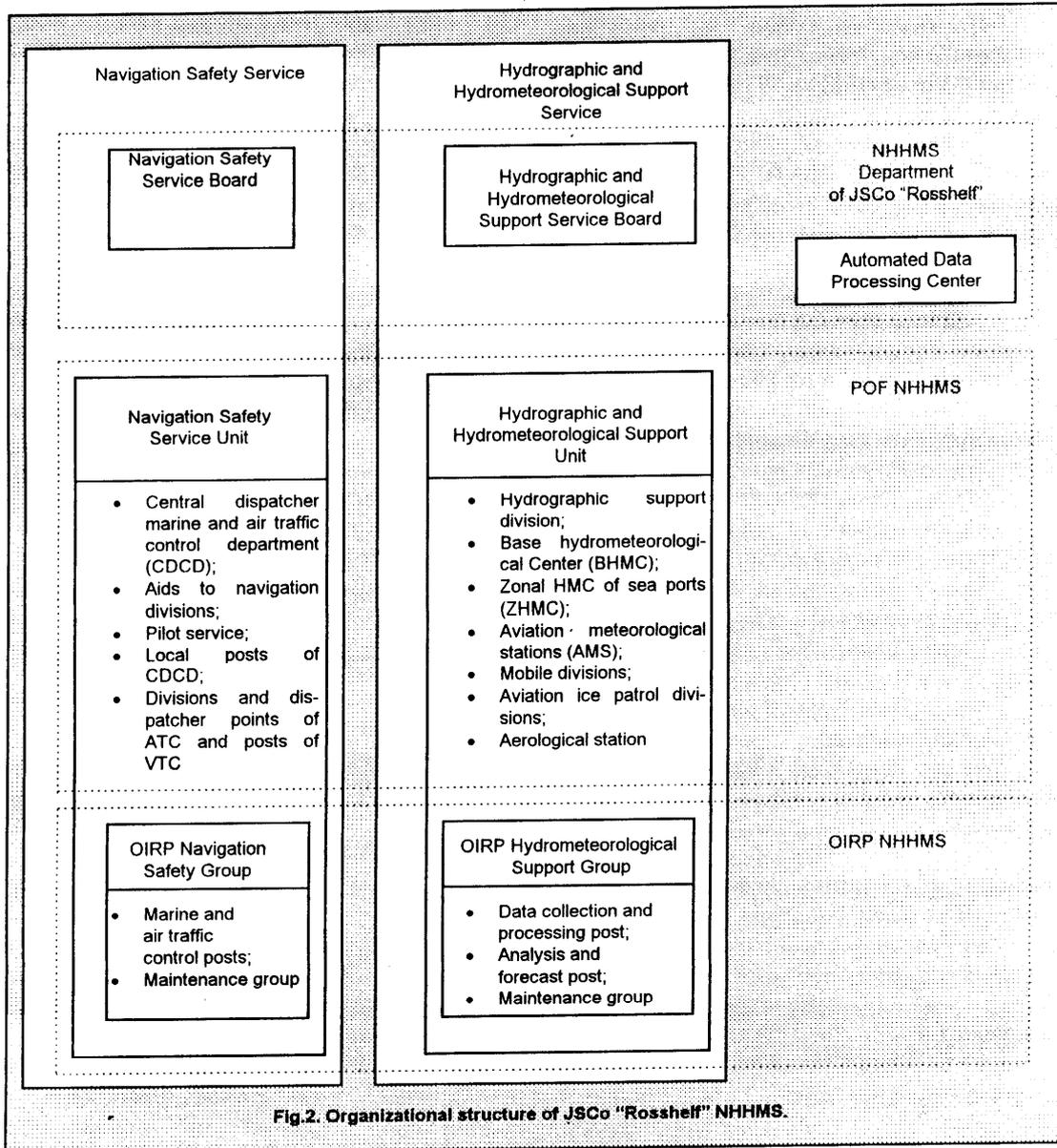
- provision of navigation safety and marine and air traffic control;
- provision of safety and calculated functioning regimes of technological complexes under different hydrometeorological conditions;
- interface with the automated control complexes of POF objects.



It is expedient to entrust the task of solving the marine and air navigation support problems to specially established Navigation-Hydrographic and Hydrometeorologic Support Service (NHHMS) of JSCo "Rosshelf". At the first phase hydrocarbon field development on

the Russian Arctic shelf development this Service will provide the processes of POF development and exploitation.

Later on - as the scope of work on the Shtokmanovsky field and in other regions increases - it must expand its sphere of activity and support the marine engineering-hydrographic and engineering-hydrometeorological investigations as well as the processes of designing, development and exploitation of new objects. Recommended organizational structure of JSCo "Rosshelf" Service is shown in Fig. 2.



Inclusion of the special organizational structure, responsible for hydrometeorological support in NHHMS at first sight might seem debatable. Really, hydrometeorological support of economy and national defense is entrusted to Roshydromet. However, it is necessary to distinguish the difference between general and specialized hydrometeorological support. The former consists in organizing the regular collection and circular distribution of standard

hydrometeorological data among the users. This is carried out at the expense of national budget.

The specialized support consists in organization of regular collection and distribution among separate users of special hydrometeorological information (analysis and forecast data for concrete regions taking into account the additional requirements for spatial-temporal resolution, etc.) in the interests of ensuring the individual user's concrete production activity. The specialized support is carried out by Roshydromet at the expense of corresponding departments or firms.

The experience shows that specialized HMS may justify the expenditures for its organization only in the case when it is supplemented by the department services which also carry out the estimation of hydrometeorological situation and work out the recommendations for control agencies.

In the course of optimizing the feasibility study for POF it was shown, that the establishment of specialized NHHMS of "Rosshelf" is the most effective solution that will reduce the damage to POF activity for the period of 10 years (the damage includes the direct environment influence and expenditures on creation and maintenance of specialized HMS) by \$120-170 million [1].

In the course of designing the navigation support system for marine and air transportation some special normative documents were worked out. They determine its organization and also the composition and technical characteristics of the navigation and hydrometeorological equipment's for POF objects. The main documents are:

- Regulations of the vessel traffic control system (VTCS) in the offshore ice resistant platform (OIRP) and dispatch terminal (DT) zone of POF;
- obligatory decrees concerning the OIRP and DT zone of POF;
- Regulations of POF hydrometeorological support organization;
- specifications for warning and navigation aids (WNA) of marine stationary platforms;
- general specifications for hydrometeorological aids of POF objects. The documents that determine the general specifications for WNA and hydrometeorological equipment are subject to approval by:
  - Head Department of Navigation and Oceanography (HDNO) of the Ministry of Defense of the Russian Federation;
  - Interstate Aviation Committee;
  - Roshydromet.

In the course of future work on the Russian continental shelf deposits, the above documents will form the normative base for designing and increasing the marine and air transportations navigation support system.

In the POF NHHMS system technical project the basic initial data on a number of parameters given in the so-called "GRAY BOOK" were analyzed. The obtained results permitted to draw some important conclusions:

- a) For carrying out the work of towing and installation of OIRP, DT and laying the pipeline between OIRP and DT it is necessary to conduct the bottom relief and ground survey, as well as the engineering - hydrometeorological investigations according to requirements of [2].
- b) Expected the actual extreme wind wave characteristics differ considerable from those give? in the "GRAY BOOK". For example, for confidence interval 95% wave heights of 0.1% ensuring, possible once in 100 years, lie within 9.6 - 10.2 m at OIRP position point and 10.5-11.1 m at DT position point.

To receive these more precise estimates under supervision of ScD Lavrenov 1.V. and ScD Davidan 1.N. (The Arctic and Antarctic Research Institute. AARI) large-scale complex investigations were carried out in the framework of technical project based on the vessels'

---

\* Arrangement of Priraziomnoye oil field. Fundamentals of Structure Design. Document NPZ-000-001. BHP Ltd. JSCo "Giprospeptsgas", JSCo "Rosshelf" ("GRAY BOOK"). - 1994.

observations data and on numerical simulation of the wind waves for a long historical period\*.

c) Extreme characteristics of the current velocity field, including near-bottom currents, in the OIRP installation area, and those of turbulent diffusion are to be verified.

This is due to the fact that in the "GRAY BOOK" the data of mechanical type current meters (MGI-1308, RCM-7, ATSITT) were used. At the same time, the international intercalibration experiments in shoal water conditions (CMICE-76, SCOR UNESCO 1969, 1974, 1975) registered divergences in the readings of mechanical type units on the surface buoys and of more modern units which can be as high as 100-250%. The international expert groups classified the above divergences as errors of mechanical flow velocity meters under the condition of wave motion and oscillations of the surface buoys.

d) The initial data on POF meteorological regime owing to insufficiency or absence of some characteristics (visibility, height of cloud base, repeatability of dangerous weather phenomena, etc.) do not permit to carry out the categorization of airfields for aviation basing, including the helicopter landing platforms on OIRP and DT based on the requirements to flight regulatory. It is necessary to produce the climatic description of the POF region, using it as a basis to take a decision on the airfields category for aviation that carries out the transport servicing of the work on POF and then determine, according to the normative documents requirements, the composition of the technical aids for air navigation [3,4,5].

For the given item of technical designing, based on the preliminary parameters of the aviation climatic description and possible scenario of aircraft employment on the POF, for helicopter landing platforms the following were recommended:

- on OIRP and in s. Varanday - I-II category of ICAO standards,
- on DT - II category of ICAO standards.

Tab. 1 shows the height of cloud base ( $H_{CB}$ ) and visibility range ( $L_{vis}$ ) for which the flights for given airfield categories are permitted.

**Table 1.  $H_{CB}$  and  $L_{vis}$  values for I II airfields category of ICAO standard**

Airfield category	$H_{CB}$ , m	$L_{vis}$ , m
I	≥60	≥800
II	30-60	400-800

Based on the preliminary estimates of the meteorological conditions in the North regions the flights regularity, if the airfields are equipped according to categories shown in Tab.1 will be to 0.5-0.7.

In addition, for category determination of landing platforms on OIRP and DT it is necessary to take into account the composition and functional capabilities of navigation-landing equipment of helicopters which are planned to be used at POF.

Now we shall set forth the main results of designing the functional subsystems of the navigation support system for marine and air transportation (see Fig. 1).

**Subsystem of providing the navigation safety and marine and air traffic control.**

The subsystem includes:

- the WNA system of the offshore production complex structures,
- the vessel traffic control system (VTCS);
- the air traffic control system (ATCS).

The WNA system represents an integrated complex of lighted, radio technical and sound signalling aids having a great safety margin.

The primary operational regime of WNA system is automatic, which permits this complex to be used both at OIRP and at unmanned DT.

The main WNA system aids include:

\* See article of I.V. Lavrenov et al., published below.

- two white long-range flashing lights of PSO type, each consisting of a primary and reserve lights, made up as a single unit;
- four red flashing obstacle lights of PGS type, consisting of a primary and reserve lights, made up as a single unit;
- two primary and two reserve sound signalling units of LIEX-710/23 and LIEX-710/051 types respectively;
- two radar transponder beacons of UKT-10104 type;
- four or more illuminated identification boards.

There are also reserve aids that switch on automatically when the primary aids be in-operative or when power is lost, as well as emergency aids which include a self-contained portable light-sound signalling unit of APU type. Vessel traffic control system is intended to prevent the accidents at sea under complicated conditions of navigation. Its technical basis comprises radars, aids for identification, radio communication, processing and display the radar data.

Two versions of vessel traffic separation scheme in POF are have been developed: for OIRP and for offshore production complex consisting of OIRP and DT. In both schemes a 500-meter safety zone and manoeuvring zone are established near each objects. The traffic in these zones is carried under the directions of a dispatcher. The approach routes with separate traffic lanes and anchorages have been provided for. The total zone regulated by VTCS is a 10-mile water area around each object of the offshore production complex.

The VTCS includes:

- vessel traffic control post (a pilot) and a vessel traffic control post(dispatcher and hydrologist) on OIRP; \* remotely controlled radar post on DT:
- three radars on OIRP:
- two radars on DT.

In VTCS the navigation radars of the types "Yenisei" (10 cm), "Nayada-5M" (3.2 cm) and "Baltica" (0.8 cm) are used. The employment of 10 cm band is determined by the requirements to the helicopters flight safety, 3.2 cm range - by IMO\* requirements to the shipping navigation safety. The 0.8 cm band provides a higher resolution, small "shadow zone" and gives the data on ice conditions.

Radar data from all five radars are processed jointly. The mutual redundancy is provided. VTCS software is based on the employment of digital electronic charts.

An analogue of VTCS developed by the Russian firms and proposed to be used on POF is analogised experimental on one of the Norwegian oil production platform.

The air traffic control system must support the operations of aviation having a mixed (fixed-wing aircraft and helicopters) composition (8-14 units) which provides the POF development and exploitation.

A version of ATCS structure has been proposed which consists of the basic air traffic control point in Archangelsk, airfield control points in Narjan-Mar, Amderma and Rogachevo, auxiliary control point in Varanday, helicopter command station on OIRP, as well as the air control stations on the support vessels.

The radiotechnical equipment of OIRP corresponding to the 1-st category of airfield by ICAO standards include:

- R-633 type homing radio station;
- "Yenisei" type navigation radar;
- "Strela-P" or "Gvosdika" type automatic radiodirection finder;
- "Resistor K-42" or "Prisma-V" type landing radar (reduced set);
- "Briz-A" type satellite landing and tracking station (GLONASS-NAVSTAR).

In additional to the radiotechnical equipment the standard lighting and signalling aids according to aviation requirements [6] are mounted on OIRP and DT.

---

\* Sea article of V.I. Peresyarkin, published below.

***The subsystem of support safety and calculated operating regimes of technological complexes under different hydrometeorological conditions.*** The system includes (see Fig. 1) the following complexes of technical aids:

- hydrometeorological equipment on OIRP;
- hydrometeorological equipment on DT;
- aids for observing the hydrometeorological situation in POF,
- BHMC equipment in Arkhangelsk;
- ZHMC equipment in Narjan-Mar;
- AMSG equipment in Varanday and Rogachevo;
- equipment of mobile hydrometeorological units.

A highly important place in NHHMS structure (see Fig.2) is taken up by the Center of Automated Data Processing (CADP). The Basic and Zonal Hydrometeorological Centers, as well as the other divisions are considered as subscriber points of CADP. The latter provides the operation of the specialized HMS using the information resources of Roshydromet, HDNO, the hydrographic divisions of the Ministry of Transport as a basis. It is planned to carry out the information interaction of CADP with above sources by means of line communication and satellite communication channels, including Internet channels.

It is evident to entrust the preparation of specialized ice forecasts to the Center of Ice Information and specialized support of AARI.

The main characteristics of ice forecasts for POF construction and exploitation phases are shown in Tab. 2.

The numerical data of the medium resolution optical band space-based equipment will be received by the Center of Space Monitoring of Space Research Institute (SRI - The Russian Academy of Science) and after processing it will be distributed by Internet channels among the users, including CADP and AARI.

The high resolution data in the optical band will be distributed by the SRI Center after the Research-industrial Association "Planeta" of Roshydromet has been connected to Internet. In future RADARSAT and ERS radar survey data will be distributed using the similar scheme (after receiving station deployment in Russia).

The composition of the main hydrometeorological equipment on different POF objects, as well as the corresponding hardware-software for automated data collection and data processing is shown in Fig. 3.

As the basic version of OIRP equipment the hydrometeorological support system of the aircraft carrier "Admiral Kuznetsov" was chosen. It provides the required safety level for the aircraft employment in the Barents Sea and includes:

- KRAMS-4 type ship meteorological station with a set of meteorological parameters (temperature, humidity, atmospheric pressure, height of cloud base, visibility, air flow parameters) meters;
- "Predmetnik-1" type automated data collection and processing system with a set of hydrological parameters meters;
- AWP METEOYACHEIKA type meteorological equipment of ship's radar;
- AWP METEOSPUTNIK type equipment for reception and processing of satellite hydrometeorological data,

as well as the necessary aids for analysis and forecast of hydrometeorological situation both for basing point and operational area.

Block type modular design of the technical aids complex for hydrometeorological OIRP equipment permits to form on its base the necessary outfit for DT, ZHMC, AMS, tankers and support vessels which use the standard aids for automated techniques of data collection and processing LASSO/GIS-METEO, the message switching center (MSC) ME-TEOTELEX, automated working stations (AWS) METEOFAX and METEOKONSULTANT.

To provide the instrumental ice survey on POF the NHHMS Service of "Rosshelf" Company can use, on a lease basis, the aircraft IL-76 MD equipped with:

- high resolution IK-VR radar system;
- high resolution multispectral system for survey in the visible and infrared bands:

- automated system of data processing and electronic charting;
- set of "Dreyf-M" type self-contained buoy drifting stations.

**Table 2. Basic characteristics of Ice forecasts for POF construction and exploitation phases**

Forecast type	Presentation date	Action period	Samplicity	Characteristics forecasted, presentation form
Construction phase				
1. Long-term forecast of the periods of region cleaning and ice-free duration	May 5th, June 5th	1-6 months		Region cleaning (from ice) data, iceless period duration(in days). The table.
2. Long-term forecast of ice distribution	May 5th, June 5th, July 5th	1-3 months	10 days	Ice-edge position, ice field compactness distribution, possible icebreaker and non icebreaker navigation dates, shipping optimal route, icebreakers support force. Charts and the text.
3. Long-term forecast of freezing-over periods and reaching 10-15 cm ice thickness	September 5th, October 5th	1-3 months		Steady freezing-over beginning dates, 10-15 cm ice thickness reaching, non icebreaker navigation finishing. Charts and the text.
4. Middle-term forecast of ice-cover distribution	June 15th, August 15th	1-7 days	1 day	Ice-edge position, ice fields compactness distribution, zones of nipping and opening, optimal route variant, OIRP lowering period. Charts and the text.
5. Short-term forecast of dangerous ice phenomena	June-August, October-November, daily	1-3 days	1-24 h	Ice removal from contiguous areas, maximum velocity of ice drifting and ice compactness, newly-formed ice intensive growing. Charts or the text.
Excitation phase				
1. Long-term forecast of ice distribution	Monthly in 5th	1 month	10 days	Ice-edge position, different age and compactness ice fields distribution, tankers' optimal route, time expenditure, icebreakers' force time spending. Charts and the text.
2. Long-term forecast of freezing-over periods and reaching 10-15 cm ice thickness	September 5th, October 5th	1-3 months		Freezing-over dates, 10-15 cm ice thickness reaching, non icebreaker navigation finishing. Charts and the text.
3. Middle-term forecast of ice-cover distribution	Weekly	1-7 days	1 day	Ice-edge position, ice thickness and ice compactness distribution, squeezing and opening Ice zones distribution, tankers' optimal route, time spending. Charts and the text.
4. Short-term forecast of dangerous ice phenomena	Daily, during the year	1-3 days	1-24 h	Maximum ice drift velocities, ice squeeze beginning, ice blocks and heightened thickness ice fields removing, ice blocks fragments emerging, loads beginning, etc. The text. )

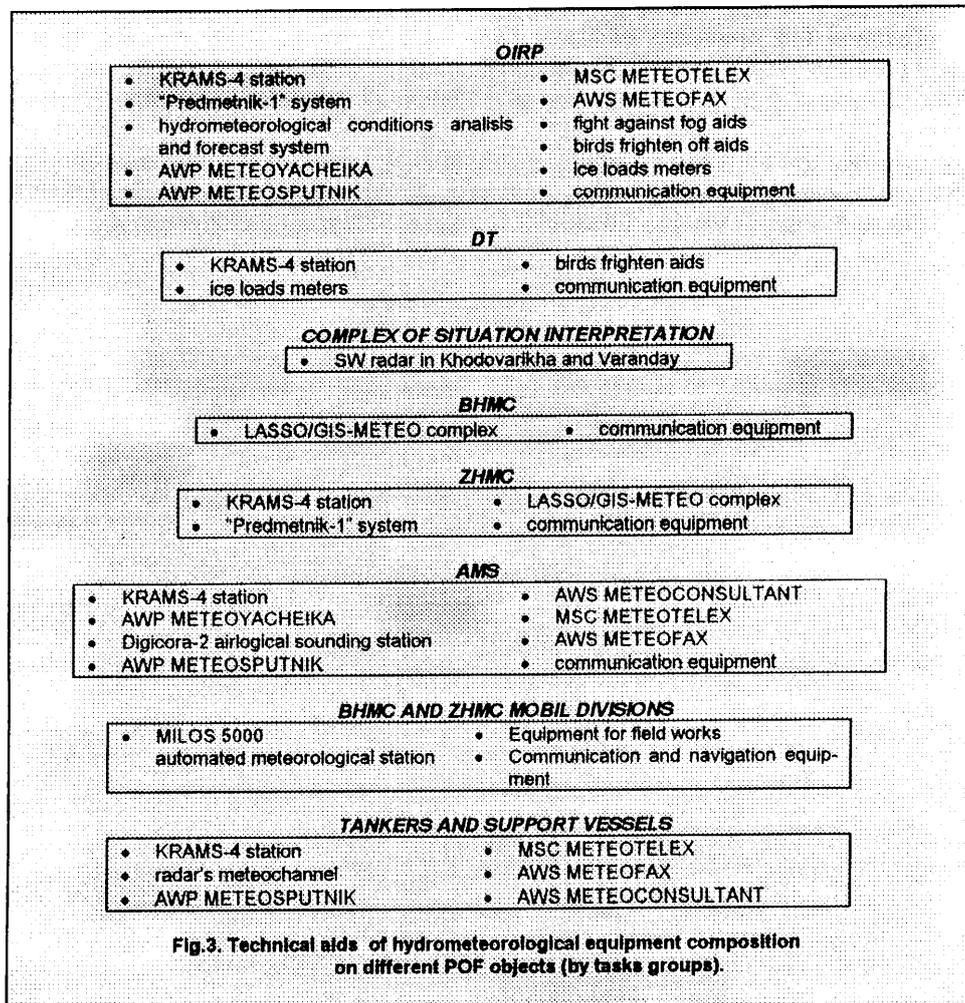
***The subsystem of interface with the automated complexes for the POF objects.***

The subsystem is intended to solve the following tasks groups (see Fig. 1):

- №1. Provision of the POF control agencies of all levels with data on the moving objects state and navigation-hydrographic and hydrometeorological situation;
- №2. Planning the employment of moving objects and situation forecast;

• №3. Development of recommendations intended to provide the safety and calculated operation modes of technological complexes under the forecaster conditions of navigation-hydrographic and hydrometeorological situation.

Provision of the control agencies with data on the real state of moving objects (tasks group № 1) is carried out using the information-dispatcher system aids of POF as a basis.\*



In the subsystem the modem technology is used which is based on the MTS software. It operates in the medium of SCO UNIX RELEASE 3.2 operational system version 4.2, using the SCOTCP/IP, SCONFS, FTPPC/TP network aids and SCO XSIGHT graphical package. In addition, MTS provides the creation of E-mail MECOM network centre using the allotted lines or the telephone network for general use.

To receive the data and inform the users within one city BBS system can be used. It is based on the FRONT DOOR software and is installed in a separate computer connected to the local computer network of LASSO/GIS-METEO complex.

For wireless data transmission in remote areas the use of INMARSAT system aids is provided for, including the SAILOR H2095B ship station and TT-3030B mobile satellite telephone.

\* The scheme of providing the control agencies with data on the situation is given in the article by S.A. Bobkov, published below.

In the tasks group № 2 the Microsoft Project system of network planning is recommended to create the transport support system.

The tasks of situation forecast, included in the tasks group № 2, are solved using the statistical, physic-statistical and hydrodynamic prediction schemes as a basis. The models providing the operation of the POF higher control levels, are very complex sets of digital schemes and procedures and require the use of considerable informational and computational resources. It is planned to produce them in AGIC, AARI and, partly, in BHMC. The models providing the operation of lower POF control levels, must operate in subscriber mode and take the local condition into account.

The tasks group № 3 provides the assimilation of the data on situation in the control processes.

To estimate the situation by higher levels of POF control it is recommended to use the ANFAS instrumental program complex from one of the Navy's automated control systems provides the operation in weakly structured subject areas and employment of indistinct initial data.

### REFERENCES

1. Technical-economic optimisation on substantiation of the "Prirazionnoye" oil field development in part of navigation-hydrographical and hydrometeorological support. Gos.NINGI of Russian Federation MoD.- S.Petersburg, 1995.-208 pp.
2. Departmental building standards. Engineering prospecting on the continental shelf.(DBN 51.2-84). - Mingasprom/ Gtavmor-nefte-gas.- M.- 1983.-71 pp.
3. Manual on meteorological support of the Russian civil aviation (NMS CA-95). - Roshydromet, RF Mintrans. - M. - 1995. - 137 pp.
4. Standards of fitness and exploitation of the USSR civil aviation airfields. (NFEA-92). - RF Mintrans. - M. - 1992. - 120 pp.
5. " Aviation rules 139 " (IAC aviation register draft). Airfields classification on composition and characteristics of equipment used -1995
6. General aviation demands to aids for helicopters support on vessels and on elevated over water platforms (OAT GA-90). - Civil aviation Ministry/Gos.NIIGA. - M. - 1990. - 49 pp.

**COMPARISON OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF SOME ARCTIC SEAS**

**S. LOSET**

(Norwegian University of Science and Technology, Norway),

**K.N. SHKHINEK,**

**E.B. MICHALENKO**

(St. Petersburg State Technical University, Russia),

**O.T. GUDMESTAD,**

**P. STRASS**

(Statoil Co, Norway),

**R. FREDERKING**

(Canadian Hydraulics Centre, Canada)

**T.KARNA**

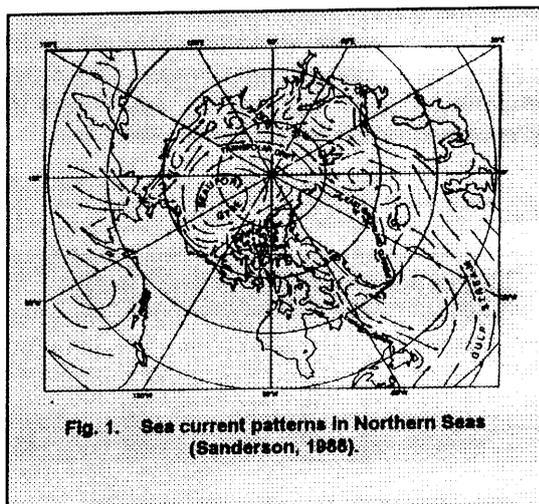
(VTT Building Technology Institute, Finland)

*The Environmental Factors of the Beaufort Sea and Russian Arctic seas: The Barents, Pechora (south-east past of the Barents Sea) and Kara Sea are compared. It is shown that air temperature, wind velocity and waves in regions situated on the same latitude are approximately the same. But Ice conditions of the Beaufort Sea are heavier because of currents peculiarity. Based on this comparison, the conclusion about the possible use of western experience in design, construction, development and operation of Arctic (the Beaufort Sea) offshore structures for similar Russian objects is drawn.*

**1. INTRODUCTION**

At present the deployment of the Russian Arctic hydrocarbon fields is beginning. In connection with this, the experience of planning the construction and operation of offshore structures in the Arctic, gained by western oil companies in look Inlet and the Beaufort Sea, is of great importance. In order to transfer experience from one continent to another, it is useful to compare the environmental conditions of the European Arctic and western Arctic fields (for instance the Beaufort Sea). Presently, the European Arctic fields with the most potential are located in the Barents, Pechora and Kara Seas.

Hydrocarbon deposits in the European Arctic and Beaufort Sea are located north of 70°N latitude, and near shore so it might be assumed that environmental conditions are similar. cursory observations, however, show that ice conditions in the European and Canadian regions of the Polar Ocean differ significantly. This difference is mainly caused by the influx of warm water from the Norwegian Atlantic current which even in winter causes an open ice edge in the southern part of the Western Barents Sea. Furthermore, Novaya Zemlya shields the nearshore Russian Arctic from swell entering the Barents Sea from the east. In contrast, the Beaufort Gyre, which transports Polar Basin ice into the southern Beaufort Sea, is responsible for more severe ice conditions in Canadian regions (Fig. 1).



The present paper gives a general description of the physical environment in the Beaufort, Kara, Pechora and Barents Seas. The physical environment can vary significantly even within one sea (for instance, the Kara and Pechora Seas can be divided into 6-7 zones with approximately homogeneous conditions according to [1,2]. Nevertheless

we find such a comparison useful for applying western experience to the development of the Russian arctic offshore.

## 2. WIND

**Beaufort Sea.** The strongest winds blow from the north west (NW) but the prevailing direction (in summer) is from the east. The 20 year return periods for the wind speed and gust are 27 m/s and 34 m/s correspondingly [3]. According to the Atlas of Oceans [4], gusts can equal 40 m/s in the western part of the sea and 42 m/s in the central part.

**Kara Sea.** In winter, south west (SW) and south east (SE) wind directions prevail. Winds from the north dominate in summer. According to the Russian territory division [5], this region belongs to zone 7 with wind 10 minute speed onshore in winter up to 37 m/s. The maximum registered wind gust is 40 m/s.

**Pechora Sea.** The prevailing wind direction is highly dependent on the season. In winter, the SW direction dominates. In summer, the winds are moderate and unstable with the northern or NW direction prevailing. According to the Russian territory division [5], this region falls under zone 7 where the 10 minute speed in winter is up to 37 m/s. The 50 year wind gust is 41 m/s [6].

**Barents Sea.** The average wind speed in the northern part of the sea is 8.5-9.0 m/s. The highest speed appears around Bjornoya and decreases towards the east and north. Extreme values exceeding 36 m/s are observed in the same place. In the central part of the sea, the most probable average speed is 6.0-10.0 m/s and the 50 year return period gust speed is 40 m/s [6].

## 3. AIR TEMPERATURE

The monthly average ( $T_{mean}$ ) and extreme minimum temperature ( $T_{min}$ ) for several seas are shown in Table 1 [4, 6, 7]. Excluding January, the Beaufort Sea has the lowest air temperature of the compared seas. The air temperature of the Barents Sea is substantially milder than in the three other seas. The winter temperatures are compared, and the mean temperature of January is lowest in the Kara Sea, and so is the extreme minimum air temperature ( $-50^{\circ}\text{C}$  in the Kara Sea). However, in February the mean air temperature is lowest in the Beaufort Sea ( $-25^{\circ}\text{C}$  to  $-27^{\circ}\text{C}$ ). The extreme minimum air temperature is approximately the same for the Beaufort, Kara and Pechora Seas.

In March again, the mean air temperature of the Beaufort Sea is lowest, about  $1.5-2^{\circ}\text{C}$  below the Kara Sea temperature and as much as  $5^{\circ}\text{C}$  below the Pechora Sea temperature. The extreme low air temperature for all these seas is approximately the same, about  $-46^{\circ}\text{C}$ . In April, the mean air temperature of the Beaufort Sea is about  $5^{\circ}\text{C}$  below the Kara Sea temperature and about  $7^{\circ}\text{C}$  below the Pechora Sea temperature. The extreme air temperature is about the same,  $-38^{\circ}\text{C}$ .

Table 1. Monthly mean air temperature and extreme minimum temperature,  $^{\circ}\text{C}$

Sea	January		February		March		April	
	$T_{mean}$	$T_{min}$	$T_{mean}$	$T_{min}$	$T_{mean}$	$T_{min}$	$T_{mean}$	$T_{min}$
Beaufort	-(14-16)	-44	-(25-27)	-(48-52)	-(21-24)	-(44-48)	-(16-18)	-(38-40)
Pechora:								
- Eastern	-17.5	-48	-18.3	-48	-17	-46	-9.8	-37
- Western	-10.6	-40	-12.6	-40	-11.6	-42	-6.7	-32
Kara	-18.3	-50	-20.1	-50	-20.7	-48	-12.4	-38
Barents:								
- Centra 1	-5.0	-24	-7	-25	-6	-24	-3	-22
- Northern, Hopen	-13	-23	-13	-22	-12.5	-22	-12.5	-21

## 4. WAVES

The wave regime in the northern seas, especially in the Beaufort and Kara Seas, is determined mainly by the ice cover, which limits the wind fetch. Nevertheless, wave parameters can be great. According to [3], extreme significant wave heights at a water

depth of 45m in the Beaufort Sea, corresponding to a 20 year storm, is 6.3 m. Corresponding wave parameters (for the same input data) determined according to [8] method for Pechora and Kara Seas, are 6.2 m and 5.7 m, respectively. Wave height does not vary much between different areas. Similarly, wave length is in the range 150-180 m in all areas

## 5. CURRENT

Currents differ significantly between areas, and are responsible for different ice conditions and climate.

**Beaufort Sea.** The Beaufort Gyre induces ice circulation in the Beaufort Sea, advecting cold multi-year ice from the north to southern coastal areas. The mean speed of the Beaufort Gyre is 0.02 to 0.03 m/s, but can reach speeds of 0.05 to 0.1 m/s at its southern edge. The maximum tidal component of velocity is 0.05 m/s. Surface currents are very much affected by wind and can attain speeds of 0.5 m/s.

**Kara Sea.** In the Kara Sea there exist three major currents: Novaya Zemlya, Yamal and Ob-Yenisei. They cause a constant flow phenomenon in the sea. The average speed of these currents at the water surface is about 0.02-0.05 m/s [4]. The maximum current speeds can be induced by wind drift and tide/ebb action. Total velocity can reach 1.8-2.0 m/s.

**Pechora Sea.** A constant motion of water is mostly induced by Kanin, Kolguev and Litke (through the Kara Gates) currents. According to [4], the speed of this motion is about 0.02-0.05 m/s. Significantly higher speeds are induced by the drift and tide/ebb action. The 100 year return period drift speed is 0.60-0.65 m/s [10] and the drift plus tide/ebb speed is 1.0 m/s [11].

**Barents Sea.** The water masses of the north-western part of the Barents Sea consist mainly of Norwegian coastal water, relatively warm Atlantic water and cold Arctic water (Fig. 2) [11]. The Norwegian Atlantic and Norwegian coastal currents enter the Barents Sea from the south and SW. Surface current speeds of 0.75-0.80 m/s are measured in the zone between the coastal current and the Norwegian Atlantic current at TrornsLuflandet. Off Finnmark, the Norwegian Atlantic current splits into several branches. The main one is the West-Spitsbergen current which heads north to the west of Bjornoya and further along the west coast of Spitsbergen. The

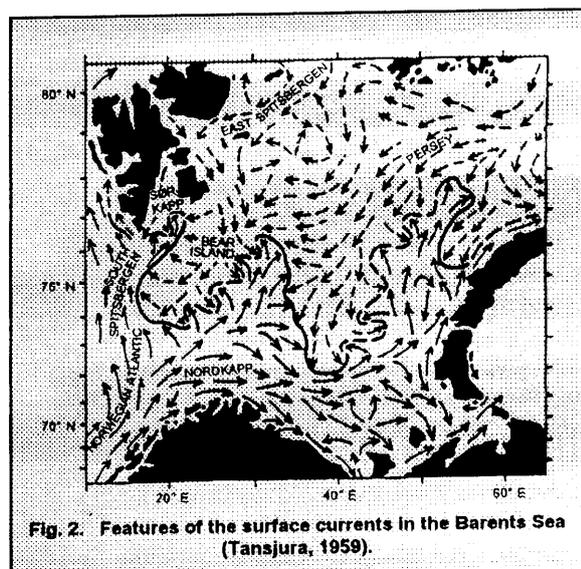
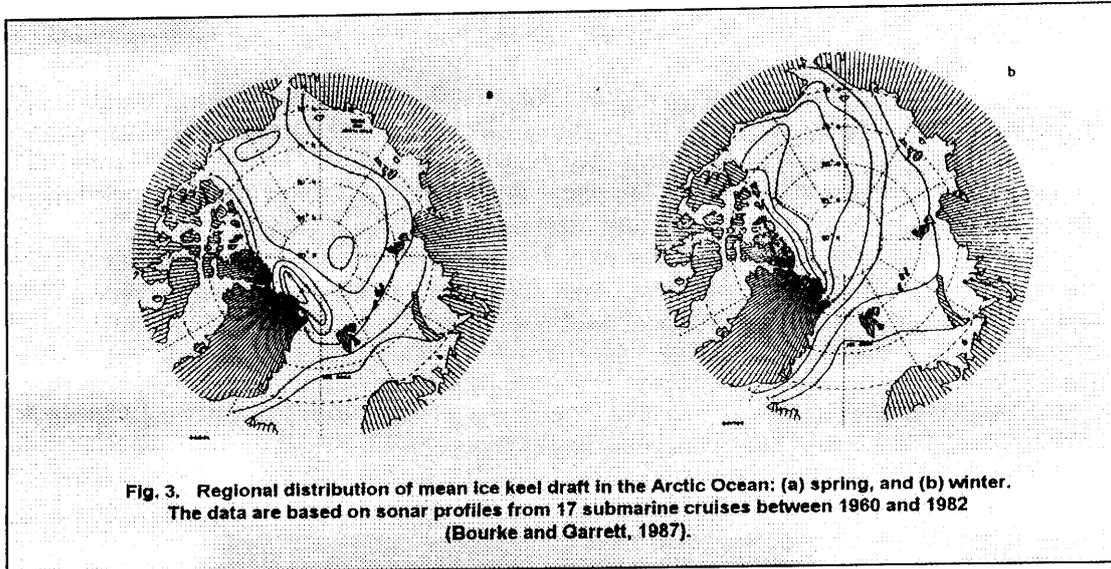


Fig. 2. Features of the surface currents in the Barents Sea (Tansjura, 1959).

West-Spitsbergen current mixes with Arctic water from the South Cape current at the mouth of Storfjorden. The strongest current in the Barents Sea is the East-Spitsbergen current. This current comes from the NE and passes Hopen and continues along the shoal of Spitsbergenbanken before it passes south of Bjornoya and joins the northbound West-Spitsbergen current (Fig. 2). In the central part of the sea, the water circulation is influenced by the Murmansk, Kanin and Kolguev currents [11,12,13]. The average speed of these currents varies in the limits 0.05 -0.5 m/s. The 100 year return period drift speed is 0.80 m/s and the tide/ebb current 0.1-0.2 m/s in the open sea and 0.3-0.4 m/s near the western coast [9,11,12,14].

## 6. ICE CONDITIONS

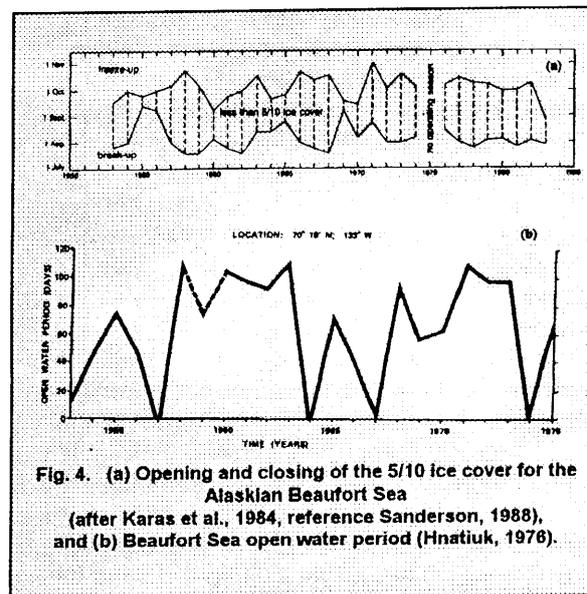
As it was shown in Sections 2-5, air temperatures, wind speeds and wave parameters are comparable, especially in the Beaufort and Kara Seas, but the ice conditions differ significantly in these seas. This can be seen from Fig. 3 [15] where the mean ice draft during spring (Fig. 3a) and winter (Fig. 3b) is depicted. The main reason of this phenomenon is the current pattern shown in Figs. 1 and 2.



### 6.1 The ice cover

**Beaufort Sea.** In a mild year, the Beaufort Sea freezes up in mid-October and the ice clearing takes place in early July. In a severe year, the sea freezes up by October 1 and the clearing occurs during mid-August. The partly clean season may vary from 5 to 19 weeks based on 2/10 ice coverage [3]. During the middle of winter, the sea is generally 10/10 ice covered and during the entire period between November 1 and May 15, the ice coverage consistently exceeds 5/10. Records of the duration of the summer operation season for the Alaskan Beaufort Sea is shown in Fig. 4a [16] and for point with co-ordinates 70°10'N, 133°W in Fig. 4b [3]. The mean length of the season that is possible' for navigation and characterised by an ice coverage of 5/10 or less, is 57 days with a standard deviation of 24 days. An average year, the ice cover completely breaks up by mid-July giving open water period of 90 days [17].

In winter, three zones of ice cover exist: land fast zone, drift (pack) ice zone, and transition zone. By early November a thin ice cover usually extends over the whole area. This ice is easily moved and broken by storms. By mid-November fast ice extends as far as to about 6 m water depth. In January, the fast ice sheet extends to a water depth of 20 m



and remains at this position during the winter [17]. It has been observed that the land fast ice moves no more than 1-5 m during the season, but at the 20 m bathymetric line relatively large episodic movement can occur. Sometimes ice can move in this part as fast as 10-50 m/h [16].

First-year ridges are formed during the early winter before the sea ice becomes land fast. Measurements have shown that the upper limit for keel depth is  $16/7^{\circ}$  where  $h$  is the level ice thickness in m [17]. Some of the ridges are grounded and form anchor points for the land fast ice [18]. In the transition zone, the ice moves at a rate of several kilometres per day. The drift ice zone consists of first-year and multi-year ice. Due to the ice circulation along the Beaufort Gyre, the share of multi-year ice in the ice cover averages about 20 %.

**Kara Sea.** The ice formation starts in the end of September or beginning of October. The most intensive ice growth takes place in mid-October. Fast ice begins to break up in the beginning or end of June. The water surface can be ice free in mid-July or mid-August [1,19]. The ice free period can vary from 0 to 130 days [20]. Usually it is covered by ice about 9 months of the year [21]. The sea is very dynamic and ice compression occurs quite often. This compression may hamper ship movement significantly [22]. The frequency of late season complete clearance of the southern regions of the Kara Sea is 10-20 %. The formation of fast ice takes approximately 20 days, and extends to a water depth of 20 m. The ice is extremely hummocked near the external border of the fast ice, with some hummocks grounding.

The drift ice generally consists of first-year ice. Sometimes the occurrence of multiyear ice caused by the south-west current along the eastern coast of the Novaya Zemlya is possible. According to [23,24] the fraction of multi-year ice can be 40 % in May and 20 % in June. These values seem to be high [24]. Probably, these values are overestimates for fields located at the southern part of the sea, near the Yamal Peninsula, but the possibility of multi-year ice existence has to be considered for design.

An ice concentration of 10/10 exists during the winter and beginning of spring [24]. The predominant ice drift is from the south to the north. The maximum ice drift speed is about 0.5 m/s. The drift direction and speed can vary during the short time period depending on the wind direction. It can induce significant ice compression that influences the ice loads and makes navigation difficult. A significant factor for navigation is the 'ice river near the Kara Gate. This ice river consists of relatively small ice pieces. In 1995, a river ice patch of length 200 km and width 15-20 km was observed [25].

**Pechora Sea.** The ice conditions vary significantly from east to west. At the western part of the sea, the ice period lasts on average from mid-November until May and in the southern part it lasts from October till June-July [1,4,20]. The most probable date of ice formation is the last decade of November and for clearance, mid June to mid July [26]. The ice concentration is 9/10 during 5 months in a mild winter and 10/10 during 7 months in a severe winter. An ice concentration less than 5/10 lasts on average for 4 months [27].

The variation in summer ice clearance in the region of the Piraziomnoye field is about 110 days. The most probable ice-free periods last for 115-139 or 160-190 days. On average this period in the Pechora Sea is about 100 days [2]. Four periods of long and four periods of short duration of ice covering have been observed during the last 54 years [20].

The land fast ice zone is relatively narrow and during extreme years it extends 10-15 km offshore to a water depth of 12-15 m. Until the beginning of January, it basically consists of young 'ice 0.1-0.3 m thick [1]. The land fast ice growth continues until February and fracturing starts in April-May in the western part of the sea and at the end of June in the eastern part [4]. In the Piraziomnoye field the fastest ice growth is observed in mid-November, and steady growth follows from mid-December. The ice cover is completely broken up in the second part of June [26]. The land fast ice cover is not stable and fracturing occurs very often during the winter, causing extensive hummocking. In spite of the Pechora Sea being a part of the Barents Sea where multi-year ice may appear, ice here as a rule is of local origin. Multi-year ice incursion to this region from the Kara Sea is rare.

Intensive hummocking occurs at the external border of the fast ice. Due to winds that

blow from the shore, drift ice moves outwards and great spaces of free-water are formed. Young ice begins to grow on the sea surface at rates as fast as 0.10 m/day. When the wind direction changes, ridging may start and hummocks begin to form from this thin ice. A young ice zone width of more than 200 m is sufficient for hummock formation [20]. The number of hummocks and ridges decrease if we move away from the outer border of the land fast ice.

On the average, the drift ice has dimensions of 500-700 m and an area of 0.2-2 km<sup>2</sup>. Sometimes, near Matveev Island, extremely large ice fields were observed. In particular, three sequential aerial photographic surveys carried out in March-April 1987 showed that the average area of ice floes was 4 km<sup>2</sup> in March and 2 km<sup>2</sup> in April. Sometimes extremely great ice fields are formed during the calving of the fast ice under the action of shore winds. One of these floes with an area of 1135 km<sup>2</sup> was observed in 1982 to the west of Matveev Island [28].

The ice drift speed is determined by wind, current and tide action. The wind induced speed, determined as 0.03-0.04 of the wind speed, can vary in the limits of 0.1-0.9 m/s. The total drift speed (induced bywind, current and tide) can reach 1.1-1.3 m/s [10,29].

**Barents Sea.** The Northern Barents Sea is a part of the seasonal ice zone in the Arctic. Some years the ice melts or withdraws entirely from these waters during summer. Other years, the ice remains in the north-western and north-eastern parts of the Barents Sea. It was estimated from visual observations collected on the Birds Eye flights [30,31] that the Barents Sea ice contained 58 % of multi-year ice, 23 % of thick ice (>1 m) and 18 % of new ice (thickness less than 1 m). However, comprehensive information obtained from a number of surveys during the last two decades shows that multi-year ice seldom appears in the Western Barents Sea [31,32,33]. Thus, the most common type of ice in the Barents Sea is first-year ice. The ice thickness can be up to 1.8m for undeformed first-year ice and 3-5 m for multi-year ice.

The interannual variation of the sea ice extension is very high with a maximum southern extension in March and a minimum extension in September [4]. In the central part of the sea, ice of local origin exists once in 3-4 years and more often drift ice from the northern part of the sea is observed. The most typical ice fields have thickness of 1.0m. The comparison of the ice cover in several seas is shown in Table 2.

**Table 2. Comparison of the ice cover in several seas**

Sea	Beginnin of freeze up		Clearing		Duration of period with icefree navigation (days)
	Severe	Mild	Severe	Mild	
Beaufort	Primo Oct.	Mid Oct.	Mid Sep.	Primo July	0-105
Pechora	End Oct.	End Nov.	Mid July	Mid May	115-190
Kara	Primo Oct.	Mid Nov.	Primo Aug.	Mid June	0-130
Barents:					
- Central <sup>1)</sup>	Mid Nov.	End Jan.	End June	End April	135-255
- Northern <sup>2)</sup>	End Oct.	Mid Dec.	End Aug.	Mid June	60-180

<sup>1)</sup>Latitude: about 74°N (Bjornoya).

<sup>2)</sup>Latitude: about 77°N (Hopen).

## 6.2 Ice features

The following features can be met in the nearshore zone: level ice, rafted ice, ridges and hummocks, grounded hummocks (stamuchas) and icebergs. Level (first year) ice

Level ice thickness increases during the winter season and reaches its maximum in spring or beginning of summer. Monthly level ice thickness for several seas is compared in Table 3.

Table 3. Level ice thickness (m)

Reference	Sea	Month							
		11	12	1	2	3	4	5	6
Sanderson (16)	Beaufort	0.48	0.80	1.10	1.34	1.50	1.65	1.74	1.70
Croasdale [17]	Beaufort	0.30	0.60	0.90	1.20	1.40	1.60	1.70	1.75
Mironov et al. [26] (average)	Pechora: -East	0.40	0.70	1.00	1.20	1.30	1.40	1.45	1.30
	-West	0.40	0.60	0.80	1.00	1.00	1.10	1.10	1.00
Riska [24]	Pechora	0.30	0.50	0.70	0.90	1.10	1.20	1.20	-
	Kara	0.60	0.90	1.20	1.40	1.60	1.70	1.80	-
Vinje [32]	Barents <sup>1)</sup> : - Northern	0.40	0.45	0.55	0.7	0.8	1.0	1.05	1.10

<sup>1)</sup> Latitude: about 77°N (Hopen)

The extreme level ice thickness of these seas are: 1.8-2.1 m in the Beaufort Sea [34], 2 m in the Kara Sea [1,21], 1.6m in the Pechora Sea [1] and 1.8m in the Western Barents Sea [32]. In the spring, when the ice reaches the maximum thickness, the ice cover is generally not homogeneous. In the Kara Sea for instance, it contains equal parts of autumn ice (1.2-1.8 m), winter ice (0.8-1.4 m), late winter ice (0.4-0.8 m) [35]. Table 3 shows that the first-year level ice thickness is approximately the same in the Beaufort and Kara Seas. This is mainly due to an equal air temperature regime. However, other features differ significantly.

#### Rafted ice

The rafted ice thickness in the Beaufort Sea can be about 4-6 m. The rafted ice thickness can reach 7 m [34]. In some places in the North American Arctic it has been reported to reach 9 m [36]. The rafted ice is estimated to be 2.5-3 m thick in the Pechora Sea and 3-3.5 m in the Kara Sea.

#### Ridges

**Beaufort Sea.** The Beaufort Sea contains both first and multi-year ridges. First-year ridges may have sails up to 5m and keels up to 20 m [18], (according [34], the keels may reach 30-35 m). Sometimes they are grounded. In particular, grounded ridges at a water depth of 19m was observed [17]. A multi-year ridge with 14 m keel depth and 6 m sail height were observed. They were fully consolidated and the ice had low salinity. Aerial surveys confirm that multi-year ridges of 20 m thickness are relatively common in the Beaufort Sea [17].

**Kara Sea.** Only first-year ridges have been observed in the south-west region of the Kara Sea. Generally the ridges consist of blocks 0.2-0.6 m thick. The average hummocking is 2-3 balls (approximately 40-60% of ice cover is hummocked). The number of ridges per kilometre is less than 4 in 88 % of the occasions. The average sail height is 2 m and the maximum one is 5 m [37]. The last value was observed in the northern regions. With a keel to sail ratio of 4.5, a keel draught of 18-20 m is possible.

**Pechora Sea.** In this region only first-year ridges have been observed. A great part of the ice surface is covered by ridges. The drift zone hummocking can reach 3-4 balls in February (60-80 % of the sea surface is covered by hummocks) and 5 balls (100%) in April. In the land fast ice zone, the average hummocking is 3-4 balls. Generally, the ridges consist of blocks with thickness 0.3-0.6 m but sometimes parts of fast ice 1.2 m thick can be observed. The blocks length is generally less than 3 m. The average sail height lies in the limits of 0.5-2.5 m and sometimes can reach 4 m [20,37]. The ridge keel draught is on the average up to 3-6 m but can sometimes reach 12-18 m.

**Barents Sea.** The ridging covers in most cases between 30 % and 50 % of the ice fields in the Northern Barents Sea (77°N). The most frequent maximum ridge sail height is about 2 m during the first part of the year [31]. Later on, a maximum sail height of one metre becomes most frequent. The extent of ridging in the central Barents Sea (74°N, Bjornoya) shows no predominant mode.

The Birds Eye observations provide some information on seasonal ridge frequency (Vinje. 1985). Typical values are 1-6 ridges per km during early winter, a highest frequency of about 7 ridges per km during late winter (March, April and May) and about 9 ridges per km during the disintegration period (June-Aug.).

Icebergs

Icebergs are occasionally observed in the Kara Sea. In the Pechora Sea, icebergs are not present. However, the Barents Sea are regularly invaded by icebergs either drifting in from the Franz Josef Land archipelago or descending from the glaciers on the east coast of Svalbard [38]. Icebergs do not occur in the Beaufort Sea. however ice island fragments may occasionally drift into the southern Beaufort Sea. Their maximum thickness is 30 m.

Several multisensor ice data acquisition programmes (I DAP) have been launched in the Barents Sea [32,33,39]. They have gathered data on icebergs and showed a substantial variation both in number and masses over the five-year period 1988-1992. Table 4 shows summarized iceberg data from the aerial stereo photo analysis of I DAP [40].

**Table 4. Summarized iceberg data from the aerial stereo photo analysis of IDAP, 1988-92 (mean values with ± indicating the empirical standard deviation)**

Year	Number	Max. Iceberg sail height (m)	Max. Iceberg length (m)	Total iceberg mass (1000 tonnes)
1988	109	17.8 ± 7.1	101.8 ± 60.3	453.3 ± 738.8
1989	68	17.5 ± 7.2	83.4 ± 39.8	276.7 ± 306.7
1990	89	13.3 ± 6.1	84.9 ± 46.6	196.6 ± 244.3
1991	41	13.2 ± 5.0	83.1 ± 61.9	284.3 ± 516.9
1992	23	10.2 ± 3.8	104.2 ± 48.8	221.2 ± 219.4
1988-92	330	15.4 ± 6.9	92.3 ± 52.9	311.2 ± 512.2

Table 4 shows that 1988 was the most severe year in this period with a total of 17 icebergs with mass greater than 1 million tonnes. The IDAP survey in 1988 sampled some iceberg ice which was tested in laboratory for mechanical properties. The testing showed a mean value for uniaxial compressive strength of 5.4 MPa and a range from 2.3 MPa to 7.3 MPa for 16 tests at -10°C (Spring et al., 1993).

**7. CONCLUSIONS**

The previous sections give a general description of the physical environment in the Beaufort, Kara, Pechora and Barents Seas. Table 5 comprises a summary of the main results.

The most important results are as follows:

- The Pechora Sea has the mildest wind climate of these seas. The magnitude of the wind speed in each of the other three seas is quite similar.
- Excluding January, the Beaufort Sea has the lowest air temperature of the compared seas. The air temperature of the Barents Sea is substantially milder than in the three other seas.
- The wave regime of the Beaufort Sea and the Pechora Sea is approximately the same. The Kara Sea is quite sheltered with consequently lowest waves in contrast to the Western Barents Sea where waves enter from the SW. The Western Barents Sea has the most severe wave climate.
- The most extreme currents appear in the Barents Sea.
- Statistics on icebergs (1988-1992) in the Western Barents Sea, show an average maximum iceberg sail height of 15m, an average length of 92 m, and an average mass of 311000 tonnes. Iceberg ice shows a mean value for uniaxial compressive strength of 5.4 MPa at -10°C.

Table 5. Comparison of several seas conditions

Parameter	Beaufort	Kara	Northern Barents	Central Barents	Pechora
Latitude	70°N	70°N	77°N	74°N	70°N
Max. wind gust, m/s	40-42	40	36	40	41
Min. air temp., °C	-(48-52)	-50	-35	-24	-48
Sign. wave height, m	6.3 <sup>1)</sup>	5.7 <sup>1), 2)</sup>	10.0 <sup>2)</sup>	12.5 <sup>2)</sup>	6.2 <sup>1) 2)</sup>
Currents velocity, m/s	0.5	1.8-2	0.8	0.5	1
Freezing up (average) Clearing (average)	Oct. July-Aug.	Oct-Nov. July-Aug.	End Nov. July	Dec. May	Nov. (Oct.) <sup>3)</sup> June 110
Avg. open water, days	90	0-130	190		
Multi-year ice, %	20/80 <sup>4)</sup>	40	-	-	-
Max. level ice thickness, m	2.1	1.8	1.8	1.0	1.3
Rafted ice thickness, m	4.6-6.1	3.6 <sup>5)</sup>	2.0	2.0 <sup>5)</sup>	2.6 <sup>5)</sup>
First-year ridge thickness, m	H+4.6 (H ≤ 18 m) <sup>6)</sup> 31-43 (H>18m)	18-20	-	-	12-18
Multi-year ridge thickness, m	H+3 (H ≤ 18 m) 21-24 (H >18.3m)	-	-	-	-

<sup>1)</sup>At 45 m water depth. <sup>4)</sup>For hydrocarbon fields locations.

<sup>2)</sup>100 year return period. <sup>5)</sup>Twice level ice thickness.

<sup>2)</sup>Eastern part of the Sea. <sup>6)</sup>H - is water depth (m).

<sup>3)</sup>Average/extreme value.

• The ice regime in the Beaufort Sea and some Russian (for instance Kara) seas differs substantially. It is especially important that a great percentage of multi-year ice exists in the Beaufort Sea. The portion of multi-year ice in the Russian seas is significantly less.

Thus, the ice conditions in the Beaufort Sea is more severe and the ice loads used for Beaufort structures design can be considered as a utmost loads for the structures of the eastern seas. Offshore structures had been design or installed in the Beaufor Sea can be considered as prototypes of structures for Russian Arctic seas or in development of their transportation and installation.

## REFERENCES

- Egorov A. and V. Spichkin (1994): Division into Districts of the Russian Arctic Seas on the Base of the Ice Indications Proceedings of the First International Conference on Development of the Russian Arctic Offshore (RAO-93), St. Petersburg, 20-24 September, 1993, pp. 102-106.
- Mironov, E. Uniform Ice Regions of the Barents Sea Ice Regime. Proceedings of the 13th International Symposium on Ice ( IAHR), Beijing, 27-30 Aug. 1996, Vol. 1, pp. 361-368.
- Hnatiuk, J. Results of an Environmental Research Program in the Canadian Beaufort Sea. Offshore Technology Conference, Houston, 1976, OTC 2445, Vol. I, pp. 221-234.
- Gorshkov, S. and V. Faleev, Eds. (1980): Atlas of the Oceans. The Arctic Ocean. USSR Ministry of Defence, 184 p.
- SNIP. Construction Codes and Regulations. Loads and Forces. SNIP 2.01.07-85, M.: Gosstroy of USSR 1987. Appendix: Maps of the USSR territory divisions on the base of climate characteristics, 36 p.
- USSR (1986a): Hydrometeorological Conditions from the Offshore Zone of USSR Seas (in 13 Volumes). Reference Book, Vol. 6, Barents Sea. Vipusk 1, 2. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1986, 253 p.
- USSR (1986b): Hydrometeorological Conditions of the Offshore Zone of USSR Seas (in 13 Volumes). Reference Book, Vol. 7, Kara Sea, Leningrad: Hydrometeoizdat, 1986, 95 p.
- Mischenco S. (1996): Methodology of Wave Parameters Determination. Internal report, St.Petersburg Technical University, 1996, 12 p.
- USSR (1990): Hydrometeorology and Hydrochemistry of the USSR Seas (in 10 Volumes). Vol. 1, Barents Sea. Vipusk 1. Hydrometeorological Conditions. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1990, 280 p.
- Korppoo, S., S. Kobus and P. Salonen (1988): Problems of Using Floating Production Units in Arctic Conditions. Proceedings of the International Conference on Technology for Polar Areas (Polartech), Trondheim, Vol. 2, pp. 507-521.
- Tansjura, A. (1959): Currents in the Barents Sea. Proceedings of PINRO, Vol. 7, pp. 35-53.
- Tansjura A. (1973). Season variation of Currents in the Barents Sea. Proceedings of PINRO, Vol. 34, pp. 108-112.
- Kulakov, M. and V. Pavlov (1976): The Model of Water of the North Ocean Circulation. Proceedings of AARI, Vol. 323, pp. 138-147.
- Mashkov G.G. - editor. (1986): Live and Peligal Existence Conditions. MMBI Acad. Of Science of USSR, 270 p.

15. Bourke, R. and R. Garrett (1987): Sea Ice Thickness Distribution in the Arctic Ocean. *Cold Regions Science and Technology*, Vol. 13, pp. 259-280.
16. Sanderson, T. (1988): Ice Mechanics: Risk to Offshore Structures, 253 p.
17. Croasdale, K. (1977): Ice Engineering for Offshore Petroleum Exploration in Canada. The 4th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), Newfoundland, September 26-30, 1977, pp.1-32.
18. Hnatiuk, J. and K. Brown (1977): Sea Bottom Scouring in the Canadian Beaufort Sea. *Offshore Technology Conference*, Houston, 1977.
19. Judge (1958): The Kara Sea. *Marine Obs.* 28, 182p.
20. Spichkin, V. and A. Egorov (1995): Dangerous Ice Phenomena in the Barents and Kara Seas Offshore. *Proceedings of the Second International Conference on Development of the Russian Arctic Offshore (RAO-95)*, St. Petersburg, 1995.
21. Blanchet, D., S. De Franco, G. Cox, Y. Mironov, V. Smirnov and L. Tsoy (1995a): Yamal Sea Ice Engineering and Field Studies. *Proceedings of the 13-th POAC Conference*, Murmansk, 1995.
22. Blanchet, D., G. Wilkman, N. Golovin and S. De Franco (1995b): Ice Expedition in Kara Sea in 1993. *Proceedings of the Second International Conference on Development of the Russian Arctic Offshore (FIAO-95)*, St. Petersburg, 1995.
23. Anderson, M, R. Grane and R. Barry R (1985): Characteristics of Arctic Ocean Ice Determined from SMMR Data for 1979. *Adv. Space Res.* 1995, pp. 257-261.
24. Riska, K. (1995): Ice Conditions along the North-East Passage in View of Ship Trafficability Studies. *Proceedings of the 5th International and Offshore Polar Engineering Conference (ISOPE)*, The Hague, 1995, Vol. II, pp. 420-427.
25. Kondratjev, K., B. Melentjev B., L. Bobilev, O. Johannessen, S. Sandeven and L. Petersson (1995): Experience of Ice Cover Monitoring with ERS-1. *PCA Imaging Usage. Proceedings of the Second International Conference on Development of the Russian Arctic Offshore (RAO-95)*, St. Petersburg, 1995.
26. Mironov, E., V.A. Spichkin and A. Egorov (1994): Season Variability and Their Variations in the Region of Mastering of the Barents and Kara Seas Offshore. *Proceedings of the First International Conference on Development of the Russian Arctic Offshore (RAO-93)*, St. Petersburg, September 21-24, 1993, pp. 110-121.
27. Zubakin, G. (1987): Variability of the Ice Cover of European Basin. *Leningrad: Hydrometeoisdat*, 160 p.
28. Golovin, N., N. Koptev, O. Maiorov and Khvedynych (1996): Ice Investigations in the Pechora and Kara Seas in Connection with a Shelf Development. *Proc. of the Polar Tech. Conference*, Vol. 4. pp. 38-39.
29. Denisov, V., G. Zubakin and D. Soboleva (1987): Some Results of Currents and Drift Ice Investigation in the south-eastern Part of the Barents Sea. *Proc. ofAARI*, Vol. 410, pp. 105-112.
30. Wittman, W. and J. Schule (1966): Comments on the Mass Budget of Arctic Pack Ice. *Proc. of the Symposium on Arctic Heat Budget and Atmospheric Circulation. Corporation Research Memorandum. RM05233-NSF*, pp. 215-246.
31. Vinje, T. (1985): Physical Environment, Western Barents Sea. Drift, Composition, Morphology and Distribution of Sea Ice Fields in the Barents Sea. In *Norsk Polarinstitutt Skrifter* Nr. 179 C, 26 p.
32. Spring, W., T. Vinje and H. Jensen (1993): Iceberg and Sea Ice Data Obtained in the Annual Expeditions of the Barents Sea Ice Data Acquisition Program (IDAP). *Proceedings of the 12th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, 17-20 August 1993, Hamburg, Vol. 1, pp. 462-472.
33. Loset, S. and T. Carstens (1996): Sea Ice and Icebergs in the Western Barents Sea in 1987. *Cold Regions Science and Technology*, Vol. 24, No. 4. pp. 323-340.
34. API RP 2N (1988): Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Structures in Ice Environments. First Edition, June 1, 1988. *American Petroleum Institute*, Washington, DC 20005, 51 p.
35. Egorov A., V. Spichkin, E. Mironov and A. Turjkov (1995): Estimation of the Average and Maximal Level Ice Thickness in the Barents and Kara Seas. . *Proceedings of the Second International Conference on Development of the Russian Arctic Offshore (RAO-95)*, St. Petersburg, 1995.
36. Wang, A.T., J.P. Poplin and C.E. Heuer (1993): Hydrocarbon Production Concepts for Dynamic Annual Sea Ice Regions. *Proceedings of the First International Conference on Development of the Russian Arctic Offshore (RAO-93)*, St. Petersburg, September 20-24, 1993, pp. 58-82.
37. Romanov, I. (1991): Ice Cover of Arctic Basin, 211p.
38. Loset, S. (1993). Thermal Energy Conservation in Icebergs and Tracking by Temperature. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 98, No. C6, pp. 10001-10012.
39. Loset, S. and T. Carstens (1993): Production of Icebergs and Observed Extreme Drift Speeds in the Barents Sea. The 12th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), Hamburg, 17 - 20 August 1993, Vol. I, pp. 425-438.
40. Lovas, S.M., W. Spring and A. Holm (1993): Stereo Photogrammetric Analysis of Icebergs and Sea Ice from the Barents Sea Ice Data Acquisition Program (IDAP). *Proceedings of the 12th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, 17.-20. August 1993, Hamburg, Vol. 1, pp. 439-449.

ГРНТИ 78.21.43.15

**СРАВНЕНИЕ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НЕКОТОРЫХ МОРЕЙ  
СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА**

**С.ЛОСЕТ**

(Норвежский университет науки и техники, Норвегия),

**К.ШХИНЕК,**

**Е.МИХАЛЕНКО**

(СПб Государственный Технический университет, Россия),

**О.Т.ГУДМЕСТАД,**

**П.СТРАСС**

(Статойл, Норвегия),

**Р.ФРЕДЕРКИНГ**

(Канадский Центр гидравлики, Канада),

**Т.КАРНА**

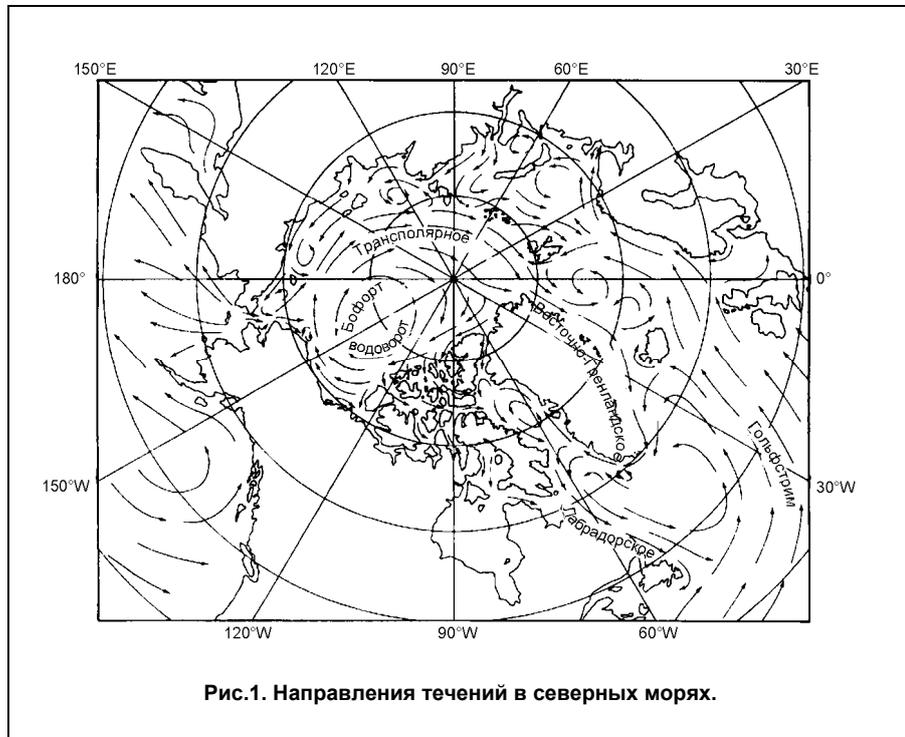
(VTT, Финляндия)

*Производится сопоставление условий окружающей среды моря Бофорта и российских арктических морей: Баренцева, Печорского (юго-восточной части Баренцева моря), Карского. Показано, что по температуре воздуха, скорости ветра и волнению регионы, расположенные на одинаковой широте, близки, однако ледовые условия моря Бофорта значительно более тяжелые., что вызвано особенностями течений в этих морях. На основании сопоставлений делается вывод, что сооружения, спроектированные или установленные на месторождениях углеводородов в море Бофорта, могут рассматриваться в качестве прототипов при проектировании сооружений для шельфа российских арктических морей.*

**1. Введение**

В настоящее время начинаются работы по освоению месторождений углеводородов российских арктических морей. Поэтому большое значение приобретает опыт проектирования,

строительства и эксплуатации шельфовых сооружений в Арктике, полученный западными нефтяными компаниями в заливе Кука и море Бофорта. Для того, чтобы перенести опыт с одного континента на другой, представляется полезным сравнить условия окружающей среды для месторождений российской и западной частей Арктики (например, моря Бофорта). В на-



**Рис.1. Направления течений в северных морях.**

стоящее время наиболее перспективные месторождения европейской части Арктики расположены в Баренцевом, Печорском (юго-восточной части Баренцева моря) и Карском морях.

Залежи нефти в европейской части Арктики и в море Бофорта находятся к северу от 70° с.ш. и в прибрежной зоне. Поэтому можно было бы предположить, что условия окружающей среды там схожи. Однако наблюдения показывают, что ледовые условия в европейском и канадском регионах Северного Ледовитого океана значительно отличаются друг от друга. Это отличие вызвано, главным образом, поступлением теплой воды из Гольфстрима, которое даже зимой создает кромку разреженного льда на юге западной части Баренцева моря. Кроме того, Новая Земля прикрывает прибрежную российскую часть Арктики от зыби, идущей в Баренцево море с востока. В противоположность этому циклоническая циркуляция, которая переносит лед из полярного бассейна в южную часть моря Бофорта, является причиной более суровых ледовых условий в канадских регионах (рис.1).

В данной статье приводится общее описание физических условий в море Бофорта, Карском, Печорском и Баренцевом морях. Физические условия могут сильно различаться даже в пределах одного моря (например, по данным работ [1] и [2], Карское и Печорское моря можно разделить на 6–7 зон с примерно однородными условиями). Тем не менее полезно провести такое сравнение для того, чтобы можно было использовать западный опыт к освоению российской арктической прибрежной зоны.

## 2. Ветер

**Море Бофорта.** Самые сильные ветры дуют с северо-запада (NW), но преобладающее направление (летом) – с востока. Значения скорости ветра в порывах, возможное 1 раз в 20 лет, – 34 м/с [3]. По данным Атласа Океанов [4], скорость ветра в порывах может равняться 40 м/с в западной части моря и 42 м/с – в его центральной части.

**Карское море.** Зимой преобладают юго-западные (SW) и юго-восточные (SE) ветры. Летом – ветры с севера. В соответствии с Российским территориальным делением [5] этот регион относится к зоне 7 со скоростью ветра зимой (при 10-минутном периоде осреднения) до 37 м/с. Максимальная зарегистрированная скорость ветра в порывах – 40 м/с.

**Печорское море.** Преобладающее направление ветра сильно зависит от времени года. Зимой преобладает юго-западный ветер. Летом ветры умеренные и неустойчивые; преобладают северные и северо-западные. В соответствии с Российским территориальным делением [5], этот регион относится к зоне 7, где скорость ветра достигает до 37 м/с. Скорость ветра в порывах за срок наблюдений 50 лет составляет 41 м/с [6].

**Баренцево море.** Максимальная скорость ветра наблюдается вокруг о.Медвежий и уменьшается в восточном и северном направлениях. В этом же районе наблюдаются экстремальные значения силы ветра, превышающие 36 м/с. В центральной части моря наиболее вероятная средняя скорость – 6,0 ±10,0 м/с; скорость ветра в порывах за 50-летний срок наблюдений – 40 м/с [6].

## 3. Температура воздуха

Средняя месячная и экстремальная минимальная температуры для нескольких морей показаны в табл.1 [4, 6, 7]. За исключением января море Бофорта имеет самую низкую температуру воздуха из сравниваемых. Температура воздуха Баренцева моря значительно выше, чем для трех других. Самая низкая средняя (- 18,3°C) и минимальная (-50°C) температуры в январе наблюдаются в Карском море. Однако, начиная с февраля, самым холодным является море Бофорта. В феврале средняя температура в нем на 5–7°C ниже, чем в Карском море и на 7–8°C ниже, чем в восточной части Печорского; в марте эта разница составляет соответственно приблизительно 2 и 11°C, а в апреле 5 и 7°C. Внесите с тем абсолютные минимумы температуры моря Бофорта, Карского и восточной части Печорского морей близки.

Таблица 1

Средняя месячная и экстремальная минимальная температуры, °С

Море или район	Январь		Февраль		Март		Апрель	
	T <sub>ср</sub>	T <sub>мин</sub>						
Бофорта	- (14–16)	-44	-(25–27)	-(48–52)	-(21–24)	-(44–48)	-(16–18)	-(38–40)
Печорское:								
– восточный	-17,5	-48	-18,3	-48	-17,0	-46	-9,8	-37
– западный	-10,6	-40	-12,6	-40	-11,6	-42	-6,7	-32
Карское	-18,3	-50	-20,1	-50	-20,7	-48	-12,4	-38
Баренцево:								
– центральный	-5,0	-24	-7,0	-25	-6,0	-24	-3,0	-22
– северный	-13,0	-23	-13,0	-22	-12,5	-22	-12,5	-21

**4. Волнение**

Волновой режим в северных морях, особенно в море Бофорта и Карском определяется главным образом наличием ледового покрова, который ограничивает разгон волн. Тем не менее, параметры ее могут быть очень большими. По данным работы [3], экстремальная высота значительных волн при глубине воды 45 м в море Бофорта, соответствующая шторму, наблюдаемому раз в 20 лет, составляет 6,3 м. Высоты волн (для тех же исходных данных), определенные по методу СПб ГТУ [9] для Печорского и Карского морей, составляют 6,2 и 5,7 м соответственно. Расчеты для остальных морей показали, что высота волны в разных районах отличается незначительно. Аналогично, длина волны во всех районах лежит в пределах 150–180 м.

**5. Течение**

В рассматриваемых акваториях течения сильно отличаются друг от друга, что обуславливает различные ледовые условия и климат.

**Море Бофорта.** Циклический круговорот создает циркуляцию в море Бофорта, перенося холодный многолетний лед с севера в южные прибрежные районы. Средняя скорость круговорота – 0,02–0,03 м/с, но на его южной кромке она может достигать 0,05–0,1 м/с. На поверхностные течения очень сильно влияет ветер; под его воздействием они могут достигать скорости 0,5 м/с.

**Карское море.** Существуют три основных течения: Новоземельское, Ямальское и Обь-Енисейское, которые создают в море постоянные потоки. Средняя скорость этих течений на поверхности составляет около 0,02–0,05 м/с [4]. Максимальные скорости течения могут быть вызваны ветровым дрейфом и приливными явлениями. Суммарная величина скорости потоков может достигать 1,8–2,0 м/с.

**Печорское море.** Постоянное перемещение воды в основном вызывается Канинским и Колгуевским течениями, а также течением Литке (через прол. Карские Ворота). По данным работы [4], скорость этого перемещения составляет около 0,02–0,05 м/с. Значительно большие скорости вызываются ветровым дрейфом и приливными явлениями. Со 100-летним периодом повторения наблюдается дрейфовая скорость 0,60–0,65 м/с [9], а дрейфовая скорость плюс скорость за счет приливных явлений достигает 1,0 м/с [10].

**Баренцево море.** Водные массы северо-западной части

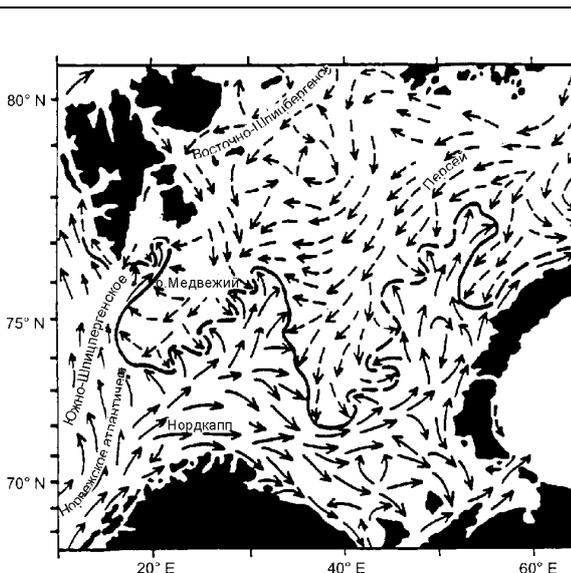


Рис.2. Особенности поверхностных течений в Баренцевом море.

Баренцева моря, в основном, состоят из прибрежных вод Норвегии, относительно теплой воды Атлантики и холодной воды Арктики (рис.2, [11]). Норвежское атлантическое и норвежские прибрежные течения входят в Баренцево море с юга и юго-запада. Скорости поверхностных течений 0,75–0,80 м/с замерены в зоне между прибрежным течением и Норвежским атлантическим течением в Тромсофлакет. Далее Норвежское атлантическое течение разделяется на несколько ветвей. Главная из них – Западно-Шпицбергенское течение, которое идет на север к западу от о.Медвежий и далее вдоль западного побережья Шпицбергена. Западно-Шпицбергенское течение смешивается с водами Арктики от течения Сауф-Карр в устье Сторфьорден. Самое мощное течение в Баренцевом море – это Восточно-Шпицбергенское течение. Это течение приходит с северо-востока, проходит Хопен и далее идет вдоль отмели Шпицбергенбанкен, после чего проходит к югу от о.Медвежий и соединяется с идущим на север Западно-Шпицбергенским течением (см.рис.2). В центральной части моря на циркуляцию воды влияют Мурманское, Канинское и Колгуевское течения [11, 12, 13,]. Средняя скорость этих течений лежит в пределах 0,05–0,5 м/с. Со 100-летним периодом повторяемости наблюдается дрейфовая скорость приливного течения –0,1–0,2 м/с в открытом море и 0,3–0,4 м/с вблизи западного побережья [9, 11, 12, 14].

### 6. Ледовые условия

Как показано в предыдущих разделах, температуры воздуха, скорости ветра и параметры волнения в рассматриваемых акваториях сравнимы, особенно в случае моря Бофорта и Карского моря. Но ледовые условия в этих морях сильно отличаются друг от друга. Это хорошо можно видеть на рис.3, [15], где показано региональное распределение средних толщин льда весной (см.рис.3 а) и зимой (см.рис.3 б). Основная причина этого явления –направления течений, показанные на рис.1 и 2.

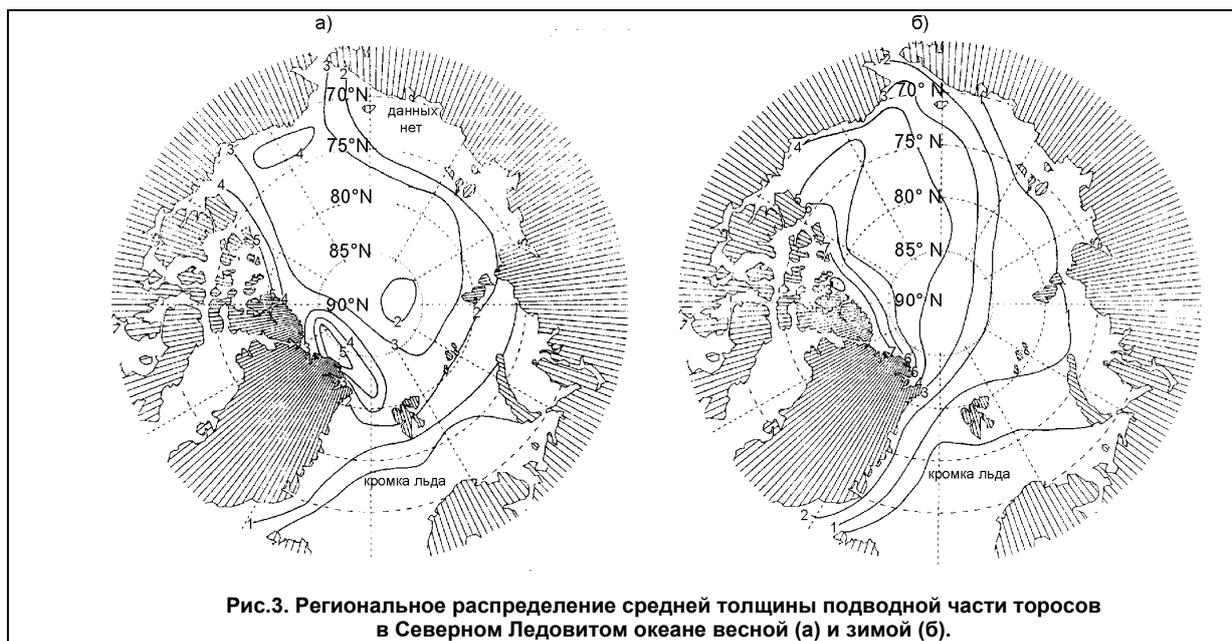
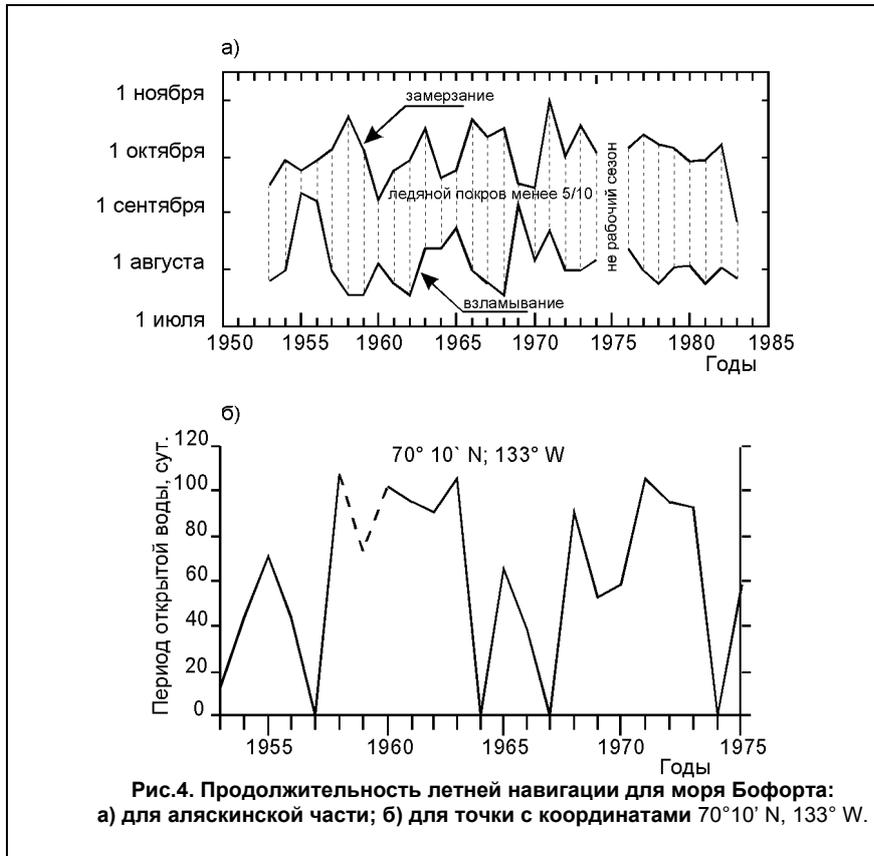


Рис.3. Региональное распределение средней толщины подводной части торосов в Северном Ледовитом океане весной (а) и зимой (б).

#### 6.1. Ледовый покров

**Море Бофорта.** В теплые годы море Бофорта замерзает в середине октября и освобождается от льда в начале июля. В год с низкими температурами лед замерзает к 1 октября, а сходит в середине августа. Сезон, когда вода частично свободна от льда, может составлять 5–10 недель, если брать за основу условия, когда льдом покрыто 2/10 поверхности моря [3]. В середине зимы море обычно полностью (10/10) покрыто льдом, а в период между 1 ноября и 15 мая лед регулярно покрывает более 5/10 поверхности моря. Данные о продолжительности летней навигации для аляскинской части моря Бофорта показаны на рис.4 а [16] и для точки с координатами 70°10' N, 133° W – на рис.4 б [3]. Средняя продолжительность сезона, характеризуемого ледо-

вым покровом 5/10 или меньше, в который возможна навигация, составляет 57 сут. при среднеквадратическом отклонении 24 сут. В средний год лед полностью взламывается к середине июля, что определяет продолжительность периода открытой воды в 90 сут. [17].



Зимой имеются три зоны ледового покрова: зона припая, зона дрейфующего льда и переходная зона. К началу ноября весь район обычно покрывается тонким однолетним льдом. Этот лед легко перемещается и ломается во время штормов. К середине ноября припай доходит до районов с глубинами примерно 6 м. В январе береговой припай доходит до районов с глубинами 20 м и остается там в течение всей зимы [17]. Замечено, что береговой припай за сезон перемещается не более, чем на 1–1,5 м, но на 20-метровой изобате могут проис-

ходить относительно большие эпизодические перемещения. Иногда в этой части моря лед может перемещаться со скоростью до 10–50 м/ч [16].

Однолетние торосы образуются в начале зимы до возникновения берегового припая. Измерения показали, что верхний предел для высоты гребня подводной части тороса составляет  $16 h^{0.5}$ , где  $h$  – толщина ровного льда в метрах [17]. Некоторые торосы садятся на грунт, способствуя дополнительной стабилизации припая [18]. В переходной зоне лед перемещается со скоростью несколько километров в сутки. Зона дрейфующего льда состоит из однолетнего и многолетнего льдов. Вследствие циркуляции льда в циклическом круговороте Бофорта доля многолетнего льда в ледовом покрове в среднем составляет примерно 20%.

**Карское море.** Образование льда начинается в конце сентября или начале октября. Наиболее интенсивное нарастание льда происходит в середине октября. Береговой припай начинает взламываться в начале или середине июня. Поверхность воды освобождается от льда в середине июля или середине августа [1, 19]. Период отсутствия льда может находиться в пределах 0–130 сут. [20]. Обычно поверхность моря покрыта льдом примерно 9 мес. в году [21]. Море очень динамично, часто происходит сжатие льда. Это сжатие может сильно мешать навигации [22]. Вероятность позднего полного освобождения от льда южных районов Карского моря – 10–20%. Береговой припай образуется примерно за 20 сут.; он простирается до районов с глубинами 20 м. У внешней границы припая лед очень сильно восторошен; некоторые торосы сидят на мели, образуя стамухи.

Дрейфующий лед обычно состоит из однолетнего льда. Иногда бывает возможно появление многолетнего льда. Это вызывается юго-западным течением вдоль восточного побережья Новой Земли. По данным работ [23, 24], доля многолетнего льда может составлять 40% в мае и 20% в июне. В работе [24] отмечается, что эти значения, по-видимому, завышены. Вероятно, они действительно являются завышенными, особенно для полей, расположенных в южной части моря, вблизи п-ова Ямал.

В течение зимы и в начале весны лед полностью (10/10) покрывает поверхность воды [24]. Максимальная скорость дрейфа льда – около 0,5 м/с. Направление и скорость могут в короткое время изменяться в зависимости от направления ветра. Это может вызвать значительное сжатие льда, которое влияет на нагрузку, создаваемую льдом, и затрудняет плавание судов. Важным фактором для навигации является “ледовая река” вблизи Карских Ворот. Она состоит из относительно мелких кусков льда. В 1995 г. был замечен участок ледовой реки длиной 200 км и шириной 15–20 км [25].

**Печорское море.** Ледовые условия на востоке и западе сильно отличаются друг от друга. В восточной части моря период между первым появлением льда и полным очищением от него продолжается в среднем с середины ноября до мая, а в южной части – с октября до июня–июля [1, 4, 20]. Наиболее вероятная дата образования льда – последняя декада ноября, а освобождения от льда – середина июня–середина июля [26]. Сплоченность льда –9/10 в течение 5 мес. в мягкую зиму и 10/10 в течение 7 мес. в суровую зиму. Сплоченность льда менее 5/10 в среднем сохраняется 4 мес. [27].

Дата очищения акватории от льда летом в районе Приразломной площадки может изменяться в пределах 110 сут. Наиболее вероятные периоды, свободные от льда, составляют 115–139 или 160–190 сут. [2]. За последние 54 года наблюдались четыре периода продолжительного и четыре периода непродолжительного ледового покрова [20].

Зона берегового припая относительно узкая, и в годы с самой суровыми погодными условиями простирается от берега на 10–15 км до районов с глубинами 12–15 м. До начала января припай в основном состоит из молодого льда толщиной 0,1–0,3 м [1]. Нарастание припая продолжается до февраля, а взлом льда начинается в апреле–мае в западной части моря и в конце июня – в его восточной части [4]. На Приразломной площадке самый быстрый рост льда наблюдается в середине ноября; устойчивое нарастание идет с середины декабря. Ледовый покров полностью взламывается во второй половине июня [26]. Лед берегового припая неустойчив и зимой очень часто ломается, что приводит к образованию большого числа торосов. Несмотря на то, что Печорское море является частью Баренцева моря, где может появляться многолетний лед, здесь, как правило, лед бывает местного происхождения. Многолетний лед из Карского моря в этом регионе появляется редко.

Интенсивное торошение льда происходит на внешней границе берегового припая. Из-за ветров, которые дуют с побережья, дрейфующий лед перемещается от берега и образуются большие пространства воды, свободные от льда. Молодой лед начинает образовываться на поверхности моря со скоростью до 0,10 м/сут. Когда направление ветра меняется, может начаться торосообразование. Для образования торосов достаточна зона молодого льда шириной более 200 м [20]. Количество торосов и гряд уменьшается по мере удаления от внешней кромки берегового припая.

В среднем дрейфующий лед имеет размеры 500–700 м и площадь 0,2–2 км<sup>2</sup>. Иногда около о. Матвеева наблюдались большие ледяные поля. В частности, три аэрофотосъемки, проведенные последовательно в марте–апреле 1987 г., показали, что средняя площадь льдин была 4 км<sup>2</sup> в марте и 2 км<sup>2</sup> – в апреле. Иногда во время откалывания льда от припая под действием ветров с берега возникают чрезвычайно большие ледяные поля. Одно из этих полей с площадью 1135 км<sup>2</sup> наблюдалось в 1982 г. к западу от о. Матвеева [28].

Скорость дрейфа льда зависит от силы ветра, скорости течения и приливных явлений. Скорость движения льда, обусловленная ветром и определяемая как 0,03–0,04 от скорости последнего, может лежать в пределах 0,1–0,9 м/с. Суммарная скорость дрейфа (вызванного ветром, течением и приливными явлениями) может достигать 1,1–1,3 м/с [10, 29].

**Баренцево море.** Лед в северной части Баренцева моря образуется в октябре–декабре. В некоторые годы летом лед тает или полностью уходит из этих вод. В другие годы лед остается в северо-западных и северо-восточных частях Баренцева моря. На основании визуальных наблюдений, произведенных на малых высотах [30, 31], было установлено, что лед Баренцева моря состоит на 58% из многолетнего льда, на 23% – из толстого (> 1м) льда и на 18% – из молодого льда (толщиной менее 1м). Однако обширная информация, полученная в результате ряда исследований за два последних десятилетия, показывает, что многолетний лед в западной части Баренцева моря появляется редко [31, 32, 33].

Таким образом, наиболее типичным в Баренцевом море является однолетний лед. Толщина его может достигать до 1,8 м для ровного однолетнего и 3–5 м – для многолетнего льда.

Положение границы распространения льда сильно изменяется от года к году. Максимум простираения ледяного покрова наблюдается в южном направлении в марте, минимум – в сентябре [4] В центральной части моря лед местного происхождения бывает раз в 3–4 года; чаще наблюдается дрейфующий лед из северной части моря. Наиболее типичные ледяные поля имеют толщину 1,0 м. Сравнение ледового покрова в различных морях приводится в табл.2.

Таблица 2

Сравнение ледового покрова в различных морях

Море или район	Начало замерзания		Освобождение от льда		Продолжительность навигации на чистой воде, сут.
	суровая зима	мягкая зима	суровая зима	мягкая зима	
Бофорта	Начало октября	Середина октября	Середина сентября	Начало июля	0 – 105
Печорское	Конец октября	Конец ноября	Середина июля	Середина мая	115 – 190
Карское	Начало октября	Середина ноября	Начало августа	Середина июня	0 – 130
Баренцево: – центральный	Середина октября	Конец января	Конец июня	Конец апреля	135 – 255
– северный	Конец октября	Середина декабря	Конец августа	Середина июня	60 – 180

## 6.2. Характеристики льда

В прибрежной зоне можно встретить следующие виды льда: ровный лед, наслоненный лед, торосы, гряды торосов, стамухи и айсберги.

**Ровный однолетний лед.** Толщина ровного льда возрастает во время зимнего сезона и достигает максимума весной или в начале лета. Данные о среднемесячной толщине ровного льда для различных морей приведены в табл.3.

Предельная толщина ровного льда 1,8–2,1 м в море Бофорта [34], 2 м в Карском море [1, 21], 1,6 м в Печорском море [1] и 1,8 м в западной части Баренцева моря [32]. Весной, когда лед достигает максимальной толщины, ледовый покров обычно неоднороден. Например, в Карском море он содержит равные части осеннего льда (1,2–1,8 м), зимнего льда (0,8–1,4 м), позднего зимнего льда (0,4–0,8 м) [35]. Из табл.3 видно, что толщина ровного льда в море Бофорта и Карском море примерно одинакова. Это

главным образом обусловлено одинаковым режимом температуры воздуха. Однако, характеристики других ледяных образований существенно различны.

Таблица 3

Среднемес.ячная толщина ровного льда для различных морей

Море или район	Толщина льда в различные месяцы, м								По данным работ
	11	12	1	2	3	4	5	6	
Бофорта	0,48	0,80	1,10	1,34	1,50	1,65	1,74	1,70	[16]
Бофорта	0,30	0,60	0,90	1,20	1,40	1,60	1,70	1,75	[17]
Печорское:									
– восточный	0,40	0,70	1,00	1,20	1,30	1,40	1,45	1,30	[42]
– западный	0,40	0,60	0,80	1,00	1,00	1,10	1,10	1,00	(среднее значение)
Печорское	0,30	0,50	0,70	0,90	1,10	1,20	1,20	–	[24]
Карское	0,60	0,90	1,20	1,40	1,60	1,70	1,80	–	
Баренцево:									
–северный	0,40	0,45	0,55	0,70	0,80	1,00	1,05	1,10	[32]

**Наслоенный лед.** Толщина наслоенного льда в море Бофорта может составлять примерно 4–6 м, а по данным, приведенным в [34], даже 7 м. В некоторых местах североамериканской части Арктики она, как указывается в работе [36], достигает 9 м]. По оценкам, толщина наслоенного льда в Печорском море составляет 2,5–3 м и в Карском море – 3–3,5 м.

**Торосы**

**Море Бофорта.** В море Бофорта имеются однолетние и многолетние торосы. Молодые торосы могут иметь парус высотой до 5 м и осадку – до 20 м [18]. По данным работы [34], кили могут достигать 30–35 м. Иногда торосы сидят на мели. В частности, замечались при глубине воды 19 м сидящие на дне торосистые гряды [17]. Наблюдался многолетний полностью консолидированный торос с очень малой соленостью. Его парус достигал 6 м, а киль –14 м. Данные аэроразведки подтверждают, что многолетние торосы с осадкой 20 м встречаются довольно часто [17].

**Карское море.** В юго-западной части Карского моря были замечены только однолетние торосы. Обычно они состоят из блоков толщиной 0,2–0,6 м. Средняя степень торошения – 2–3 балла (всторосено около 40–60% ледового покрова). Количество гряд на километр – менее 4 в 88% случаев. Средняя высота паруса –2 м, а максимальная – 5 м [37]. Последнее значение высоты наблюдалось в северных районах и завышено в интересах безопасности работ на нефтяных месторождениях. При отношении осадки килля к высоте паруса равном 4,5 возможна осадка килля 18–20 м.

**Печорское море.** В этом регионе наблюдались только однолетние торосы. Ими покрыта большая часть поверхности льда. Торошение в дрейфовой зоне может достигать 3–4 баллов в феврале (60–80% поверхности моря покрыто торосами) и 5 баллов (100%) – в апреле. В зоне берегового припая средняя степень торошения составляет 3–4 балла. Обычно торосы сложены из блоков толщиной 0,3–0,6 м, но иногда могут встречаться части припая толщиной 1,2 м. Длина блоков обычно меньше 3 м. Средняя высота паруса лежит в пределах 0,5–2,5 м, но иногда может достигать 4 м [20, 38]. Высота килля в среднем составляет 3–6 м, однако встречается и 12–18 м.

**Баренцево море.** Торосы гряды в большинстве случаев покрывают 30–50% поверхности в северной части Баренцева моря (77° N). В первой половине года наиболее частая максимальная высота паруса составляет около 2 м [31]. В более поздний период чаще встречается высота более 1 м. Степень торошения в центральной части Баренцева моря (74° N, о.Медвежий) в общем аналогична.

Аэрофотонаблюдения дают некоторую информацию о степени торосистости в различные времена года [31]. Характерным является наличие 1–6 гряд на 1 км в на-

чале зимы, наибольшее число – около 7 гряд на 1 км в конце зимы (март, апрель и май) и около 9 гряд на 1 км в период разрушения ледяного покрова (июнь–август).

### **Айсберги**

В море Бофорта айсберги не встречаются; однако, иногда в южную его часть могут заплывать их обломки максимальной толщиной 30 м. В Карском море айсберги наблюдаются иногда, в Баренцевом появляются регулярно. Они либо дрейфуют от архипелага Земля Франца Иосифа, либо спускаются с ледников на восточном побережье Шпицбергена [38].

В Баренцевом море начато несколько программ сбора данных по льдам с помощью различных средств обнаружения IDAP [32, 33, 39]. Полученные данные по айсбергам показали, что за 5 лет (1988 – 1992 гг.) их количество и массы изменялись в значительных пределах. В табл.4 приведены обобщенные данные по айсбергам, полученные при помощи анализа результатов аэрофотосъемки [40].

Таблица 4

**Обобщенные данные аэрофотоанализа по айсбергам программы IDAP 1988–1992 гг. (средние значения с ± указывают на эмпирическое среднеквадратическое отклонение)**

Год	Количество айсбергов	Максимальна высота верхней части айсберга, м	Максимальная длина айсберга, м	Суммарная масса айсберга, тыс.т
1988	109	17,8 ± 7,1	101,8 ± 60,3	453,3 ± 738,8
1989	68	17,5 ± 7,2	83,4 ± 39,8	267,7 ± 306,7
1990	89	13,3 ± 6,1	84,9 ± 46,6	196,6 ± 244,3
1991	41	13,2 ± 5,0	83,1 ± 61,9	284,3 ± 516,9
1992	23	10,2 ± 3,8	104,2 ± 48,8	221,2 ± 219,4
1988–1992	330	15,4 ± 6,9	92,3 ± 52,9	311,2 ± 512,2

Из таблицы видно, что 1988 г. был за этот период самым суровым, причем 17 айсбергов имели массу более 1 млн.т. При исследованиях по программе IDAP в 1988 г. были взяты образцы льда с айсбергов. Определялись их физико-механические свойства. Испытания 16 образцов при температуре -10°С показали, что прочность на одноосное сжатие может изменяться в пределах 2,3 ...7,3 МПа при среднем значении в 5,4 МПа [32].

### **7. Заключение.**

Сводные данные по гидрометеорологическим параметрам природной Среды в рассматриваемых регионах приведены в табл.5. Из их сопоставления следует, что:

\* Печорское море имеет самый мягкий ветровой климат. Величина скорости ветра в каждом из остальных трех морей очень сходна.

\* За исключением января море Бофорта имеет самую низкую температуру воздуха. Температура воздуха Баренцева моря значительно выше, чем у трех других морей.

\* Волной режим моря Бофорта и Печорского моря примерно одинаков. Карское море хорошо прикрито. В результате высота волны там самая малая – в противоположность западной части Баренцева моря, в которое волны приходят с юго-запада. и где имеет самый суровый волновой климат.

\* Экстремальные значения скоростей течений характерны для Баренцева моря.

\* Статистические данные по айсбергам за 1988–1992 гг. показывают среднюю максимальную высоту надводной части айсберга 15 м, среднюю длину 92 м и среднюю массу 311000 т. Лед айсберга имеет среднее значение прочности на сжатие в одном направлении 5,4 МПа при -10°С.

\* Ледовый режим в море Бофорта значительно отличается от режима некоторых русских (например, Карского) морей. Особенно важно, что в море Бофорта имеется

значительный процент многолетнего льда. Доля многолетнего льда в российских морях значительно меньше. Таким образом, ледовые условия в море Бофорта более суровые, и нагрузки за счет льда, применяемые для проектирования сооружений в море Бофорта, могут считаться максимальными для сооружений в восточных морях.

Таблица 5

Сравнение условий в различных морях

Параметр	Море				
	Бофорта	Карское	Север Баренцева моря	Центр Баренцева моря	Печорское
Широта	70° N	70° N	77° N	77° N	70° N
Максимальная скорость ветра в порывах, м/с	40–42	40	36	40	41
Минимальная температура воздуха, °С	-(48–52)	-50	-35	-24	-48
Высота значительных волн, м	6,3 <sup>1)</sup>	5,7 <sup>1)</sup>	10,0 <sup>2)</sup>	12,5 <sup>2)</sup>	6,2 <sup>1)</sup>
Скорость течений, м/с	0,5	1,8–2	0,8	0,5	1
Период образования льда (среднее)	Октябрь	Октябрь–ноябрь	Конец ноября	Декабрь	Ноябрь (октябрь) <sup>3)</sup>
Период очищения от льда (среднее)	Июль–август	Июль–август	Июль	Май	Июнь
Период чистой воды (среднее), сут.	90	0–130	190	–	110
Многолетний лед, %	20/80 <sup>4)</sup>	40 <sup>5)</sup>	–	–	–
Максимальная толщина ровного льда, м	2,1	1,8	1,8	1,0	1,3
Толщина наслоенного льда, м	4,6 – 6,1	3,6 <sup>5)</sup>	2,0	2,0 <sup>5)</sup>	2,6 <sup>5)</sup>
Толщина однолетних торосистых гряд, м	H + 4,6 (H ≤ 18 м) <sup>6)</sup> 31–43 (H > 18 м)	18–20	–	–	18–20
Толщина многолетних торосистых гряд, м	H + 3,0 (H ≤ 18 м) 21–24 (H > 18,3 м)	–	–	–	–

Примечание: <sup>1)</sup> при глубине воды 45 м; <sup>2)</sup> период повторяемости 1 раз в 100 лет; <sup>3)</sup> среднее (экстремальное) значение; <sup>4)</sup> для мес.т расположения нефтяных мес.торождений; <sup>5)</sup> двойная толщина ровного льда; <sup>6)</sup> H – глубина воды, м.

Учитывая изложенное, можно полагать, что сооружения, спроектированные или установленные в шельфовой зоне моря Бофорта, могут быть приняты в качестве прототипов при проектировании сооружений для арктических морей России и разработке схем их транспортировки и установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров А.Г., Спичкин В.А. Районирование морей российского арктического шельфа по ледово-географическим признакам. Труды I Международной Конференции «Освоение шельфа арктических морей России», М., 1994, с.102-106.
2. Mironov, E. (1996): Uniform Ice Regions of the Barents Sea Ice Regime. Proceedings of the 13th International Symposium on Ice (IAHR), Beijing, 27-30 Aug. 1996, Vol. 1, pp. 361-368.
3. Hnatiuk, J. (1976): Results of an Environmental Research Program in the Canadian Beaufort Sea. Offshore Technology Conference, OTC 2445, Vol. I, pp. 221-234.
4. Горшков С.Г., Фалеев В.И. Атлас океанов. Северный Ледовитый океан. Главное управление навигации и океанографии. МО СССР, 1986, -181с.
5. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Госстрой СССР, -М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987, -3с.
6. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны СССР. Справочник, т.6. Баренцево море. Вып.1. Метеорологические условия. Л., Гидрометеиздат, 1985, -253с

7. Гидродинамические условия шельфовой зоны морей СССР. Справочник, т.7. Карское море. Метеорологические условия. Л., Гидрометеиздат, 1986, -95с.
8. Мищенко С.М. Методология определения параметров волн. Санкт-Петербургский Государственный технический Университет, 1996, -12с.
9. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. т.1. Баренцево море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. Л., Гидрометеиздат, 1990, -280с.
10. Korppoo, S., S. Kobus and P. Salonen (1988): Problems of Using Floating Production Units in Arctic Conditions. Proceedings of the International Conference on Technology for Polar Areas (Polartech), Trondheim, Vol. 2, pp. 507-521.
11. Танцюра А.И. Течения в Баренцевом море. Труды ПИНРО, 1959, вып.7., с.35-53.
12. Танцюра А.И. Сезонные изменения течений Баренцева моря. Труды ПИНРО, 1973, вып.34, с.108-112.
13. Кулаков М.Ю., Павлов В.К. Диагностическая модель циркуляции вод Северного Ледовитого Океана. Труды ААНИИ, 1988, т.413, с.5-17.
14. Mashkov G.G.- editir: Live and Peligial Existence Conditions. MMBI Acad. Of Science of USSR, 1986, 270 p.
15. Bourke, R.and R. Garrett: Sea Ice Thickness Distribution in the Arctic Ocean. Cold Regions Science and Technology, 1987, Vol. 13, pp. 259-280.
16. Sanderson, T.: Ice Mechanics: Risk to Offshore Structures, 1988, 253 p.
17. Croasdale, K. Ice Engineering for Offshore Petroleum Exploration in Canada. The 4th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), Newfoundland, September 26-30, 1977, pp.1-32.
18. Nnatiuk, J.and K. Brown. Sea Bottom Scouring in the Canadian Beaufort Sea. Offshore Technology Conference, Houston, 1977.
19. Judge: The Kara Sea. Marine Obs. 1958. 28, 182p.
20. Спичкин В.А., Егоров А.Г. Обзор опасных ледовитых явлений на шельфе Баренцева и Карского морей. Тезисы докладов П Международной Конференции «Освоение шельфа арктических морей России» (РАО-95), 1995, с.134-135.
21. Blanchet, D., S. De Franco, G. Cox, Y. Mironov, V. Smirnov and L. Tsoy. Yamal Sea Ice Engineering and Field Studies. Proceedings of the 13 POAK Conference, Murmansk, 1995.
22. Бланше В., Вилкман Г., Головин Н., Де-Франко С. Карская экспедиция 1993 года: изучение ледовых условий. Труды П Международной Конференции «Освоение шельфа арктических морей России» (РАО-95), 1995, с.242-251.
23. Anderson, M, R. Grane and R. Barry R. Characteristics of Arctic Ocean Ice Determined from SMMR Data for 1979. Adv. Space Res. 1995, pp. 257-261.
24. Riska, K. / Ice Conditions along the North-East Passage in View of Ship Trafficability Studies. Proceedings of the 5th International and Offshore Polar Engineering Conference (ISOPE), The Hague, 1995, Vol. II, pp. 420-427.
25. Кондратьев К.Я., Мелентьев В.В., Бобылев Л.П., Йоханнесен О., Петтерсен Л., Сандвен С. Опыт мониторинга ледового покрова шельфа арктических морей с использованием ЕРС-1. САР- изображения. Труды П Международной Конференции «Освоение шельфа арктических морей России» (РАО-95), 1995, с.299-306.
26. Миронов Е.У., Спичкин В.А., Егоров А.Г. Сезонные изменения ледовых условий и их межгодовые вариации в районах освоения шельфа Баренцева и Карского морей. Труды I Международной Конференции «Освоение шельфа арктических морей России» (РАО-93), М., 1994, с.116-121.
27. Зубакин Г.К. Крупномасштабная изменчивость состояния ледяного покрова морей Европейского бассейна. Л., Гидрометеиздат, 1987, - 160 с.
28. Golovin, N., N. Koptev, O. Maiorov and Khvedynych. Ice Investigations in the Pechora and Kara Seas in Connection with a Shelf Development. Proc. of the Polar Tech. Conference/ 1996, Vol. 4, pp. 38-
29. Денисов В.В., Зубакин Г.К., Соболева Д.Р. Некоторые результаты исследования течений и дрейфа льда в юго-восточной части Баренцева моря (по материалам 4 рейса НИЛ «Отто Шмидт»). Труды ААНИИ, 1987, т.410, с.105-112.
30. Wittman, W. and J. Schule . Comments on the Mass Budget of Arctic Pack Ice. Proc. of the Symposium on Arctic Heat Budget and Atmospheric Circulation. Corporation Research Memorandum. RM05233-NSF. 1966, pp. 215-246.
31. Vinje, T. Physical Environment, Western Barents Sea. Drift, Composition, Morphology and Distribution of Sea Ice Fields in the Barents Sea. In Norsk Polarinstittut Skrifter Nr. 1985, 179 C, 26 p.
32. Spring, W., T. Vinje and H. Jensen. Iceberg and Sea Ice Data Obtained in the Annual Expeditions of the Barents Sea Ice Data Acquisition Program (IDAP). Proceedings of the 12th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, 17-20 August 1993, Hamburg. 1993, Vol. 1, pp. 462-472.
33. Loset, S. and T. Carstens. Sea Ice and Icebergs in the Western Barents Sea in 1987. Cold Regions Science and Technology. 1996, Vol. 24, No. 4, pp. 323-340.
34. API RP 2N. Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Structures in Ice Environments. First Edition, June 1, 1988. American Petroleum Institute, Washington, DC 20005, 51 p.
35. Егоров А.Г., Спичкин В.А., Миронов Е.У., Тюряков А.Б. оценка средней и максимальной толщины ровного ледяного покрова на шельфе Баренцева и Карского морей. Тезисы докладов П Международной Конференции «Освоение шельфа арктических морей России» (РАО-95), 1995, с.163-165.
36. Wang, A.T., J.P. Poplin and C.E. Heuer. Hydrocarbon Production Concepts for Dynamic Annual Sea Ice Regions. Proceedings of the First International Conference on Development of the Russian Arctic Offshore (RAO-93), St. Petersburg, September 20-24, 1993, pp. 58-82.
37. Романов И.П. Ледяной покров арктического бассейна. Л., 1991, -211с.
38. Loset, S.. Thermal Energy Conservation in Icebergs and Tracking by Temperature. Journal of Geophysical Research. 1993, Vol. 98, No. C6, pp. 10001-10012.
39. Loset, S. and T. Carstens. Production of Icebergs and Observed Extreme Drift Speeds in the Barents Sea. The 12th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), Hamburg, 17 - 20 August 1993, Vol. I, pp. 425-438.
40. Loves, S.M., W. Spring and A. Holm. Stereo Photogrammetric Analysis of Icebergs and Sea Ice from the Barents Sea Ice Data Acquisition Program (IDAP). Proceedings of the 12th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, 17.-20. August 1993, Hamburg, Vol. 1, pp. 439-449.

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ СТОХАСТИЧЕСКОЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТАХ**

**А.В.БУХАНОВСКИЙ,  
В.А.РОЖКОВ**  
(СПО ГОИН)

*Обсуждается проблема интервального оценивания функций распределения вероятностей, моментов и квантилей гидрометеорологических величин по выборкам ограниченного объема. Показано, что ширина доверительного интервала для этих вероятностных характеристик существенно зависит от вида распределения и связности выборочной совокупности. Приводятся результаты оценивания по натурным и расчетным данным.*

Изменчивость полей ветра, течений, уровня, волнения, ледовых и их связность (временная, пространственная, межэлементная) приводят к необходимости рассматривать гидрометеорологические поля как многомерную случайную функцию  $\Xi(x, y, z, t)$ , удовлетворяющую системе нелинейных уравнений гидродинамики. Столь общий подход к исследованию закономерностей природных процессов и полей характерен для теоретической гидрометеорологии [1]. В прикладных исследованиях (а особенно в инженерных расчетах) пользуются более простыми моделями: случайного события, последовательности случайных событий, случайной величины, системы случайных величин, неслучайной функции случайных аргументов, стационарной (однородной, изотропной) случайной функции, детерминированными (а не стохастическими) дифференциальными уравнениями и т.д. Следовательно, возникает проблема адекватности модельного описания и достоверности полученных оценок.

В настоящей статье рассматриваются вопросы построения доверительных интервалов для вероятности  $p$  случайного события, функции распределения  $\mathfrak{F}_\zeta(x)$  вероятностей случайной величины  $\zeta$  и квантилей  $x_p$ , исходя из модели, учитывающей связность временного ряда данных наблюдений, по которому вычисляются оценки  $p^*, \mathfrak{F}_\zeta^*(x), x_p^*$ .

**Оценка вероятности случайного события.** Наиболее простой стохастической моделью является модель последовательности  $n$  независимых испытаний с двумя исходами (схема Бернулли), задаваемая вероятностью  $p$  положительного исхода, согласно которой вероятность появления ровно  $k$  положительных исходов определяется как

$$P_n[k] = C_n^k p^k (1-p)^{n-k}, \quad (1)$$

где  $\sum_{k=0}^n P_n[k] = 1$ .

Для редких событий ( $p(n) \rightarrow 0, np(n) \rightarrow \lambda, n \rightarrow \infty$ ) биномиальное распределение (1) сходится к распределению Пуассона

$$P_n(k) \rightarrow \pi_k, n \rightarrow \infty, \quad \pi_k = \frac{\lambda^k \exp[-\lambda]}{k!}, \quad k = 0, 1, \dots \quad (2)$$

Причем скорость сходимости определяется неравенством

$$\sum_{k=0}^{\infty} |P_n[k] - \pi_k| \leq \frac{2\lambda}{n} \min[2, \lambda].$$

Более общей моделью, учитывающей связность временных рядов, являются дискретные в пространстве и времени марковские цепи, дискретные в пространстве и непрерывные во времени, а также непрерывные в пространстве и времени (диффузионные) марковские процессы [2].

Простейшим из этих процессов является пуассоновский процесс – математическая модель совершенно случайной последовательности событий [3]. Пусть  $z_t$  – случайная величина – число событий, происходящих в интервале  $[t, t + \delta t]$ ,  $\delta t > 0$ . Пуассоновский процесс интенсивности  $\lambda$  определяется условиями (при  $\delta t \rightarrow 0$ )

$$P\{z_t = 0\} = 1 - \lambda \delta t;$$

$$P\{z_t = 1\} = \lambda \delta t,$$

а  $z_t$  не зависит от числа и расположения событий в интервале  $(0, t)$ .

Тогда  $P_x(t) = P\{z(0,t) = x\} = \frac{(\lambda t)^x}{x!} \exp[-\lambda t]$  характеризует распределение числа событий в произвольном интервале длины  $t$ , а  $F(x) = 1 - \exp[-\lambda x]$  – распределение интервалов между событиями.

Одной из наиболее распространенных прикладных задач является определение по частоте  $p^*$  доверительных границ  $(p_1, p_2)$  вероятности  $p$  случайного события. Если последовательность случайных событий независима (и  $p$  отлична от 0 и 1), то  $p^*$  имеет биномиальное распределение (1) и  $p_{1,2}$  вычисляются по формуле Ван дер Вардена [4]

$$p_{1,2} = \frac{p^* n + \frac{\varepsilon_{\beta}^2}{2} m \varepsilon_{\beta} \sqrt{p^*(1-p^*) + \frac{\varepsilon_{\beta}^2}{4}}}{n + \varepsilon_{\beta}^2} \approx p^* m \varepsilon_{\beta} \sqrt{\frac{p^*(1-p^*)}{n}}, \quad (3)$$

где  $n$  – объем выборки;

$\varepsilon_{\beta}$  – квантиль стандартного нормального распределения  $N(0,1)$ , в частности  $\varepsilon_{0,95} = 1,96$ .

Пусть для примера нас интересует вероятность  $p$  шторма с высотой волн  $h > 2$  м в Баренцевом море. Используем для оценивания  $p$  временной ряд  $n = 280$  наблюдений. 95%-ый доверительный интервал для  $p$ , вычисленный по формуле (3), составляет  $(0,236 \pm 0,050)$ .

Так как шторм, даже при таком низком уровне ( $h = 2$  м) длится по времени меньше, чем “окно погоды”, то более приемлема модель последовательности серий, т.е. простая цепь Маркова с матрицей переходных вероятностей  $\begin{pmatrix} \alpha & 1-\alpha \\ \gamma & 1-\gamma \end{pmatrix}$ . Тогда вместо формулы (3) согласно [5] следует использовать выражение

$$p_{1,2} = p^* \pm \varepsilon_{\beta} \sqrt{\frac{p^*(1-p^*)}{n} \left( \frac{1+\alpha-\gamma}{1-\alpha+\gamma} \right)}. \quad (4)$$

В этом же примере  $\alpha = 0,470$ ,  $\gamma = 0,164$  и тогда 95%-ый доверительный интервал  $(0,236 \pm 0,068)$ .

Для доверительных границ частоты редких событий используется распределение Пуассона (2) с параметром  $\lambda = n p$ , тогда формула (3) по [4] заменяется на

$$\lambda_{1,2} = m^* + \frac{\varepsilon_\beta^2}{2} \pm \varepsilon_\beta \sqrt{m^* + \frac{\varepsilon_\beta^2}{4}} . \quad (5)$$

За 300 лет (1691–1991 гг.) наблюдалось 10 невских наводнений с уровнем выше 250 см, т.е.  $n = 300$ ,  $m^* = 10$ . Согласно (5),  $\lambda$  принадлежит интервалу 4÷25, т.е. раз в 100 лет может быть от 1 до 8 наводнений с уровнем выше 250 см при  $\varepsilon_\beta = 3$ ,  $\beta \cong 0,99$ .

**Оценка функции распределения вероятностей случайной величины.** Модель случайной величины обобщает модель случайного события. При инженерных расчетах представляет интерес интервальное оценивание функции распределения  $\mathfrak{F}_x$  и ее параметров (или моментов).

Для непараметрической оценки  $\mathfrak{F}^*(x)$  доверительные интервалы для  $\mathfrak{F}_x$  вычисляются в предположении некоррелированности ряда  $\zeta(t)$  по формуле (3) для каждого  $x$ . Довольно часто при решении прикладных задач [6] величину  $n$  заменяют “эквивалентным числом независимых отсчетов”, например  $\tilde{n} = \frac{n}{c^2}$ , где  $c$  зависит от корреляционной функции  $K_\zeta(\tau)$  и интервала дискретизации  $\Delta$  временного ряда  $\zeta(t)$ .

Для белого шума в ограниченной полосе частот  $\delta$  значения  $\zeta(t)$  в точках, разделенных промежутками  $\frac{1}{2\delta}$ , некоррелированы. Для процессов с произвольной (убывающей)  $K_\zeta(t, \tau)$  вычисляют интервалы корреляции  $\tau_k$  и принимают, что интервал  $T$  содержит  $\tilde{n} = \frac{T}{\tau_k}$  некоррелированных значений.

Для построения доверительного интервала для  $\mathfrak{F}(x)$  по  $\mathfrak{F}^*(x)$  требуется задать модель ансамбля реализаций  $\zeta(t)$ , учитывающую, по крайней мере, корреляционную функцию  $K_\zeta(t, \tau)$  и одномерный закон распределения  $\mathfrak{F}_\zeta(x, t)$ . Пусть стационарный временной ряд имеет гауссов закон распределения. Выразим параметры  $\alpha$  и  $\gamma$  марковской цепи через вероятности превышения уровня  $x$

$$1 - \alpha(x) = \frac{\int_{-\infty}^x \int_x^\infty w_2(y, z) dy dz}{\int_x^\infty w_1(y) dy} ; \quad \gamma = \frac{\int_x^\infty \int_x^\infty w_2(y, z) dy dz}{\int_{-\infty}^x w_1(y) dy} .$$

Здесь  $w_1(y)$ ,  $w_2(y, z)$  – одномерная и двумерная плотности вероятности распределения временного ряда. Для авторегрессионных процессов первого порядка с корреляционной функцией  $K(\tau, t) = \sigma^2 \exp[-\Theta(t)\tau]$  параметры марковской цепи, вычисленные с учетом разложения  $w_2(y, z)$  в ряд Эджворта (по двум маргинальным гауссовым плотностям с учетом линейного корреляционного члена), имеют вид

$$\alpha(x,t) = 1 - \Phi(x) + \frac{\Theta(t)}{2\pi[1 - \Phi(x)]} \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right];$$

$$\gamma(x,t) = 1 - \Phi(x) - \frac{\Theta(t)}{2\pi[1 + \Phi(x)]} \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right].$$
(6)

Здесь  $\Phi(x)$  – стандартная функция распределения Гаусса ( $M[x] = 0, D[x] = 1$ ).

Оценки эмпирической функции распределения  $\mathfrak{F}^*(x)$ , вычисленные по выборке объемом  $N = 1000$  точек модельной реализации с дискретизацией  $\Delta = 0,2 c$ , и 95%-е доверительные интервалы  $I_\beta$ , вычисленные по формуле (3) в предположении независимости членов выборки (а), с пересчетом на число независимых отсчетов при  $\hat{n} = 100$  (б), и по формуле (4) при  $\alpha$  и  $\gamma$  по (6) (в), приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценки эмпирической функции распределения  $\mathfrak{F}^*(x)$  и  $I_\beta$

Параметр или функция	Численное значение						
	-1,5	-1,0	-0,5	0	0,5	1,0	1,5
$\mathfrak{F}^*(x)$	0,063	0,141	0,303	0,501	0,704	0,851	0,930
$\alpha$	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,86
$\gamma$	0,14	0,12	0,09	0,07	0,04	0,02	0,01
$I_\beta$ (а)	0,048	0,119	0,274	0,470	0,675	0,829	0,914
	0,078	0,162	0,331	0,532	0,732	0,873	0,946
$I_\beta$ (б)	0,015	0,072	0,212	0,403	0,614	0,781	0,880
	0,111	0,209	0,393	0,599	0,793	0,928	0,980
$I_\beta$ (в)	0,010	0,062	0,194	0,385	0,600	0,771	0,875
	0,115	0,219	0,412	0,616	0,807	0,931	0,984

Видно, что в зависимости от  $x$ ,  $\alpha$  и  $\gamma$  доверительный интервал  $I_\beta$  для  $\mathfrak{F}^*(x)$  расширяется в соответствии с (6).

Приближенные значения  $I_\beta$  (в) можно уточнить, если воспользоваться не марковской цепью, а моделью временного ряда  $\zeta_t$ , учитывающей корреляцию между его последовательными значениями.

Реализация стационарного процесса авторегрессии (АР) порядка  $p$ , согласно [7], имеет вид

$$\zeta_t = \sum_{j=1}^p \Phi_j \zeta_{t-j} + \varepsilon_t, \tag{7}$$

где  $\Phi_j$  – параметры, вычисляемые по функции  $K_j(\tau)$ ;

$\varepsilon_t$  – белый шум с распределением  $F_\varepsilon(x)$ , согласованным с распределением исходного процесса.

Аналогичный путь [8] используется для моделирования стационарных случайных полей

$$\zeta_{\bar{v}} = \sum_{\bar{j}=0}^{\bar{N}} \Phi_{\bar{j}} \zeta_{\bar{v}-\bar{j}} + \varepsilon_{\bar{v}}. \tag{8}$$

Здесь суммирование по векторному индексу обозначает последовательное суммирование по его компонентам, а  $\vec{v}=(v_1, \dots, v_n)$  – вектор координат случайного поля.

В работе [9] на примере модели ЛНАР(1) для временного ряда с логарифмически нормальным распределением  $\ln(h_{0,5}, s)$  при  $\Phi = 0$  показано, что для  $\mathfrak{Z}^*(x) = 0,25$  по (3) при  $\beta = 0,95$  и  $n = 100$  доверительный интервал  $I_\beta$  будет (0,16; 0,35), а по ЛНАР(1),  $h_{0,5} = 1$ ;  $s = 2,0$ ;  $\Phi = 0,9$ ;  $I_\beta = (0,01; 0,59)$  – существенно расширяется.

Оценки  $\mathfrak{Z}^*(x)$  являются случайной функцией аргумента  $x$ , т.е. кроме математического ожидания  $m_{\mathfrak{Z}(x)}$  и дисперсии  $D_{\mathfrak{Z}(x)}$ , необходимо знать еще и корреляционную функцию  $\rho_{ij}$

$$\rho_{ij} = \frac{M \left\{ \left[ \mathfrak{Z}^*(x_i) - m_{\mathfrak{Z}^*} \right] \left[ \mathfrak{Z}^*(x_j) - m_{\mathfrak{Z}^*} \right] \right\}}{\sqrt{D_{\mathfrak{Z}^*}(x_i) D_{\mathfrak{Z}^*}(x_j)}} = \frac{cov \left[ \mathfrak{Z}^*(x_i) \mathfrak{Z}(x_j) \right]}{\sqrt{D_{\mathfrak{Z}^*}(x_i) D_{\mathfrak{Z}^*}(x_j)}}. \quad (9)$$

В частности, согласно [3], для схемы Бернулли

$$cov \left[ \mathfrak{Z}^*(x_i) \mathfrak{Z}^*(x_j) \right] = \frac{\mathfrak{Z}(x_i)(1 - \mathfrak{Z}(x_j))}{n}. \quad (10)$$

В табл. 2 приведены результаты модельных расчетов значений функции  $\rho_{ij}$  для временных рядов с узким (среднеквадратичная ширина  $v = 0,55$ ) и широким (среднеквадратичная ширина  $v = 0,78$ ) спектрами, а также для частного случая (схемы Бернулли).

Таблица 2

Корреляционная функция (9) для оценки функции распределения по выборке в 30 членов из гауссовых временных рядов с узким ( $v = 0,55$ ) и широким ( $v = 0,78$ ) спектрами

Параметр или функция	Численное значение								
	$x_i$	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5
Узкий спектр $N(0,1); v = 0,55$									
$\rho_{i,i+1}$	–	0,85	0,84	0,82	0,30	0,52	0,78	0,89	0,88
$\rho_{i,i+2}$	–	0,68	0,66	0,07	-0,46	0,14	0,62	0,74	0,01
$\rho_{i,i+3}$	–	0,59	-0,01	-0,60	-0,65	0,09	0,52	0,02	0
Широкий спектр $N(0,1); v = 0,78$									
$\rho_{i,i+1}$	–	0,81	0,87	0,92	0,93	0,90	0,93	0,86	0,78
$\rho_{i,i+2}$	–	0,61	0,79	0,80	0,74	0,82	0,82	0,73	0,02
$\rho_{i,i+3}$	–	0,53	0,71	0,59	0,62	0,73	0,73	0,01	0
Расчет для схемы Бернулли с учетом формулы (10) для $N(0,1)$									
$\rho_{i,i+1}$	0,57	0,62	0,65	0,67	0,67	0,65	0,62	0,57	0,51
$\rho_{i,i+2}$	0,35	0,40	0,43	0,45	0,43	0,40	0,35	0,29	0,24
$\rho_{i,i+3}$	0,23	0,27	0,29	0,29	0,29	0,27	0,23	0,18	0,13

Из таблицы видно, что для узкого спектра  $|\rho_{i,j}|$  местами близок к 1, знаки  $\rho_{i,j}$  чередуются. Это означает, что оценки  $\mathfrak{Z}^*(x)$  приближаются к  $\mathfrak{Z}(x)$  с флюктуациями (радиус корреляции которых зависит от  $x$ ). Иная тенденция наблюдается для временного ряда с широким спектром. В этом случае корреляция спадает экспоненциально, без чередования знаков, что допускает монотонную сходимость оценок  $\mathfrak{Z}^*(x)$  к  $\mathfrak{Z}(x)$ . Тот же эффект характерен и для схемы Бернулли в предположении о независимости членов выборки.

**Оценки моментов распределения.** Наиболее популярными среди несмещенных точечных оценок математического ожидания  $m_x$ , дисперсии  $D_x$  и среднеквадратичного отклонения  $\sigma_x$ , согласно [16], являются

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i; \quad S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_i (x_i - \bar{x})^2; \quad S = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n - 3/2}}. \quad (11)$$

Интервальные оценки вычисляются чаще всего в предположении нормальности исходных данных. Тогда  $\bar{x}$  распределено по  $N\left(m, \frac{D_x}{n}\right)$ ,  $S^2$  – как  $\chi_{n-1}^2$ ,  $cov(\bar{x}, S^2) = 0$ .

Для стационарных гауссовых процессов с экспоненциальной коррелограммой [10] получены зависимости  $D_{m^*}$  и  $D_{D^*}$  от декремента затухания  $\alpha$

$$D_{\mu^*} = \frac{2}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) K(\tau) d\tau; \quad D_{D^*} = \frac{4}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) K^2(\tau) d\tau. \quad (12)$$

$$\text{При } K(\tau) = D \exp(-\alpha|\tau|); \quad D_{\mu^*} = \frac{2D}{\alpha T}; \quad D_{D^*} = \frac{D^2}{2\alpha T}. \quad (13)$$

Распределения статистик для негауссовых выборок будут сложнее [11], например  $cov(\bar{x}, S^2) = \frac{n-1}{n} \mu_3$ . В частности, для распределения Пирсона III типа

$f_{\xi}(x) = \frac{1}{a\Gamma(\gamma)} \exp\left(-\frac{x}{a}\right) \left(\frac{x}{a}\right)^{\gamma-1}$ , даже оценка  $\bar{x}$  распределена не по нормальному закону [12]

$$f_{\bar{x}}(x) = \frac{1}{a\Gamma(n\gamma)} \exp\left(-\frac{nx}{a}\right) \left(\frac{nx}{a}\right)^{n\gamma-1}. \quad (14)$$

Г.Крамер [13] дал приближенные формулы для коэффициента асимметрии оценок (11), учитывающие центральные моменты  $\mu_k$

$$A_{\bar{x}} = \frac{A_{\xi}}{\sqrt{n}}; \quad A_{S^2} = \frac{\mu_6 - 3\mu_2\mu_4 - 6\mu_3^2 + 2\mu_2^3}{(\mu_4 - \mu_2^2)^{3/2} \sqrt{n}}. \quad (15)$$

Результаты моделирования временных рядов с учетом релеевского закона распределения и декремента затухания коррелограммы приведены в табл. 3. Из них видно, что доверительные интервалы по модельным расчетам существенно отличаются от теоретических.

Таким образом, учет коррелированности временного ряда увеличивает дисперсию этих оценок и расширяет их доверительный интервал.

Таблица 3

Модель AP(1) высот волн: (PAP(1)),  $\bar{h} = 3,0$  м,  $n = 30$ ,  $\beta = 0,95$

Доверительный интервал $I_\beta$	Моменты			
	$m$	$D$	$A$	$E$
Теоретический	1,19	1,98	1,61	2,93
PAP, $\Phi = 0$	1,16	2,59	1,57	3,84
PAP, $\Phi = 0,5$	2,09	3,31	1,44	3,21

**Оценка параметров и квантилей распределения.** Более правдоподобная параметрическая модель выборочной изменчивости оценок  $\mathfrak{Z}_\zeta^*(x, \Theta_i) = \mathfrak{Z}_\zeta(x, \Theta_i^*)$  должна учитывать вид распределения  $\mathfrak{Z}(x, \Theta)$ , способ оценивания параметров  $\Theta_i$  и коррелированность значений исходного временного ряда. В работе [14] на примере волн показано, что закон распределения  $\mathfrak{Z}_{\mathfrak{Z}^*(x)}(\lambda)$  для семейства вейбулловских

распределений  $\mathfrak{Z}(x) = \exp\left[-A\left(\frac{x}{\bar{x}}\right)^k\right]$  имеет вид

$$\mathfrak{Z}_{\mathfrak{Z}^*(x)}(\lambda) = N\left\{\frac{x}{\sigma_{\bar{x}}} k \sqrt{A|\ln \lambda|^{-1} - m_{\bar{x}}}\right\}. \quad (16)$$

Например, при  $x/\bar{x} = 1$  и  $k = 2$  для  $n = 100$  по (3) 95%-ый доверительный интервал  $I_\beta = 0,10$ , а по (16)  $I_\beta = 0,04$ . То есть совместный учет вида распределения и связности ряда привел к сужению доверительного интервала.

Для инженерных задач наибольший интерес представляют квантили  $x_p$  распределения  $\mathfrak{Z}_\zeta(x)$ . Оценки  $x_p^*$  вычисляются через порядковые статистики  $x_{(r)}$ . Даже для выборки независимых случайных величин  $x_{(r)}$  и  $x_{(s)}$  коррелированы как

$$\text{cov}(x_r^*, x_s^*) = \frac{p_r(1-p_s)}{(n+2)f_r f_s}. \quad (17)$$

В практических расчетах принимают, что  $x_p^*$  распределена вокруг  $x_p$  асимптотически нормально с дисперсией

$$D_{x_p^*} = \frac{p(1-p)}{(n+2)f_p^2}. \quad (18)$$

В (17) и (18), где  $t = p, r, s$  – значение плотности распределения  $\zeta$  при  $x = x_t$ .

В табл. 4 сопоставлены асимптотические доверительные интервалы и доверительные интервалы, вычисленные с помощью бутстреп-процедур [15] для квантилей  $x_p$ , интерквантильного расстояния  $Q = x_{0,25} - x_{0,75}$ , размаха  $R = x_{\max} - x_{\min}$  и “трехсреднего”  $T = (x_{0,25} + x_{0,75} + 2x_{0,5}) \frac{1}{4}$  измерений температуры воды для станции ВУ-15 в Балтийском море. Хотя выборка мала, однако совпадение доверительных интервалов “слишком хорошее”.

Таблица 4

Сопоставление доверительных интервалов квантилей температуры воды на станции ВУ-15 (февраль 1952-1989 гг.,  $n = 13$ ,  $\beta = 0,9$ )

Способ определения	Квантильные характеристики							
	$X_{\min}$	$X_{0,25}$	$X_{0,5}$	$X_{0,75}$	$X_{\max}$	Q	R	T
Натура	0,17	1,29	2,07	2,79	3,50	1,50	3,33	2,05
Доверительный интервал								
Теория: верхняя граница	0,069	0,91	1,71	2,41	3,27	0,79	3,0	1,59
нижняя граница	0,40	1,67	2,43	3,17	3,73	2,21	3,66	2,52
Бутстреп: верхняя граница	0,17	0,76	1,60	2,20	3,14	0,84	2,78	1,49
нижняя граница	0,49	1,77	2,65	3,11	3,50	1,78	3,33	2,42

В [7] приведены доверительные интервалы, построенные для квантилей  $x_p^*(\Theta_1, \Theta_2) = x_p(\Theta_1^*, \Theta_2^*)$

$$x_p^*(\Theta_i) = x_p(\Theta_i^*); \quad \mathfrak{F}_{x_p^*}(\lambda) = \int_{D(p, \lambda)} f_{\Theta^*}(t) dt; \quad x_p^{1,2} = x_p^* m \varepsilon_{\beta} \sigma_{x_p^*};$$

$$D_{x_p^*} = \left(\frac{x_p}{s}\right)^2 \left[ a_{11} D_{h_{0,5}^*} - 2a_{12} D_{h_{0,5}^*, s^*} + a_{22} D_{s^*} \right]; \quad (19)$$

$$a_{11} = \left(\frac{s}{h_{0,5}}\right)^2, \quad a_{12} = \frac{u_F}{h_{0,5}}, \quad a_{22} = \left(\frac{u_F}{s}\right)^2, \quad u_F = s(\ln x_F - \ln h_{0,5})$$

при логарифмически-нормальном распределении  $\ln(x, h_{0,5}, s)$ , где  $s = 1.35 / \ln(x_{0,25} / x_{0,75})$ .

Наиболее существенные выводы состоят в том, что  $\varepsilon_{\beta}$  в (19) не является константой, как в (3), а зависит от вида распределения  $\mathfrak{F}_{x_p^*}(x)$ ; коррелированностью оценок  $h_{0,5}^*$  и  $s^*$  можно пренебречь,  $D_{h^*}$  и  $D_{s^*}$  существенно зависят от длины ряда и коэффициента затухания коррелограммы. Предложенные формулы достаточно просты для инженерных расчетов.

**Экстремумы.** Среди квантилей  $x_p^*$  наиболее интересны в технических приложениях экстремумы выборки.

Для последовательности независимых случайных величин  $\{\zeta_i\}$  существуют три типа асимптотических распределений величины  $M_n = \max \{\zeta_i\}$ . Наиболее распространенным из них является распределение Гумбеля

$$P\{a_n(M_n - b_n) \leq x\} \rightarrow \exp(-\exp(-x)), \quad M_n = \max \{\xi_{1,K}, \xi_n\}. \quad (20)$$

Параметры  $a_n$  и  $b_n$  зависят от типа исходного распределения. Их значения для некоторых распределений приведены в табл. 5.

Таблица 5

Исходные параметры  $a_n, b_n$  распределения Гумбеля

Параметр	Исходное распределение		
	Вейбулла $V(I, k)$	Гаусса $N(0, I)$	Логнормальное
$a_n$	$k\Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right)(\ln n)^{\frac{k-1}{k}}$	$\sqrt{2 \ln n}$ ,	$a_{ng} \exp(-b_{ng})$
$b_n$	$\frac{k\sqrt{\ln n}}{\Gamma\left(\frac{1}{k} + 1\right)}$	$\sqrt{2 \ln n} - \frac{1}{2\sqrt{2 \ln n}}(\ln \ln n + \ln 4\pi)$	$\exp(b_{ng})$

Здесь  $a_{ng}, b_{ng}$  – параметры Гумбеля для соответствующего гауссова распределения.

Из таблицы видно, что  $a_n$  и  $b_n$  зависят от количества независимых членов выборки.

Для стационарного гауссова временного ряда  $\xi(t)$  со спектральной плотностью  $S(\omega)$  в [18] показано, что  $M(T)$  асимптотически стремится к распределению

$$P\{a_T [M(T) - b_T] \leq x\} \rightarrow \exp(-\exp(-x)),$$

а его параметры  $a_T$  и  $b_T$  имеют вид

$$a_T = \sqrt{2 \ln T}, \quad b_T = \sqrt{2 \ln T} + \frac{\ln \sqrt{\lambda_r}}{\sqrt{2 \ln T}}, \quad \lambda_r = r''(0) = \int \omega^2 S(\omega) d\omega. \quad (21)$$

В [17] для наибольшей высоты  $h_{max}$  из  $n$  последовательных высот волн на интервале квазистационарности применялась модель РАР(1). Для  $n=1000$  по формуле (20) 90%-ый доверительный интервал для  $h_{max}/h$  будет (2,73; 3,60), по модельным расчетам (2,7; 3,57) для независимых величин ( $\Phi = 0$ ) и (2,5; 3,43) – для зависимых величин ( $\Phi = 0,4$ ).

Даже на приведенных выше примерах определения высот волн и уровней невиских наводнений можно убедиться в том, что их наибольшие значения  $\zeta_m$  необходимо рассматривать в терминах теории “выбросов” случайных процессов [19]. Для максимумов гауссова стационарного случайного процесса плотность распределения имеет вид

$$f_h = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[ v \exp\left(-\frac{h^2}{2v^2}\right) + \sqrt{2\pi(1-v^2)} h \exp\left(-\frac{h^2}{2}\right) \Phi\left(\frac{\sqrt{1-v^2}}{v} h\right) \right], \quad (22)$$

где  $h = \frac{\xi_m}{\sigma}$  ;

$$v = 1 - \frac{\sigma_1^4}{\sigma^2 \sigma_2^2};$$

$\sigma, \sigma_1, \sigma_2$  – среднеквадратичные отклонения процесса и его производных.

Для узкого спектра выражение (22) сходится к плотности распределения Релея, а для широкого – к плотности распределения Гаусса.

Для практических расчетов используются упрощенные формулы. Например, для расчета наибольшей волны в шторме длительностью  $S$  применяется распределение

$$F_m(h) = L \exp \int_0^S \ln F(h, t) \frac{dt}{\bar{v}(t)}, \quad (23)$$

где  $F(h, t)$  – распределение Релея с  $\bar{h}(t)$ , переменным по  $t$ ;

$\bar{v}(t)$  – средний период волн,

а для расчета наибольшей волны в последовательности штормов – распределение

$$\mathfrak{Z}(h_{max}) = \sum_{k=0}^{\infty} P_k [F_m(h)]^k, \quad (24)$$

где  $P_k$  – дискретное распределение, характеризующее вероятность появления серии из  $k$  штормов в фиксированный интервал времени.

Когда берется ежегодно одна  $h_{max}$ , то  $\mathfrak{Z}(h_{max})$  приближается распределением (21), параметры  $a_T, b_T$  которого оцениваются по натурным данным. Когда  $h_{max}$  выбирается по некоторому уровню  $H$ , то довольно часто возникают ситуации, при которых в некоторые годы будет несколько волн  $h_{max} \geq H$ , а в другие годы –  $h_{max} < H$ . Характерный вариант такого распределения  $P_k$  приведен в табл. 6.

Таблица 6

Распределение числа экстремальных штормов в год (Баренцево море, 1953-1993гг.)

Показатель	Значение					
Число наиболее значимых штормов, $k$	0	1	2	3	4	5
Оценка вероятности появления, $P, \%$	45,0	30,0	15,0	5,0	2,5	2,5

В практических расчетах в качестве  $P_k$  в (24) используют распределения (1) или (2). Реальные ситуации требуют для их аппроксимации более сложных моделей, создание которых является задачей дальнейших исследований.

**Заключение.** Изложенное позволяет сделать следующие выводы:

1. Достоверность статистических оценок вероятностных характеристик гидрометеорологических величин существенно зависит от связности временного ряда исходных данных.

2. Доверительный интервал для функции распределения  $\mathfrak{Z}_\zeta(x)$  и квантилей  $x_p$  может быть сужен, если учитывается априорная информация о виде распределения и используются параметрические оценки  $\mathfrak{Z}_\zeta^*(x, \Theta) = \mathfrak{Z}_\zeta(x, \Theta^*)$ ,  $x_p^*(\Theta) = x_p(\Theta)$ , а также – ковариация при различных значениях аргумента.

3. Расчетные соотношения для моментов оценок можно получить при использовании статистических моделей временных рядов.

4. Проблема согласования выводов о распределении крайних членов выборок и максимумов траекторий случайных процессов требует разработки специальной вероятностной модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рожков В.А. Теория вероятностей случайных событий, величин и функций с гидрометеорологическими примерами. СПб, 1996, 456 с.
2. Баруча-Рид А.Т. Элементы теории марковских процессов и их приложения. М., Наука, 1969, 512 с.
3. Кокс Д., Льюис П. Статистический анализ последовательностей событий. М., Мир, 1962, 312 с.
4. Ван дер Варден Б.Л. Математическая статистика. М., ИЛ., 1960, 434 с.

5. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. М., Физматгиз, 1961, 406 с.
6. Мирский Г.Я. Характеристики стохастической связи и их измерение. М., Энергоиздат, 1982, 320 с.
7. Рожков В.А., Трапезников Ю.А. Вероятностные модели океанологических процессов. Л., Гидрометеиздат, 1990, 272 с.
8. Бухановский А.В. Вероятностное моделирование полей ветрового волнения с учетом их неоднородности и нестационарности. Автореферат диссертации на соискание степени кандидата ф-м. наук. СПб, ААНИИ, 1997, 26 с.
9. Микулинская С.М., Рожков В.А., Румянцева С.А. Доверительный и толерантный интервалы для оценок функций распределения и квантилей, вычисленных по временным рядам. Измерительная техника, 1994, N1. С. 51-54.
10. Лившиц Н.А., Пугачев В.Н. Вероятностный анализ систем автоматического управления. Советское радио, М., 1963, 896 с.
11. Шелухин О.И., Беляков И.В. Негауссовские процессы. СПб, Политехника, 1992, 312 с.
12. Кендалл М.Дж., Стюарт А. Теория распределений. М., Наука, 1966, 587 с.
13. Крамер Г. Математическая статистика. ИЛ, М., 1948, 631 с.
14. Давидан И.Н., Рожков В.А. Вопросы достоверности статистических оценок функций распределения элементов волн. Научно-технический сборник. Регистр СССР, вып.2, Л., 1972. С.22-39.
15. Воронцов А.А., Рожков В.А. и др. Компьютерная информационно-справочная система для обработки и анализа морских гидрометеорологических и гидрохимических данных наблюдений (КИСС). Сб. Формирование базы данных по морским льдам и гидрометеорологии. СПб, Гидрометеиздат, 1995. С.192-207.
16. Справочник по прикладной статистике /Под ред. Э.Ллойда, У.Ледермана. т. I. М., Финансы и статистика, 1989, 510 с.
17. Проблемы исследования и математического моделирования ветрового волнения./под ред. И.Н.Давидана. СПб, Гидрометеиздат, 1995, 472 с.
18. Лидбеттер М., Ротсен Х., Линдгрэн Г. Экстремумы случайных последовательностей и процессов. М., Мир, 1989, 510 с.
19. Тихонов В.И. Хименко В.И. Выбросы траекторий случайных процессов. М., Наука, 1986, 304 с.

ГРНТИ 78.21.43.15

### **БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ В СИСТЕМЕ “ОКЕАН – АТМОСФЕРА – ЛИТОСФЕРА”**

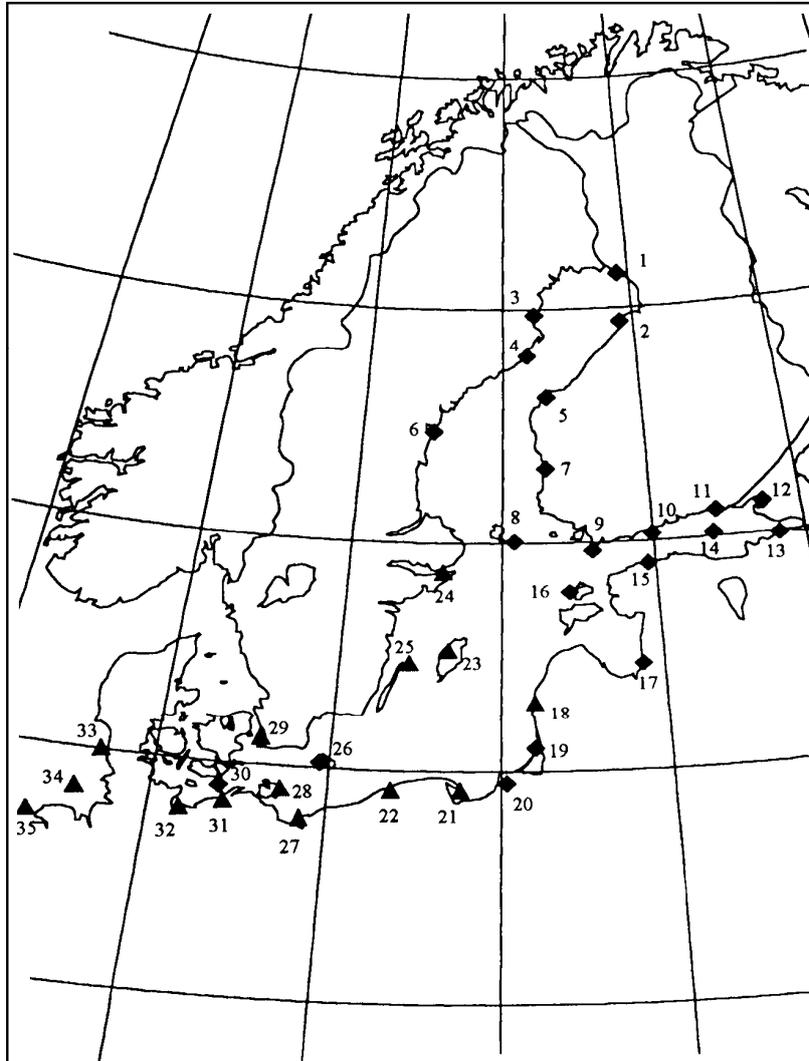
**В.И.БОГДАНОВ**  
(ГАО РАН),  
**М.Ю.МЕДВЕДЕВ**  
(ИФЗ РАН),  
**Н.Н.НЕРОНОВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Приведены фактические свидетельства присутствия в данных уровневых станций Балтийского моря “системных” сигналов, несущих информацию о взаимодействии океанических, атмосферных и литосферных факторов при формировании его гидрологического режима. Отмечается принципиальная важность адекватного организационного обеспечения комплексных геофизических исследований, базирующихся на инструментальных измерениях уровня. Высказано предположение о возможности использования уровневой сетки Балтийского моря в качестве инструментария для изучения макропроцессов в системе “океан–атмосфера–литосфера” в районах Северной Атлантики и ряда районов Арктики.*

“Можно ли придумать пример более яркий, чем проблема Балтики, в коей вопросы геологии и вопросы физической и органической жизни моря причудливо сплетаются с вопросами речного стока”. Так выразил свое представление о сложности и многогранности процессов, формирующих гидрологический режим Балтийского моря, известный гидрограф-исследователь А.М.Рудно, выступая с речью на годовом Собрании Российского гидрологического института, состоявшимся в Петрограде 21 марта 1922 года [1].

С тех пор объем фактических сведений, относящихся к гидро-, атмо- и литосфере и представляющих интерес в связи с этой проблемой, значительно возрос. Существенно изменились концепции, методология и техническая оснащенность экспериментальной геофизики. Эти изменения в последние десятилетия приобрели радикальный характер, благодаря все более широкому использованию в исследовательских проектах наземно-спутниковой и космической техники VLBI, SLR/ GPS. Совсем недавно такая техника начала применяться и при изучении комплекса

вопросов, связанных с международным геодезическим и геодинамическим проектом “Уровень Балтийского моря”. Он был инициирован группой ведущих ученых Европы (J.Kakkuri, L.E.Sjoberg, J.B.Zielenski) в рамках исследовательской группы SSG 5.147 “Изучение Балтийского моря Международной Ассоциацией Геодезии”. С 1993 г. в выполнении проекта принимают участие Германия, Дания, Латвия, Норвегия, Польша, Финляндия, Швеция и Эстония и с 1994 г. – Россия. Опорная сеть включает 35 станций (рисунок), из которых в кампании участвовало 13.



Сеть уровневых постов, участвующих в проекте “Уровень Балтийского моря”:  
 1– Кеми, 2 – Раахе, 3 – Фурусгунд, 4 – Ратан, 5 – Вааса, 6 – Спикарна, 7 – Мянтилуото, 8 – Дегерби,  
 9 – Ханко, 10 – Хелсинки, 11 – Хамина, 12 – Выборг, 13 – Шепелево, 14 – Гогланд, 15 – Таллин,  
 16 – Ристна, 17 – Скулте, 18 – Лиепая, 19 – Молас, 20 – Светлогорск, 21 – Владиславово, 22 – Устка,  
 23 – Висбю, 24 – Стокгольм, 25 – Эланд, 26 – Борнхольм, 27 – Свиноуйсьце, 28 – Засониц,  
 29 – Клагсхамн, 30 – Гедсер, 31 – Варнемюнде, 32 – Травемюнде, 33 – Лист/Зильт, 34 – Гельголанд,  
 35 – Боркум.

Проект реализует возможности спутниковой системы NAVSTAR GPS в целях усовершенствования и унификации технологии прецизионного определения высотных отметок геодезических реперов и нуль-пунктов морских уровневых станций [2]. Ожидается, что решение указанной задачи приведет к заметному улучшению уровневых данных и сведений о деформациях земной коры как источников информации о пространственно-временной изменчивости физической

поверхности Балтийского моря, его дна и берегов в единой геодезической системе (геоцентрических координат), что позволит уже в недалеком будущем приступить к экспериментальному исследованию конкурентного взаимодействия атмосферно-океанических и континентальных факторов, определяющих его гидрологический режим.

В случае Балтики сама специфика конкурентного взаимодействия, его системный контекст, а также конкретные проявления пока еще далеки от понимания. Об этом свидетельствует многовариантность и внутренняя противоречивость уподоблений, привлекаемых для характеристики ее гидрологического облика. (В роли аналогов используются и фьорд, и эстуарий, и внутриконтинентальный водоем и даже такой экзотический объект, как бухта, обладающая свойствами резонатора Гельмгольца.) Вместе с тем, определенный научный задел в отношении данного вопроса все же имеется, хотя, как правило, соответствующие исследования ранее выполнялись на основе океанографических (а не равномерных) данных. Среди них особый интерес представляют работы английского океанолога Диксона, опубликованные более 20 лет назад. В одной из своих работ [3], посвященной методике прогноза значительных по объему вторжений североморских вод в Балтику, он выяснил наиболее характерные обстоятельства подготовительной фазы таких событий, заканчивающейся заметным повышением солёности придонного слоя в проливах Скагеррак и Каттегат. Отметим, что последнее еще задолго до Диксона рассматривалось как признак формирования метастабильной бароклинной структуры, которая в качестве энергетического резервуара лимитирует своим потенциалом расходные и объемные параметры вторжения.

Новым и наиболее важным результатом названной работы явилась демонстрация того, что запуск всего каскадного процесса, завершающегося вторжением в Балтику североморских вод, следует за макромасштабной перестройкой атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой, точнее над той ее частью, которая относится к средним широтам. Перестройка выражается в долговременном ослаблении зонального (западного) переноса воздушных масс и в преобладании у восточной границы океана погодных условий, характеризующихся учащенной повторяемостью блокирующих антициклонов большой мощности. Все это находит отражение в достаточно определенном по морфологическим признакам и соразмерном по пространственному масштабу паттерне барического рельефа, выявляющемся на синоптических картах соответствующего назначения. Тот же паттерн, как было показано в более ранней работе Диксона, сопутствует рекуррентным событиям другого типа: продолжительным (до года и более) возрастанием солёности над всей областью континентального шельфа от океанской границы Британских островов до восточной границы Северного моря и Ла-Манша. Это свидетельствует о том, что в актах вторжений, обеспечивающих, как известно, "вентиляцию" глубинных вод Балтики, участвуют водные массы океанического происхождения.

В годы, отмеченные описанными выше региональными аномалиями атмосферной циркуляции, противоточный ("кнутсеновский") режим масс-обмена в Датских проливах (Большом и Малом Бельтах и др.) нарушается, по-видимому, чаще, чем обычно. Принимая во внимание структуру водного баланса Балтийского моря, можно предположить, что в те же годы значительно изменяются и условия аккумуляции вод в его котловине. В этом предположении и с учетом сегодняшних представлений о природе продолжительных ослаблений зональности атмосферной циркуляции, в работе [4] был выполнен специальный анализ низкочастотных (отвечающих диапазону короткопериодной изменчивости современного климата Земли) колебаний уровня Балтики.

Схема размещения уровенных станций приведена на рисунке. Данные, относящиеся к старейшим из числа действующих станций мировой сети ("Стокгольм" и "Кронштадт"), были подвергнуты двойному тестированию с целью выявления

признаков персистентности рядов, представляющих колебания уровня в указанном диапазоне. На языке теории фрактальных временных рядов, имеющей непосредственное отношение к основному тесту (речь идет о методе “нормированного размаха” и интерпретации получаемых с его помощью результатов, предложенной Мандельбротом [5]), термином “персистентность” обозначается аномальное по длительности последствие, характеризующее особый тип стохастической изменчивости. По ряду существенных признаков изменчивость этого типа сходна со стохастическим поведением детерминированных динамических систем, изучаемых в контексте современных теорий макро- и мезомасштабной изменчивости атмосферы в океане [6].

Результаты тестирования подтвердили высказанное выше предположение о нарушении структуры водного баланса Балтики. Значения однотипных диагностических характеристик, определяемых одним и тем же способом, оказались примерно равными для обоих рядов. Расчеты, выполненные еще для нескольких станций с продолжительным стажем непрерывных наблюдений, показали, что значения однотипных характеристик персистентности остаются близкими на всем пространстве моря – от восточной части Финского залива до пролива Каттегат включительно. Это позволяет считать, что свойство персистентности характеризует когерентную составляющую низкочастотных колебаний уровня, т.е. долгоживущие флуктуации объема воды, аккумулированного в котловине Балтийского моря. Отметим, что наличие динамического отклика Балтики на региональные стохастические возмущения атмосферной циркуляции удалось обнаружить лишь благодаря применению адекватных методов обработки уровнемерных данных.

Результаты рассмотренных исследований вместе с другими научными фактами, освещающими своеобразие гидрологического режима Балтики с тех же или близких позиций, указывают на особый статус этого моря в системе “океан – атмосфера – литосфера”. Его можно определить как статус датчика динамико–информационных (синергетических) процессов, характеризующих региональные внутрисистемные связи. Для названного региона Атлантики – Северной, в особенности, для его восточной части фактические сведения об этих связях отрывочны и не всегда достоверны, а теоретические модели, обеспечивающие требуемое пространственное разрешение, пока еще мало пригодны.

Тем не менее, даже то, что уже известно, позволяет предполагать, что по сложности они не уступают системным связям, характеризующим северо-восточный регион Тихого океана и обнаруживающим себя в каскадном релаксационном процессе, который в качестве промежуточной стадии включает в себя широко известный феномен “Эль-Ниньо” – продолжительное и значительное (на  $3^{\circ}$ – $5^{\circ}$ C) повышение температуры верхних слоев океана, наблюдаемое в условиях ослабления пассатной циркуляции через нерегулярные многолетние промежутки времени в зоне апвеллинга у берегов Эквадора, Перу и северной части Чили. Менее известен тот факт, что специфический сигнал, порождаемый дальнейшим развитием того же процесса, удается выявить путем совместной обработки данных уровнемерных станций, расположенных вдоль восточной границы Тихого океана (к северу от экватора). Это оказывается возможным даже на удаленных от экватора участках континентального шельфа, например, у “Орегонского берега” – западного побережья США (между параллелями  $42^{\circ}$  и  $47^{\circ}$  с.ш.), где помехи, создаваемые сезонной цикличностью, осложнены эффектами прибрежного апвеллинга [7].

Региональные связи, наделяющие когерентную составляющую низкочастотных колебаний уровня Балтийского моря свойством персистентности, вряд ли обладают каким-либо сходством с теми, которые реализуются в описанном выше релаксационном процессе. Однако то обстоятельство, что “системные сигналы”, присутствующие в уровнемерных данных с соответствующим разрешением во времени, проходят через область континентального шельфа, позволяет проводить определенные параллели в отношении характера помех. Последние необходимо учитывать в виду того, что эти данные представляют собой едва ли не единственный ис-

точник доступной и систематически получаемой информации, пригодной для решения задач идентификации, которые связаны с определением общей структуры и параметров каскадных процессов, возбуждаемых метастабильными возмущениями атмосферной циркуляции над Северной Атлантикой – в деятельном слое океана, в береговой зоне у его восточных границ и, наконец, над участниками континентального склона и шельфа в окрестности Британских островов.

Приведенные рассуждения позволяют предположить возможность использования уровенной сетки Балтийского моря (полигона) в качестве инструментария для изучения макропроцессов взаимодействия “атмосфера–океан–литосфера” в районах Северной Атлантики (особенно ее восточной части) и некоторых районах морей Северного Ледовитого океана.

Вместе с тем указанные задачи, по-видимому, следует рассматривать, как предмет будущих исследований, осуществимость которых во многом зависит от практических результатов выполняемого в настоящее время проекта “Уровень Балтийского моря”. Почти в той же степени она зависит и от выполнения определенных мероприятий организационного характера. Очевидно, что при дальнейшем сохранении сугубо ведомственного принципа организации большинства инструментальных наблюдений, важных в геофизическом отношении, даже самые успешные результаты подобных высокотехнологичных проектов не смогут оказать должного стимулирующего воздействия на развитие существующих работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Рудно А.М. Балтийское море в представлениях гидрологов ныне и двести лет тому назад. Петроград. 10-я Госуд. Типогр. в Главном Адмиралтействе. 1922. 31 с.
- Kakkuri J. et al. Activity report of the JAG/SSG 5.147 “Studies of the Baltic Sea”, Final results of the Baltic Sea Level 1993 GPS campaign / Rep. Finnish Geodet. Inst. 95:2. Helsinki, 1995. P.3-8.
- Dickson R.R. The prediction of the major Baltic inflows / Dt. hydrogr. Z. 1973. B.26. Heft 3. P.97-105.
- Bogdanov V.I., Medvedev M.Yu., Taybatorov K.A. On the persistence of the oceanic background of apparent sea level changes in the Baltic Sea. / Rep. Finnish. Geodet. Inst. 94:5. Helsinki, 1994. P.21.
- Федер Е. Фракталы. М.: Изд. “Мир”, 1991, 260 с.
- Сонечкин Д.М. Стохастичность в моделях общей циркуляции атмосферы. Л. Гидрометиздат, 1984, 280 с.
- Enfield D.B., Allen J.S. On the structure and dynamics of monthly mean sea level anomalies along the Pacific coast of North and South America. / J. Phys. Oceanogr. 1980, v.10, №4. P.557-578.



## МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

ГРНТИ 78.25.31.35.29

### **ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ИМКО ПО РАЗРАБОТКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТРЕБОВАНИЙ К СРЕДСТВАМ И СИСТЕМАМ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ**

**В.И. ПЕРЕСЫПКИН**  
(ЗАО ЦНИИМФ)

*Характеризуется деятельность ИМО по разработке эксплуатационных требований к техническим средствам навигации. Раскрывается смысл последних документов, принятых по данному вопросу.*

В соответствии с Конвенцией, принятой созванной ООН в марте 1948 г. Международной Морской Конференцией, была основана Межправительственная Морская Консультативная Организация (ИМКО), в 1979 г. преобразованная в Международную Морскую Организацию (ИМО). Целью ее создания было объединение усилий международного морского сообщества по обеспечению безопасности на море.

Необходимость сотрудничества в данной области была очевидна уже давно. Однако приступить к реализации этой идеи удалось лишь в 1914 г., когда впервые была собрана Конференция Морских держав. Непосредственным толчком, способствующим ее созыву, послужила гибель в 1912 г. лайнера "Титаник", унесшего с собой более тысячи человеческих жизней. На Конференции обсуждалась возможность заключения международной Конвенции об охране человеческой жизни на море, но начавшаяся вскоре 1 Мировая война надолго прервала этот процесс. В результате уточненная вторая версия Конвенции была принята и вступила в силу только в 1933 г.

В настоящее время действует четвертый вариант Конвенции, известный (по году принятия) как "SOLAS - 74". Работу по непрерывному совершенствованию этой Конвенции ИМО считает своей важнейшей задачей.

В 1993 г. Комитет по безопасности на море (КБМ - MSC) поручил Подкомитету по безопасности мореплавания (ПКБМ - NAV) подготовить новый текст Главы 5 "SOLAS - 74". Эта Глава включает в себя требования по обеспечению навигационной безопасности мореплавания. Ее содержание оставалось неизменным в течение всего времени действия Конвенции.

Сейчас работа над проектом новой редакции Главы 5 вступила в завершающую стадию. На 41-й и 42-й сессиях ПКБМ, состоявшихся в сентябре 1995 г. и июле 1996 г., специально созданная Рабочая группа представила очередные варианты Главы 5, в которых были учтены предложения и замечания делегаций стран и Международных организаций, принимавших активное участие в ее разработке.\*

Одобренную Комитетом структуру Главы можно условно разделить на три части.

Первая часть является общей. Она содержит 3 Правила, устанавливающие: область применения положений Главы 5, определения понятий, используемых в данной Главе, и исключения из нее.

Вторая часть определяет обязательства которые берут на себя правительства стран - участниц конвенции. В эту часть входит 16 Правил (от 4 до 19).

\* По данному вопросу см. также статью В.С.Макоды и Ю.И.Базарова "Международные стандарты на аппаратуру морских потребителей глобальной СНС ГЛОНАСС" в третьем номере нашего журнала. (Прим. ред.).

В соответствии с указанными Правилами правительства стран - участниц должны организовать:

- \* Службу навигационных предупреждений ;
- \* Метеорологическую службу ;
- \* Службу ледового патруля в Северной Атлантике (для стран данного региона);
- \* Службу поиска и спасания при бедствиях на море;
- \* Гидрографическую службу, в обязанности которой должно входить и сотрудничество с Гидрографическими службами других Государств по обмену гидрографической и навигационной информацией (это требование является новым);
- \* Систему движения по рекомендованным маршрутам;
- \* Службу судовых докладов (это требование является новым);
- \* Службу управления движением судов в стесненных водах (это требование является новым );
- \* Оснащение своих вод средствами навигационного оборудования (это требование является новым);
- \* Контроль за тем, чтобы плавающие под национальным флагом суда имели оборудование, необходимое для обеспечения охраны человеческой жизни на море.

Третья часть относится к оборудованию судов навигационными средствами (Правила от 20 до 39). В данной части регламентируется состав и размещение навигационного оборудования, а также средств радиосвязи на ходовом мостике. В отличие от действующего текста Главы 5 в новой редакции устанавливаются требования к электромагнитной совместимости аппаратуры ходового мостика. Испытания на электромагнитную совместимость должны производиться в процессе освидетельствования аппаратуры в соответствии со Стандартом –945 Международной Электротехнической Комиссии ( МЭК – IEC ).

Вся аппаратура, устанавливаемая на ходовом мостике, должна иметь сертификаты освидетельствования, выданные национальными Администрациями.

В Правиле 20 приводится перечень обязательной для установки на новых судах навигационной аппаратуры, номенклатура которой зависит от их грузоподъемности. В отличие от действующих требований из состава обязательного навигационного оборудования исключен радиопеленгатор и введен приемоиндикатор СНС или РНС, рабочая зона которой перекрывает район плавания судна в предстоящем рейсе. Кроме того, существенным отличием новой редакции является то, что навигационная аппаратура характеризуется и определяется по своему функциональному назначению, т.е. по тем навигационным параметрам или навигационной информации, которые она должна выработать.

Так, например, в п.1.2.5 Правила 20 указывается, что на всех судах должна устанавливаться аппаратура, позволяющая автоматически получать данные о текущих координатах места судна. В п.1.6 говорится о том, что аппаратура курсоуказания должна работать на "немагнитном принципе" (non magnetic means). Как известно, все существующие и перспективные средства курсоуказания основаны либо на использовании магнитного поля Земли, либо ее гравитационного поля и свойств гироскопа. Если же рассчитывать на поступление информации от внешних, по отношению к судну, источников (таких как, естественные астрономические ориентиры или искусственные источники радиоизлучения), то данные о курсе судна могут быть получены и от судовых приемных устройств позволяющих фиксировать направление прихода сигналов. Примером простейших из таких устройств могут служить солнечные и звездные астрокомпасы, широко применявшиеся в авиации в 30-х – 40-х годах нашего века.

\* См. журнал "Судостроение", 1955. №11–12, с.9–11 (Прим. ред.).

В настоящее время доказана и экспериментально подтверждена возможность получения курсовой информации с помощью приема сигналов навигационных ИСЗ среднеорбитной СНС непрерывного действия на разнесенные антенны. Таким образом, если толковать текст п.1.6 Правила 20 расширительно, то в качестве курсоуказателя можно будет использовать и приемоиндикатор СНС усложненной конструкции.

Некоторые специалисты полагают, что приемоиндикатор СНС можно считать и средством измерения скорости, а также пройденного расстояния.

Общие формулировки в обозначении типов навигационной аппаратуры, использованные в проекте новой редакции Главы 5, позволяют учитывать возможные изменения в развитии техники и тем самым продлить срок действия предлагаемого документа, однако, при этом может возникнуть и неопределенность в их толковании (скажем, для проверяющей и проверяемой сторон). Для исключения двойственности понимания положений Правила 20 предлагается принять специальную Резолюцию, в которой будет помещена "таблица соответствия". В этой таблице для каждого пункта Правила 20 указывается традиционное наименование оборудования. Таким образом, вместо одного документа придется пользоваться двумя, что вряд ли можно признать удачным решением.

Технико-эксплуатационные характеристики средств, указанных в Правиле 20, должны соответствовать требованиям, приведенным в Резолюциях ИМО. Часть таких Резолюций действует уже давно, а часть пересматривается с учетом накопленного опыта. К числу недавно принятых относятся Резолюции, устанавливающие требования к приемоиндикаторам: СНС "НАВСТАР" и "ГЛОНАСС", дифференциальным вариантам работы этих систем, РНС "Лоран-С", "Чайка", "Декка", а также к принципиально новым средствам судовождения – устройствам с отображением электронных карт ECDIS – электронным картографическим информационным системам – Резолюция ИМО А.817(19). Продолжается работа над проектом Резолюции, устанавливающей требования к судовым комплектам морских карт и пособий для плавания.

Для того, чтобы ускорить процесс обновления требований к навигационному оборудованию, 19-я Ассамблея ИМО, проходившая в 1995 г., сочла целесообразным разрешить принятие отдельных Резолюций Комитету по безопасности мореплавания и в декабре 1996 г. КБМ принял первую из них – Резолюцию MSC.64 (67).

Среди пересмотренных Резолюций следует остановиться на новой Резолюции А.815 (19) "Всемирная спутниковая навигационная система". В отличие от прежней редакции этого документа (Резолюция А.666), новый вариант устанавливает требования к характеристикам системы и в случае ее использования для обеспечения плавания в стесненных водах и на подходах к портам. Допустимая величина погрешности определения места здесь должна быть не более 10 м ( $P = 0.95$ ), интервал дискретности обновления координат не более 2 с и время запаздывания получения предупредительного сигнала о выходе системы из строя (получения искаженной информации о месте) – не более 10 с.

В остальных водах характеристики системы должны соответствовать требованиям обеспечения общего мореплавания (Резолюция ИМО А.529) и использования ее данных для осуществления операций по поиску и спасению при бедствиях на море.

Признавая важность ввода в действие и успешной эксплуатации Всемирной СНС (ВСНС) для обеспечения безопасности плавания и эффективного выполнения морских перевозок, ИМО приступила к работе по определению дальнейших перспектив развития таких систем в интересах гражданских пользователей.

Мировое морское сообщество беспокоит тот факт, что обе среднеорбитные спутниковые системы – "НАВСТАР" и "ГЛОНАСС" – разрабатывались в интересах военных ведомств США и СССР (сейчас Россия) и контроль за их работой в обеих странах находится в ведении министерств обороны.

Понимая сложность решения проблемы финансирования создания системы, специально предназначенной для обеспечения общего мореплавания и других видов мирной деятельности на море, ИМО изучает также возможность осуществления ком-

промиссного ее варианта. Эта работа проводится совместно с Международной Организацией Гражданской Авиации (ИКАО–ICAO). Для ее выполнения ПКБМ образовал межсессионную Рабочую группу, в состав которой включены представители ряда стран, в том числе и России, а также международных организаций: Международной Гидрографической Организации (МГО), Комиссии Европейского Сообщества (ЕЕС), Европейского Космического Агенства (ESA), Международного Морского Радиотехнического Комитета (CIRM), Международной Ассоциации Маячных Служб (IALA), Международной Ассоциации Институтов Навигации (IAIN), Международной Палаты Судостроения (ICS) и других.

Первое заседание этой Рабочей группы состоялось в сентябре 1995 г. перед началом работы 41 сессии ПКБМ. На сессию был представлен отчет, в котором приведен предварительный перечень требований к перспективной системе со стороны морских пользователей на период 15–20 лет. По основным показателям этот перечень не противоречит данным, указанным в уже упоминавшейся Резолюции ИМО по ВСНС. По мнению рабочей группы, в дополнение к имеющимся возможностям СНС, новая система должна позволять получение данных о курсе и скорости подвижных объектов и передачу корректурной информации для ECDIS. В ходе дальнейшего изучения проблемы надлежит определить механизм управления такой системой, обеспечивающий контроль за ее работой со стороны гражданской международной или нейтральной организации. Серьезной проблемой группа считает поиск возможностей разрешения экономических проблем создания и эксплуатации системы. По просьбе Рабочей группы, координацию деятельности ICAO, IALA, ЕЕС и TSA в данной области согласилась взять на себя Международная Ассоциация Институтов Навигации (IAIN). Представители Европейского Сообщества проинформировали участников совещания о решении образовать специальную рабочую группу "высокого уровня", которой поручено определить пути создания ВСНС-1 и ВСНС-2. В состав этих систем кроме спутников систем "НАВСТАР" и "ГЛОНАСС" должны входить и геостационарные спутники системы ИНМАРСАТ, обеспечивающие контроль за целостностью (integrity) ВСНС. В настоящее время ESA начало осуществление программы создания ВСНС-1, в составе которой должно быть три геостационарных спутника, а в составе ВСНС-2 – восемь таких спутников. Обе системы должны быть совместимыми. Рабочая группа считает целесообразным установить прямой контакт между ИМО и HLG.

Одобренная 5 декабря 1996 г. Резолюция MSC.64 (67) "Принятие новых эксплуатационных требований и поправок к существующим эксплуатационным требованиям" содержит:

\* Рекомендации по эксплуатационным требованиям к интегрированным системам ходового мостика ( Приложение 1),

\* Рекомендации по эксплуатационным требованиям к судовому оборудованию для приема информации от морских радиомаяков, передающих дифференциальные поправки для СНС "НАВСТАР" и ГЛОНАСС" ( Приложение 2).

Кроме этих Рекомендаций, в Резолюцию включены поправки к ранее принятым Резолюциям Ассамблей ИМО, а именно к :

\* Резолюции А.342 (9) Рекомендации по эксплуатационным требованиям к авто-рулевым ( Приложение 3),

\* Резолюции А.477 (12) Рекомендации по эксплуатационным требованиям к радиолокационным станциям ( Приложение 4),

\* Резолюции А.817 (19) Рекомендации по эксплуатационным требованиям к ECDIS ( Приложение 5), которые должны войти в эту Резолюцию в качестве "Дополнения 6".

Указанный документ представляет собой обширное издание, материалы которого относятся к разнотипному навигационному оборудованию. Следует отметить, такая практика в подготовке документов ИМО введена впервые. Поправки к требованиям в значительной степени изменяют действующие положения. Однако срок вступления в

силу новых требований отнесен к 1999 г., что признается достаточным для их реализации. Приложение 5 вносит важное дополнение в ранее принятую Резолюцию А.817 (19).

Как известно, в этой Резолюции требования к дублирующему оборудованию (back up) были сформулированы только в общем виде. Сейчас в "Дополнении 6" указаны весьма подробные сведения, относящиеся к технико-эксплуатационным характеристикам резервных устройств, которые должны входить в состав судовой аппаратуры ECDIS. За исключением некоторых несущественных отличий дело сводится к тому, что на судне должен устанавливаться практически второй комплект оборудования, способный обеспечить навигационную безопасность в течение оставшейся части рейса, или же набор откорректированных традиционных карт. Указанное обстоятельство должно привести к удорожанию судового навигационного оборудования, что может осложнить процесс широкого внедрения качественно нового и, как представляется, весьма эффективного навигационного средства. Приведенные соображения учитывались при принятии данного решения, но необходимость гарантированного обеспечения безопасности мореплавания здесь сыграла определяющую роль.

Выполненный краткий обзор деятельности рабочих органов ИМО по установлению требований к аппаратуре навигационного назначения показывает, что в данной области проводится интенсивная работа и здесь получены важные результаты. Этот процесс длится непрерывно и делегации России принимают в нем активное участие.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.29

### **ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ИКАО ПО НОРМИРОВАНИЮ ТОЧНОСТИ АЭРОНАВИГАЦИИ**

**С.Ю.САРАЙСКИЙ**  
(Академия ГА)

*Излагаются некоторые итоги работы созданной в 1947 г. Международной гражданской авиационной организации ИКАО (ICAO) по обоснованию требований, предъявляемых к характеристикам и организации систем обеспечения навигации и управления воздушным движением.*

Исполнилось 50 лет со дня вступления в силу 4 апреля 1947 г. Чикагской конвенции о международной гражданской авиации, ознаменовавшего создание одной из самых представительных и авторитетных международных авиационных организаций – ИКАО (International Civil Aviation Organization). Одной из основных задач ИКАО на протяжении всех лет ее существования является обеспечение безопасного и упорядоченного развития международной гражданской авиации во всем мире. Среди многочисленных направлений деятельности ИКАО важное место занимает целенаправленная работа по обеспечению точности и надежности навигации, обоснованию требований, предъявляемых к системам навигации и управления воздушным движением. Деятельность в этом направлении, осуществляемая под руководством Совета ИКАО аэронавигационной комиссией, находит отражение в документах, обобщающих мировой опыт аэронавигации и содержащих рекомендации, основанные на результатах научных исследований и оценке перспектив развития навигационных средств. Конкретную работу по рассмотрению отдельных аспектов данной проблемы проводят многочисленные группы экспертов ИКАО, включающие крупных специалистов по теории и практике аэронавигации из разных стран.

Все большую актуальность проблема обоснования требований к точности навигации стала приобретать по мере возрастания интенсивности воздушного движения и повышения требований к эффективности использования воздушного пространства, экономичности полетов. Стремление выполнять полеты на экономически выгодных эшелонах (высотах) и по наиболее коротким маршрутам привело к их перегруженности, выдвигая на первый план задачу обоснования норм эшелонирования – интервалов горизонтального, продольного и вертикального разделения воздушных судов (ВС) и их потоков. Очевидно, что, чем меньше нормы эшелонирования, тем ближе траектории полета к оптимальным по расходу топлива, но тем больше риск столкновения ВС, следующих по смежным линиям заданного пути. Для решения этой многокритериальной задачи потребовалось создание математической модели, связывающей нормы эшелонирования, допустимый риск столкновения, характеристики точности навигации, размеры и скорости ВС, интенсивность движения и другие параметры. Оценка их значений, а также законов распределения погрешностей потребовала сбора обширного статистического материала об уклонениях ВС, полученного с помощью средств радиолокационного контроля.

Своеобразным полигоном для внедрения научных подходов к обоснованию норм эшелонирования и требований к точности навигации стал регион Северной Атлантики. Его большие размеры и недостаточная оснащенность навигационными средствами рельефно выявили зависимость экономической эффективности полетов от достигаемой точности местоопределения. Группа экспертов ИКАО по общему планированию в Северной Атлантике с использованием математической модели риска столкновений на параллельных маршрутах, разработанной под руководством П.Рейха в середине 60-х годов, обосновала возможность изменения норм бокового эшелонирования (расстояний между линиями заданного пути – треками) и разработала требования к точности и надежности навигации в этом регионе.

Данный подход получил название концепции минимальных навигационных характеристик (Minimum Performance Specifications – MNPS) и включает в себя следующие требования к навигационной точности:

- \* доля времени полета вне полосы  $\pm 30$  морских миль от оси трека не должна превышать  $5,3 \cdot 10^{-4}$  (примерно 1 ч на 2000 ч налета);
- \* доля времени полета с боковым уклонением от 50 до 70 морских миль не должна превышать  $1,3 \cdot 10^{-4}$  (1 ч на 8000 ч);
- \* среднее квадратическое боковое уклонение ВС от оси трека не должно превышать 6,3 морских мили.

Первые два требования непосредственно вытекают из математической модели при значении допустимого риска столкновений  $0,2 \cdot 10^{-7}$  катастроф на час полета. Третье требование соответствует практической точности коррекции численных координат по РНС “Омега” в данном регионе, но следует отметить, что все эти требования не связаны с конкретным видом навигационной системы. Воздушные суда, не удовлетворяющие MNPS, вынуждены выполнять полеты по обходным маршрутам или на ниже лежащих эшелонах.

Аналогичные вышеупомянутым причины обусловили необходимость решения проблемы сокращения норм вертикального эшелонирования в регионе Северной Атлантики с 600 м до 300 м (1000 ф) на высотах более 29000 ф (8850 м). Работа в этом направлении проводилась с 1982 г. с участием нескольких групп экспертов ИКАО. Основные результаты исследований представлены в Инструктивном материале по применению минимума вертикального эшелонирования 300м (NAT Doc 002). Математическое моделирование показало возможность введения сокращенных норм вертикального эшелонирования (Reduced Vertical Separation Minimum – RUSM) с обеспечением допустимого риска столкновений  $2,5 \cdot 10^{-9}$  1/ч, но при условии достаточно жестких требований к характеристикам измерения и выдерживания высоты:

- средняя погрешность измерения высоты в основном диапазоне режимов эксплуатации составляет менее 80 ф (24,4 м);
- сумма средней погрешности измерения и утроенного среднего квадратического отклонения не превышает 200 ф (61 м);
- установлено автоматическое устройство выдерживания высоты в пределах допустимых отклонений  $\pm 65$  ф (19,8 м).

ВС, выполняющие полеты в регионе действия RUSM, не должны быть оборудованы, как минимум, двумя системами измерения, удовлетворяющими указанным требованиям, системами автоматической коррекции аэродинамической погрешности высотомера, приемоответчиком для передачи высоты на землю, а также визуальной и звуковой сигнализацией об отклонении от заданной высоты.

С первого квартала 1997 г. начато поэтапное внедрение RUSM в Северной Атлантике. Не только каждый тип, но и каждое ВС для выполнения полетов в этом регионе должны пройти проверку на соответствие установленным требованиям и получить разрешение, регистрируемое в единой базе данных.

Принципы нормирования точности навигации, применяемые в Северной Атлантике, распространяются и на другие регионы земного шара: север Канады, тихий океан (где уже до 2000 г. планируется введение RUSM), а также Западную Европу. Этот факт имеет важное значение для отечественных пользователей воздушного транспорта, перед которыми встает задача приведения в соответствие с RUSM не только парка ВС, летающих за океан, но и выполняющих континентальные полеты.

Важным шагом ИКАО в нормировании точности навигации явилась разработанная Комитетом по будущим навигационным системам (FANS) концепция требуемых навигационных характеристик (Required Navigation Performances – RNP). Сущность данного подхода заключается в установлении единого показателя точности навигации, необходимого для полетов в пределах конкретного воздушного пространства. Этот показатель не связан с конкретным видом навигационной системы, что придает ему общий характер и делает применимым и для перспективных систем, в том числе спутниковых. Такой подход имеет преимущества с различных точек зрения. Для пользователей воздушных судов он позволяет определить требуемый состав бортового навигационного оборудования и необходимый уровень подготовки летного состава. Планирующим и обслуживающим воздушное движение органам облегчается задача формирования сети маршрутов полета и организации движения, обеспечивающих требуемый уровень безопасности полетов. Для разработчиков навигационного оборудования определяются требования к точности и целостности навигационных систем.

Основные положения данного подхода содержатся в разработанном Группой экспертов ИКАО по рассмотрению общей концепции эшелонирования Руководстве по требуемым навигационным характеристикам (Док.9613). В соответствии с этим документом требуемая точность навигации распространяется пока только на навигацию в горизонтальной плоскости – по боковой и продольной координатам, но предлагается, что в будущем может потребоваться также учет погрешностей выдерживания высоты.

Тип RNP определяется величиной удерживания, характеризующей размер области с центром в точке заданного местоположения ВС, в пределах которой оно будет находиться в течение 95% полетного времени. Величина удерживания выражается в морских милях. Для упрощения использования RNP при планировании воздушного пространства эллиптическая форма этой области заменяется круговой. Поэтому, например, тип RNP 1 означает, что в произвольный момент времени с вероятностью 0,95 ВС должно находиться в радиусе 1 морской мили от точки, указанной органом управления воздушным движением. При этом никаких предположений о законе распределения погрешностей места не делается и, соответственно, не устанавливаются максимальные отклонения ВС от заданного места.

Типы RNP определяют минимальную точность выдерживания навигационных характеристик в данной области воздушного пространства. Они устанавливаются с учетом наличия в данном районе наземных навигационных средств и их точности, погрешностей бортового приемника и систем индикации, а также погрешностей пилоти-

рования. ВС с менее точными типами RNP, как правило, не будут допускаться в воздушное пространство с более строгими требованиями, либо для них будут устанавливаться увеличенные минимумы эшелонирования.

Установлено четыре основных типа RNP, предназначенных для общего применения при полетах по маршруту.

Тип RNP 1, соответствующий величине удерживания 1,85 км, предусматривается для обеспечения наиболее эффективных полетов по маршрутам с использованием наиболее точной позиционной информации (в том числе, полученной от спутниковых систем). Он может быть использован для зональной навигации и для полета по стандартным маршрутам вылета и прибытия.

Тип RNP 4 (7,4 км) обычно используется в континентальном воздушном пространстве и предназначен для маршрутов с ограниченным расстоянием между навигационными средствами. Величина 4 морских мили соответствует рекомендуемой ИКАО полуширине защищенного воздушного пространства для маршрутов, задаваемых радиомаяками VOR.

Тип RNP 12,6 (23,3 км) обеспечивает ограниченную оптимизацию маршрутов в районах с пониженным уровнем радионавигационного обеспечения. Величина удерживания соответствует удвоенной средней квадратической погрешности, установленной в районе действия MNPS.

Тип RNP 20 (37 км) характеризует минимальные возможности, приемлемые для полетов по любым маршрутам в контролируемом воздушном пространстве.

Другие, более точные типы RNP, будут устанавливаться впоследствии для выполнения полетов в районах аэродромов, на схемах вылета и захода на посадку. Отмечается также, что в отдельных государствах (имеется в виду Россия) будет продолжаться использоваться ширина коридора 5 км (2,7 морских мили), поскольку точность навигации основного парка ВС превышает требования RNP 4 и используются средства независимого радиолокационного контроля.

Предполагается, что значения типов RNP будут применяться при решении различных задач аэронавигационного обеспечения полетов, например, построении зон учета препятствий.

Основной способ обеспечения RNP заключается в использовании методов и средств зональной навигации (Area Navigation – RNAV). RNAV позволяет воздушному судну выполнять полет по любой желаемой траектории, в отличие от традиционных маршрутов, проходящих через радиомаяки. Данное Руководство по требуемым навигационным характеристикам заменило собой с включением всего необходимого материала действовавшее ранее Руководство по зональной навигации (Док 9573). Использование RNAV предусматривает наличие на борту вычислителя, позволяющего определять боковое и продольное местоположение ВС относительно заданной траектории с использованием информации от угломерно-дальномерных систем LORAN-C и OMEGA, спутниковых навигационных систем, а также автономных средств счисления (инерциальных навигационных систем).

В Руководстве по RNP определены требования к ВС и воздушному пространству, перечень функций бортового навигационного оборудования, правила производства полетов.

Россия как член ИКАО (СССР вступил в эту организацию в 1970 г.) проводит, особенно в последние годы, большую работу по проведению национальных норм и правил в соответствии с рекомендациями ИКАО и принятой в мировой авиации практикой. В 1995 г. вступило в действие отечественное Руководство по построению аэродромных схем и определению безопасных высот полета препятствий, которое в значительной степени соответствует документу ИКАО аналогичного назначения “Правила аэронавигационного обслуживания. Производство полетов” (Док.8168). Еще предстоит

большая работа по переработке аэродромных схем в соответствии с новыми критериями.

Внедрение в России рекомендаций ИКАО по аэронавигационному обеспечению полетов и нормированию точности навигации будет осуществляться поэтапно, с учетом сложившейся в стране авиационной практики и на основе научных исследований в данной области.

ГРНТИ 78.21.41.19.99:78.21.39.17:78.21.43.15

**ПЛАНИРОВАНИЕ НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО И  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОВОДКИ  
МОРСКОЙ ЛЕДОСТОЙКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

**С.А.БОБКОВ,**  
(ГУНиО МОРФ),  
**С.П.ДЕМИН**  
(ВМА им.акад.Н.Г.Кузнецова)

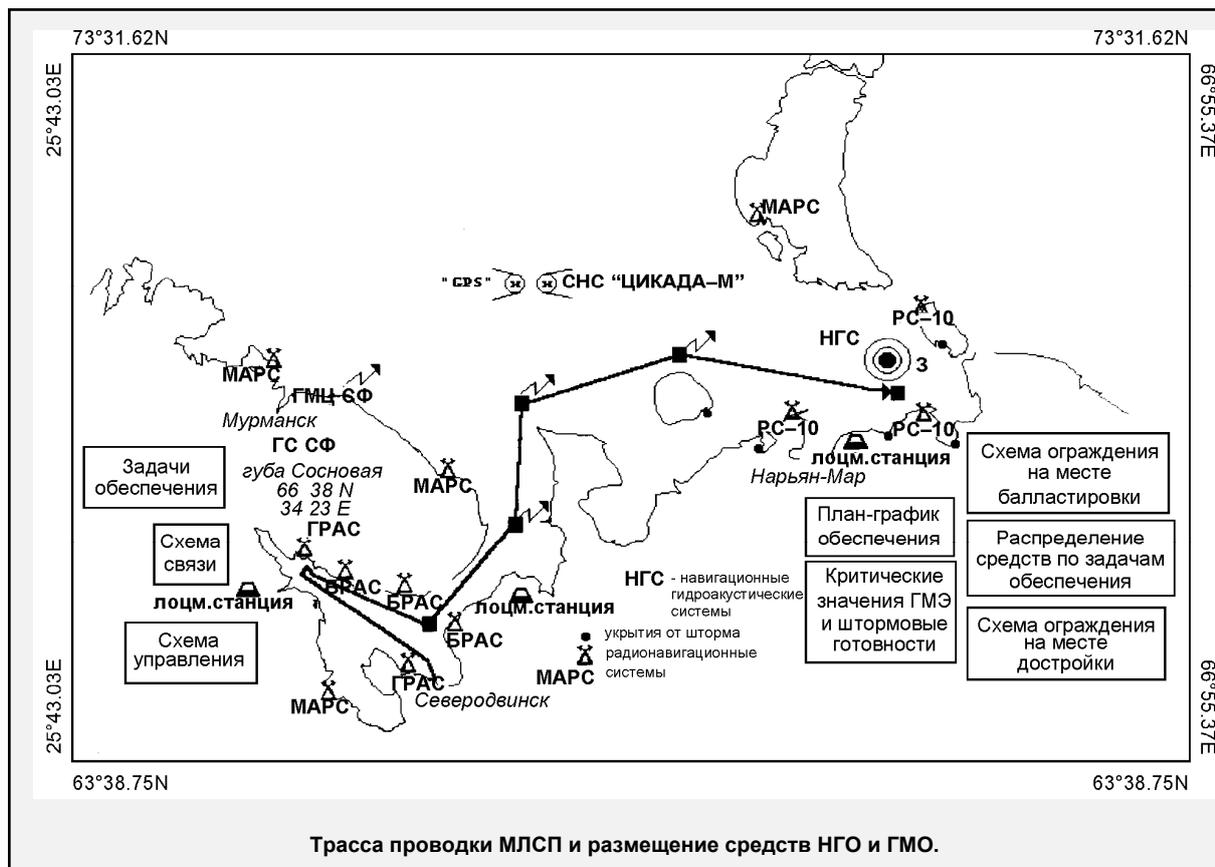
*Рассмотрена организация навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения проводки МЛСП. На основе анализа предлагаемого маршрута буксировки определен минимальный перечень основных мероприятий, обеспечивающих безопасность платформы в навигационном и гидрометеорологическом отношении; обоснован расчетами необходимый количественный состав обеспечивающих средств и обслуживающего персонала; выбрана безопасная трасса проводки. Перечислены проблемные вопросы обеспечения.*

**Исходные данные.** Выбор маршрута и техническое проектирование буксировки выполнен НИЦ 26 ЦНИИ МО РФ. Вероятность безаварийной буксировки принималась равной 0.99, что соответствует удержанию платформы при штормах со скоростью ветра до 20 м/с и высотой волны до 6.4 м. Расчеты производились с учетом оборудования МЛСП собственными якорными устройствами и для 10–12 буксиров в караване. Требование к глубинам по всему маршруту от губы Сосновая до места установки – не менее 23 м от наименьшего теоретического уровня (НТУ).

Анализ такого варианта буксировки показал, что требования к навигационной безопасности резко возрастают. Это обусловлено, в первую очередь, трудностью одновременного управления в караване всеми буксирами и точного удержания ими своего местоположения относительно платформы. Для маршрута южнее о.Колгуев, особенно на выходе из Поморского пролива, глубины близки к критическим. В штормовых условиях заводить платформу в какие-либо укрытия при таких навигационных условиях практически невозможно. Таким образом, маршрут буксировки южнее о.Колгуев следует исключить из числа возможных.

Маршрут севернее о.Колгуев (рисунок) имеет большую протяженность, открыт для штормового ветра и волнения с западных четвертей, но с навигационной точки зрения более прост и позволяет осуществлять буксировку вдоль 50-метровой изобаты. За 15 суток буксировки (при средней скорости буксировки  $V = 3 - 4$  уз) вероятность возникновения ветра более 20 м/с здесь не превысит 5%. Но даже в этом случае при грамотно организованном гидрометеорологическом обеспечении можно своевременно укрыть платформу и буксиры восточнее о.Колгуев (глубины 50 м более), так как в этом районе наиболее вероятны штормовые ветры западной четверти.

Окончательный маршрут буксировки должен выбираться штабом руководства буксировкой после анализа всех факторов и выполнения необходимых гидрографических работ.



**Главные задачи обеспечения.** К ним относятся:

- своевременное доведение до руководства достоверных данных о фактической и ожидаемой навигационно-гидрографической и гидрометеорологической обстановке по районам и маршрутам буксировочной операции;
- дополнительное развертывание и поддержание надежной и бесперебойной работы средств навигационного оборудования в Северодвинском канале, в губе Сосновая, в районе установки МЛСП и по маршрутам буксировки;
- дооборудование МЛСП, буксиров и обеспечивающих судов средствами навигации и океанографии, их техническое обслуживание.

**Мероприятия, проводимые до начала вывода МЛСП Северодвинским каналом.** В число подобных мероприятий, носящих обязательный характер, входят:

1. Площадная съемка рельефа дна Северодвинского канала после дноуглубления.
2. Площадная съемка маршрута буксировки с помощью АГК РС-200 с гидрографического судна (ГИСУ).
3. Перенос, а также контроль местоположения средств навигационного оборудования (буев и светящихся знаков) на подходах к каналу и на канале.
4. Оформление результатов съемки рельефа дна на планшетах, в том числе с использованием технических носителей.
5. Обеспечение участников буксировочной операции картографическими и описательными материалами издания ГУНиО МО РФ.
6. Оборудование МЛСП, буксиров, вспомогательных судов приемоиндикаторами радионавигационных систем РС-10 и ГРАС.

7. Установка на МЛСП корабельной автоматической гидрометеорологической станции «Предметник–1», аппаратуры приема спутниковой информации «Сюжет–МЦ», радио-приемника типа Р–155, факсимильного аппарата «Фиалка–П».

8. Оснащение МЛСП системой управления движением судов (СУДС) для навигационного контроля движения каравана, сопряженной с эхолотом и станцией ИНМАРСАТ–С со встроенным приемником GPS, способным работать в дифференциальном режиме и подключенными для работы по спутниковым каналам связи телефоном, факсом и компьютером.

9. Развертывание контрольно-корректирующей станции (ККС) передачи дифпробок СНС ГЛОНАСС–НАВСТАР на маяке в зал. Рогачева о.Новая Земля или аренда такой станции с соответствующими приемоиндикаторами у Департамента мореплавания Минтранса РФ.

10. Производство гидрографических работ в вероятных пунктах якорных стоянок и укрытий от шторма буксиров, вспомогательных судов и МЛСП:

- Светоносский залив;
- у западного берега о.Вайгач и в б.Дыроватая;
- на подходах к ПНМ, вокруг о.Колгуев (включая Поморский пролив);
- вблизи МЛСП, у о.Матвеева;
- в б. Лямчина о.Вайгач;
- в б.Ременка о.Колгуев;
- у юго-западного и северо-восточного берегов о.Долгий.

11. Площадная съемка маршрута буксировки (АГК ПС–200) с ГИСУ, при обнаружении глубин менее 23 м, ограждение их буями как опасностей.

12. Разработка электронных карт и планшетов по маршруту буксировки и для наиболее вероятных мест якорной стоянки.

13. Постановка автономной буйковой станции (или буя WEBOS) в месте установки МЛСП для контроля состояния среды и получения оперативной гидрометеорологической информации при балластировке платформы на месторождении.

14. Подготовка и установка средств навигационного оборудования :

- развертывание радионавигационной системы ГРАС в п.Варандей и теодолитных постов в Северодвинском канале и губе Сосновая для обеспечения координирования постановки навигационного оборудования;
- развертывание РНС в Кандалакшском заливе (две станции «ГРАС») для координирования установки знаков обозначающих место раскрепления платформы;
- развертывание в районе месторождения трех станций РНС «РС–10» и двух станций РНС «ГРАС»;
- перестановка 24 бுவ в Северодвинском канале после дноуглубления;
- установка 12 вех в губе Сосновая для обозначения мест установки тяжелого рейдового оборудования для раскрепления МЛСП;
- установка 4 вех на месторождении для обозначения места балластировки платформы и 8 вех для обозначения мест установки якорей с абсолютной погрешностью определения места 5–10 м;
- установка 4 светящихся кардинальных бுவ системы МАМС регион А на расстоянии 0,5 мили от центра платформы для обозначения границ района МЛСП;
- развертывание (организация получения данных) уровенных постов в п.Варандей, п.Северодвинск, губе Сосновая;
- формирование группы НГ и ГМО при штабе руководства операции и на МЛСП;
- формирование отряда гидрографических судов и катеров;
- подготовка и передача в «Извещениях мореплавателям» данных обо всех изменениях навигационно-гидрографической обстановки в районе;

• объявление за 30–40 сут. до начала операции через штаб СФ маршрутов буксировки, районов балластировки и установки МЛСП опасными для плавания всех ко-раблей и судов.

15. Старт за 24 ч до начала состыковки суперблоков мероприятий по сбору оперативной гидрометеорологической информации и разработке ГМЦ СФ специализированных гидрометеорологических прогнозов с заблаговременностью 7, 2, 1 сут. по всем районам операции с ежесуточной корректурой и докладом в штаб руководства буксировкой.

16. Развертывание группы НГО и ГМО в штабе руководства буксировкой.

**Мероприятия на этапе состыковки суперблоков МЛСП.** Включают:

17. Площадную съемку рельефа дна у набережной в районе сборки кессона после дноуглубления, проверку местоположения и глубин (35–36 м) над сборочной ямой гидрографическим катером (БГК).

18. Ограждение углов ямы 4 вехами с БГК.

19. Ограждение сборного участка тремя предостерегательными буями с БГК.

20. Начало наблюдений за уровнем моря и обеспечение этой информацией руководства стыковкой суперблоков и буксировкой.

21. Разработку гидрометеорологического прогноза с заблаговременностью 24 ч до начала вывода МЛСП из завода для принятия решения штабом руководства о начале буксировки по Северодвинскому каналу.

**Мероприятия на этапе буксировки МЛСП по Северодвинскому каналу.** Составляют из:

22. Формирования группы лоцманов для МЛСП и буксиров.

23. Развертывания группы НГО и ГМО на МЛСП.

24. Осуществления лоцманской проводки лоцманами на головных буксирах, поддержания непрерывной и устойчивой работы средств навигационного оборудования.

25. Разработки гидрометеорологического прогноза с заблаговременностью 7 сут. для принятия решения штабом руководства о начале буксировки МЛСП в губу Сосновая.

**Мероприятия на этапе буксировки МЛСП к месту укладки сыпучего балласта в губе Сосновая.** Предусматривают:

26. Осуществление лоцманской проводки с головных буксиров.

27. Навигационное лидирование каравана двумя специально выделенными ГИСУ (одно судно впереди каравана на удалении 10 – 12 км для освобождения маршрута проводки, другое – на удалении 1 – 2 км для лидирования, а также маршрутного промера глубин) и одним БГК.

28. Разработка специализированного гидрометеорологического прогноза с заблаговременностью 7 сут для принятия решения штабом руководства о начале буксировки МЛСП к месту установки.

**Мероприятия на этапе буксировки МЛСП к месту установки.** Оговаривают выполнение следующих работ:

29. На маршруте буксировки осуществляется лоцманская проводка, навигационное лидирование, выставляются плавучие предостерегательные знаки.

30. На выходе из горла Белого моря и на траверзе о.Колгуев по гидрометеорологическим данным принимается решение о продолжении буксировки до места установки или укрытию от шторма на якорных стоянках вокруг о.Колгуева.

31. По маршруту буксировки на МЛСП и буксирах принимают навигационно-гидрографическую и гидрометеорологическую информацию от ГМЦ ГС СФ, а также Архангельского радиометеорологического центра (РМЦ) и радиостанции Департамента мореплавания Минтранса РФ, производят гидрометеорологические наблюдения в основные синоптические сроки (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ч по Гринвичу) и передают данные в ГМЦ СФ и Архангельский РМЦ.

32. В районе месторождения контролируется местоположение плавучих предостерегательных и береговых знаков (абсолютная погрешность 5–10 м).

**Мероприятия на этапе раскрепления и погружения платформы.** Ограничиваются:

33. Контролем местоположения платформы с использованием РНС и геодезическими способами.

34. Обозначением мест для водолазного обследования платформы, производством промерных работ для контроля защиты дна вокруг платформы от размыва.

**Предложения по организации управления средствами навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения.** Общее управление обеспечением буксировки следует организовать Группой НГО и ГМО в составе штаба операции через оперативную службу СФ; непосредственное управление судами в море осуществлять группой НГО и ГМО, размещенной на платформе.

**Предложения по организации связи с средствами навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения:** Связь с Группой НГО и ГМО целесообразно организовать через радиотехнические береговые системы наблюдения (РТС БСН) на частоте 141,25 Мгц и УКВ, канал 16, а в сложных условиях буксировки – по системе ИНМАРСАТ–С. Связь с гидрографическими судами осуществлять в соответствии с общей схемой связи между буксирами и платформой. (При необходимости могут использоваться портативные станции ИНМАРСАТ–М).

Сводные данные, подготовленные на основе предварительного технического проекта буксировки, по требующимся техническим средствам обеспечения и обслуживающему персоналу приведены в таблице.

**Необходимые средства и обслуживающий персонал**

Наименование	Количество
Обслуживающий персонал, чел.	
Инженеры	12
Старшие техники	4
Техники	12
Младший обслуживающий персонал	16
Технические средства, ед.	
Малые гидрографические катера	5
Большие гидрографические катера	7
Гидрографические суда	8
Автомобили	4
Береговые станции ГРАС (РГК)	4
Береговые станции РС–10 (БРАС)	3
Корабельные станции ГРАС (РГК)	3
Приемоиндикаторы РС–1 (ГАЛС)	1
Комплекты аппаратуры ККС	2
Плавающие предостерегательные знаки	80
Транспортабельные береговые знаки	19
Светотехнические средства навигационного оборудования	28
Гидрографические эхотралы	2
Системы подводной навигации	3
Подводные звуковых маяки	3
Телевизионные навигационные створы	1
Автономные буйковые станции (буй WEBOS)	2
Мареографы открытого моря	2
АГК РС–200	2

При подготовке к обеспечению организуется взаимодействие по вопросам НГО и ГМО с Архангельским территориальным управлением Росгидромета и Государственным гидрографическим предприятием Департамента мореплавания Минтранса РФ.

**Проблемные вопросы обеспечения.** Подразделяются на *организационные* и *технические*.

*Организационные:*

- нет общего замысла по организации буксировки, в том числе по Главному руководству операцией, формированию штаба на берегу и походного штаба, по управлению буксирным караваном и судами обеспечения;
- отсутствует общий план буксировки платформы с оговоренной организацией управления и связи;
- технический проект 26 ЦНИИ носит предварительный характер и требует уточнения по буксирному ордеру и судам обеспечения;
- до конца не ясны окончательные технические характеристики платформы, а также состав привлекаемых буксиров и судов обеспечения;
- не проведены расчеты мореходности платформы и обеспечивающих судов в нештатных ситуациях для определения опасных и особо опасных значений гидрометеорологических элементов при решении частных задач (работа плавкранов, передача буксиров, пересадка людей в море и т.д.) .

*Технические:*

- отсутствие в районе контрольно-корректирующей станции передачи дифпоправок СНС ГЛОНАСС–НАВСТАР;
- невозможность добиться требуемой точности установки платформы на месторождении (1 м) с использованием радионавигационных систем даже в дифрежиме;
- недостаточная освещенность района в гидрометеорологическом отношении особенно в море, (на побережье не более 10 действующих гидрометеорологических станций), что приводит к значительным ошибкам интерполяции и экстраполяции при прогнозировании;
- низкая (60–65 %) оправдываемость прогнозов с заблаговременностью 3 и более суток;
- отсутствие в районе постановки платформы надежных проводных и радиоканалов связи для оперативного сбора и обеспечения руководства навигационно-гидрографическими и гидрометеорологическими данными.



# НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

ГРНТИ 78.25.25.01.57.33.31

## КОМПЬЮТЕРНЫЙ РАСТРОВЫЙ ЦВЕТНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ИНДИКАТОР “БАЛТИКА” ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ

Н.С. ЗИМИН,  
Р.В.ЛИ

(ЗАО “Морские комплексы и системы плюс”)

*Приводятся основные характеристики комплекса сбора, обработки, отображения и регистрации радиолокационной информации “Балтика”, являющегося центральным звеном систем управления движением судов. Комплекс создан на базе универсальных персональных ЭВМ. Большинство его функций реализовано программным методом, что придало комплексу большую гибкость в адаптации к местным навигационным условиям, а также существенно снизило стоимость его изготовления и сервисного обслуживания. Комплекс разработан ЗАО “Морские комплексы и системы плюс” и сертифицирован Федеральной службой морского флота России как самостоятельное устройство.*

Закрытое акционерное общество “Морские комплексы и системы плюс” (МК и С+) завершило разработку и испытания компьютерного растрового цветного радиолокационного индикатора (КРЦРИ) “Балтика” для систем управления движением судов (СУДС). Индикатор сертифицирован как самостоятельное устройство (Свидетельство об одобрении типа аппаратуры СУДС № 4/5-655-96С от 25.12.96), а также в составе береговой РЛС мм диапазона “Балтика-Б” (Свидетельство № 4/5-624-96С от 30.10.96).

Опытный образец КРЦРИ-1221А более года успешно эксплуатируется в Мурманском морском порту в варианте сопряжения с береговыми РЛС “Океан-М51” (диапазоны 3 и 10 см) и “Балтика-Б” (диапазон 8 мм).

### 1. Общая характеристика КРЦРИ

**1.1. Назначение.** КРЦРИ “Балтика” представляет собой комплекс сбора, обработки, отображения, регистрации и трансляции радиолокационной информации для береговых СУДС высшей и первой категорий.

Аппаратура сопряжения индикатора позволяет подключать его к одной или нескольким береговым радиолокационным станциям (БРЛС) любых фирм-производителей.

**1.2. Варианты исполнения КРЦРИ.** Индикатор выпускается в трех вариантах исполнения с обозначениями:

“А” - автономный – получает от БРЛС видеосигналы и все необходимые синхронизирующие импульсы, но на нее может выдавать только информацию о выбранном масштабе изображения;

“У” - управляющий, у которого подключенная БРЛС полностью управляется и контролируется от КРЦРИ;

“Т” - телеуправляющий, у которого подключенная БРЛС управляется и контролируется от КРЦРИ дистанционно с использованием стандартных цифровых линий связи.

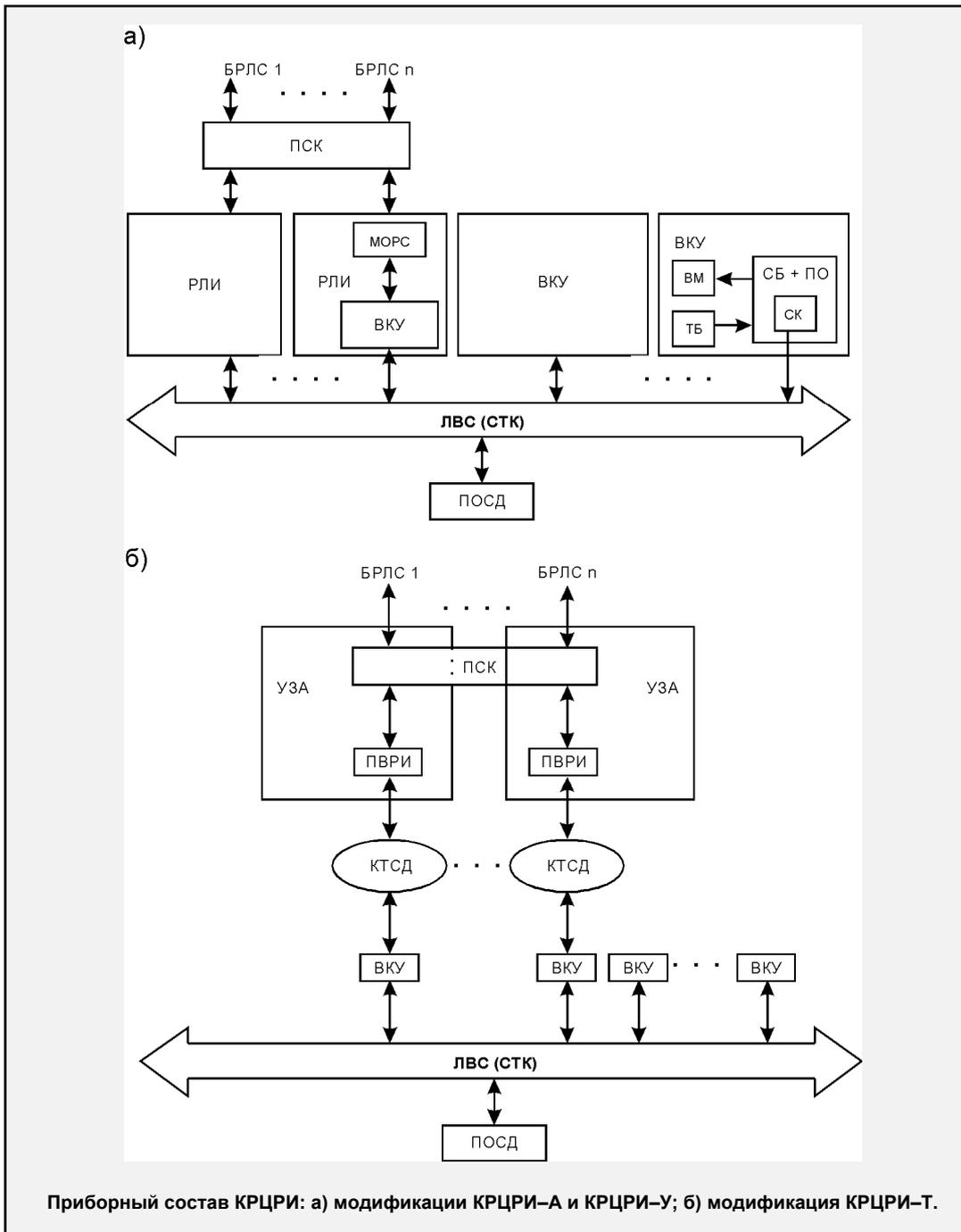
Все варианты исполнения КРЦРИ имеют несколько модификаций, различающихся количеством подключенных к ним БРЛС, входящих в их состав радиолокационных индикаторов (РЛИ) или приборов выработки радиолокационной информации (ПВРИ) и видеоконтрольных устройств (ВКУ).

В номерах модификаций КРЦРИ приняты следующие обозначения:

<b>КРЦРИ</b>	номер версии	количество БРЛС	количество РЛИ (или ПВРИ)	количество ВКУ
--------------	--------------	-----------------	---------------------------	----------------

Например, номер КРЦРИ-1221А означает: модификация КРЦРИ первой версии с двумя БРЛС, двумя РЛИ, одним ВКУ, автономная.

**1.3. Состав КРЦРИ “Балтика”.** Этот индикатор имеет в своем составе не менее одного РЛИ, а также может содержать несколько дополнительных ВКУ производства ЗАО “МКиС+” (рисунок).



Одна или несколько БРЛС подключаются ко всем РЛИ через прибор сопряжения и коммутации (ПСК). Количество РЛИ обычно соответствует числу подключенных БРЛС.

РЛИ представляет собой ВКУ, в слот системного блока (СБ) которого дополнительно вставлена плата модуля обработки радиолокационных сигналов (МОРС) производства ЗАО "МКиС+" (см.рис.а).

ВКУ состоит из стандартного оборудования для универсальных ПЭВМ (см.рис.а): СБ с оригинальным программным обеспечением (ПО), ВМ, трекбол (ТБ), сетевая карточка (СК), источник бесперебойного питания (ИБП).

КРЦРИ управляется от трехклавишного трекбола (по одному на каждый ВМ).

Все РЛИ и ВКУ объединены локальной вычислительной сетью (ЛВС), созданной на базе стандартных СК и сетевого технологического комплекта (СТК). К этой же локальной сети подключается прибор объединения сигналов и данных (ПОСД), интегрирующий радиолокационную информацию, получаемую от нескольких БРЛС. ПОСД реализуется программным способом в рамках СБ универсальной ПЭВМ.

В модели КРЦРИ-Т устройство РЛИ разделяется на три самостоятельных устройства (см.рис.б): прибор выработки радиолокационной информации (ПВРИ), канал трансляции сигналов и данных (КТСД) и ВКУ.

Приборы ПСК и ПВРИ образуют устройство захвата и автосопровождения (УЗА).

В качестве КТСД используются стандартные узкополосные Ethernet-радиомосты или цифровые радиорелейные линии.

**1.4. Назначение основных приборов и модулей.** Рассмотрим последовательно состав и назначение комплектующей КРЦРИ аппаратуры.

**1.4.1. Прибор сопряжения и коммутации (ПСК):**

- \* осуществляет согласование параметров выходных и контрольных сигналов БРЛС со входом РЛИ (модулем МОРС);
- \* обеспечивает различные варианты коммутации (взаимного подключения) всех БРЛС и РЛИ;
- \* исполняет поступающие от РЛИ команды управления станциями.

**1.4.2. Радиолокационный индикатор (РЛИ):**

- \* осуществляет первичную и вторичную обработку радиолокационной информации;
- \* обеспечивает преобразование полярной системы представления радиолокационных сигналов в декартову для последующей их обработки и отображения;
- \* формирует цветную радиолокационную картину зоны действия ВМ;
- \* отображает вторичные данные и служебную информацию на экране ВМ;
- \* обеспечивает управление режимами работы и контроль работоспособности подключенных БРЛС (в модификациях КРЦРИ-У и КРЦРИ-Т);
- \* передает радиолокационные сигналы и вторичные данные в ЛВС (для ПОСД, других РЛИ и ВКУ);
- \* получает радиолокационные сигналы и вторичные данные из ЛВС (от ПОСД, других РЛИ или ВКУ);
- \* обеспечивает регистрацию, архивацию и просмотр радиолокационной картины и данных.

**1.4.3. Модуль обработки радиолокационных сигналов (МОРС):**

- \* в составе РЛИ осуществляет первичную обработку радиолокационных сигналов подключенной БРЛС;
- \* транслирует команды управления и контроля между ПСК и РЛИ.

**1.4.4. Видеоконтрольное устройство (ВКУ):**

- \* выполняет все функции РЛИ за исключением функций МОРС;
- \* видеомонитор (ВМ) в составе ВКУ и РЛИ отображает радиолокационную картину и другие данные в четырех градациях уровня яркости с возможностью выбора 256 цветовых оттенков;

- \* трекбол трехклавишный (ТБ) является органом управления ВКУ и РЛИ;
- \* системный блок (СБ) совместно с программным обеспечением (ПО) реализуют все функции ВКУ;
- \* сетевая карточка (СК) обеспечивает обмен ВКУ и РЛИ с ЛВС.  
*1.4.5. Локальная вычислительная сеть (ЛВС) на базе сетевого технологического комплекта (СТК):*
- \* обеспечивает обмен сигналами и данными между РЛИ, ВКУ и ПОСД.  
*1.4.6. Прибор объединения сигналов и данных (ПОСД):*
- \* объединяет радиолокационные сигналы (картины) от всех РЛИ (БРЛС) и передает совмещенную РЛ картину на отображение во все РЛИ и ВКУ с целью исключения теневых секторов наблюдения каждой БРЛС и повышения вероятности обнаружения объектов;
- \* объединяет вторичные данные всех целей, автосопровождаемых во всех РЛИ и ВКУ.  
*1.4.7. Устройство захвата и автосопровождения (УЗА):*
- \* состоит из ПСК и ПВРИ, используется на телеуправляемых радиолокационных постах.  
*1.4.8. Прибор выработки радиолокационной информации (ПВРИ):*
- \* осуществляет автоматический и ручной дистанционный захват надводных объектов на автосопровождение;
- \* выполняет первичную и вторичную обработку радиолокационных сигналов автосопровождаемых объектов;
- \* преобразует полярную систему представления радиолокационных сигналов в декартову;
- \* транслирует сигналы контроля и телеуправления станциями.  
*1.4.9. Канал трансляции сигналов и данных (КТСД):*
- \* передает из УЗА в ВКУ цифрованные радиолокационные сигналы в декартовой системе координат, первичные и вторичные данные автосопровождаемых объектов, контрольные сигналы БРЛС, ПСК и ПВРИ;
- \* транслирует от ВКУ в УЗА сигналы телеуправления ПВРИ, ПСК и БРЛС.

## **2. Облик экрана видеомонитора.**

### **2.1. Элементы изображения.** На экране ВМ отображаются:

- \* радиолокационная картина зоны действия ВМ в рекомендованной или выбранной оператором цветовой гамме (256 оттенков) в масштабе от 1:5000 до 1:100000; диагональ экрана ВМ не менее 21" с разложением 1280x1024 пикселей;
- \* следы движущихся отметок надводных объектов;
- \* элементы электронной карты – оси и бровки каналов и фарватеров, линия берега, выбранные изобаты, дополнительные ограничительные линии, причалы с номерами, знаки навигационного ограждения, места якорных стоянок, координатная сетка с номерами квадратов, выделенные другим цветом отдельные участки карты (заливка);
- \* служебная графика - курсор, электронная линейка, маркеры вывода судов на якорную стоянку (до 20), охранные зоны (от 1 до 20 отрезков прямой), выделенные другим цветом зоны или границы зон действия других ВМ;
- \* номера автосопровождаемых надводных объектов;
- \* графика автосопровождения - символы автосопровождения объектов (разные для движущихся, неподвижных и судов на якоре), векторы движения автосопровождаемых объектов;
- \* диалоговые окна (различные меню, панель режимов, индикационные и установочные панели), открываемые и выставляемые оператором в любом свободном месте экрана.

**2.2. Содержание диалоговых окон.** На панелях в диалоговых окнах представляются следующие данные:

- \* географические координаты антенн подключенных БРЛС;
  - \* масштаб и размеры радиолокационной картины;
  - \* текущие дата и время;
  - \* введенные оператором метеоусловия;
  - \* географические и полярные координаты курсора или электронной линейки;
  - \* формуляр выбранного оператором автосопровождаемого судна – номер, пеленг, дальность, курс, скорость, маршрутные координаты, смещение с линии рекомендованного курса, расстояние и пеленг на опорную точку, расстояние и пеленг на точку постановки на якорь;
  - \* длительность следов, время вектора, значения регулировок помехозащиты и других;
  - \* электронная линза;
  - \* параметры управления и контроля подключенных БРЛС (в вариантах исполнения КРЦРИ-У и КРЦРИ-Т);
- причины срабатывания звуковой сигнализации, при этом звуковая сигнализация сопровождается сообщениями в специальном окне:
- автозахват цели;
  - опасное сближение автосопровождаемых судов;
  - опасное смещение судна с оси канала;
  - прогнозируется встреча судов в точке поворота;
  - приближение судна к опасным участкам, отмеченным на карте;
  - опасное пересечение линии курса;
  - дрейф судна на якоре;
  - попадание цели в охранную зону;
  - снос буя;
  - сброс автосопровождения;
  - срабатывание системы самоконтроля работоспособности.

**2.3. Режимы работы.** Трекбол через диалоговые окна экрана ВМ обеспечивает:

- \* оперативное изменение режимов работы ВМ, положения охранных зон, электронной линзы, зон автозахвата, подбор параметров;
- \* установку и оперативный выбор одной из трех фиксированных зон действия ВМ;
- \* ручной и автоматический захват целей на автосопровождение при их скорости до 60 уз (количество автосопровождаемых целей – до 100);
- \* нанесение и редактирование электронной карты;
- \* запись радиолокационной информации на магнитном носителе (винчестере) с заданной оператором дискретностью;
- \* просмотр записей и их архивацию на винчестере или дискетах;
- \* покадровую распечатку архива на цветном принтере (дополнительная поставка).

**3. Основные параметры КРЦРИ**

**3.1. Квантование радиолокационных сигналов.** Осуществляется со следующими параметрами:

- \* .....  
максимальная частота квантования  
(минимальная протяженность кванта дальности) ..... 66 МГц (2,3 м);
- \* .....  
количество уровней квантования по амплитуде ..... 256;
- \* .....  
число обрабатываемых дискрет дальности ..... 3200.

**3.2. Средства помехозащиты.** В составе этих средств предусмотрены:

- \* цифровая внутрипериодная квазинизкочастотная фильтрация принимаемых сигналов с целью ограничения амплитуды мощных шумовых всплесков и несинхронных помех;
- \* цифровая внутрипериодная выработка порога обнаружения полезных сигналов со стабилизацией уровня ложных тревог (“скользящее по дальности окно” повышенной эффективности с исключением теней за объектами) с целью подавления шумов и помех от моря и гидрометеоров, а также для выделения ближайшей кромки берега и подавления отметок на берегу;
- \* цифровая междупериодная обработка сигналов с целью обнаружения надводных объектов и подавления несинхронных помех;
- \* межобзорная обработка сигналов с целью подавления остаточных помех от моря и гидрометеоров.

**3.3. Потенциальные характеристики.** Имеют следующие значения:

- \* .....  
погрешность измерения дальности ..... не более 5 м;
- \* .....  
погрешность измерения направления ..... не более 15’;
- \* .....  
разрешающая способность по дальности ..... не хуже 57 м;
- \* .....  
разрешающая способность по направлению ..... не хуже 15–20’.

**3.4. Параметры питающей сети и условия эксплуатации:**

- \* .....  
напряжение питающей сети ..... 220+22 В, 50+0,5 Гц;
- \* .....  
температура окружающей Среды ..... от 0 ° до 50°C;
- \* .....  
относительная влажность воздуха ..... до 98% при температуре 30°C;
- \* .....  
наработка на отказ ..... не менее 5000 ч;
- \* .....  
допускается непрерывная круглосуточная работа КРЦРИ.



## СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

ГРНТИ 78.21.43.15.15

### ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЁТЫ И ПРОГНОЗЫ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ, ТЕЧЕНИЙ И ДРЕЙФА ЛЬДА НА ШЕЛЬФЕ МОРЕЙ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА АРКТИКИ

**И.М. АШИК**  
(ГНЦ РФ ААНИИ)

*Дано описание численной модели динамики льда и водных масс, адаптированной к условиям Северного Ледовитого океана. Приведено сопоставление результатов расчетов с натурными данными. Выполнена оценка прогностических расчетов сгонно-нагонных колебаний уровня.*

В 1987 г. в Центре ледовой и гидрометеорологической информации (ЦЛГМИ) ААНИИ была начата эксплуатация численной гидродинамической модели, позволяющей в оперативном режиме осуществлять расчеты и передачу потребителям прогнозов сгонно-нагонных колебаний уровня по акватории всего Северного Ледовитого океана (СЛО) и его окраинных морей. Анализ качества этих прогностических расчетов позволил сделать вывод о возможности их практического использования. Однако, задействованная модель не учитывала наличия дрейфующего ледяного покрова, в связи с чем возможности ее использования в прогностических целях ограничивались навигационным периодом, когда влияние льда на сгонно-нагонные колебания уровня сравнительно невелико.

В связи с необходимостью расширить возможности использования названной модели для обеспечения потребителей прогнозами колебаний уровня моря независимо от складывающихся ледовых условий, уравнения динамики океана были дополнены членами, учитывающими трение льда о воду

$$\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + 2\vec{\omega}_z \vec{U} = -g(H + \xi) \nabla \xi + \frac{(H + \xi)}{\rho} \nabla P_a + \frac{1}{\rho} \left( (1 - C) \vec{\tau}^s + C \vec{\tau}^w - \vec{\tau}^b \right),$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -\text{div}(\vec{U}),$$

а в модель была включена также система уравнений, описывающих динамику ледяного покрова

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + 2\vec{\omega}_z u_i = -g \nabla \xi + \frac{1}{\rho} \left( \vec{\tau}^i - \vec{\tau}^w \right) + \vec{F},$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\text{div}(C u_i),$$

где  $t$  – время;

$$\vec{U} = \int_0^{(H+\xi)} \vec{u} dz - \text{вектор полного потока};$$

$\vec{\omega}_z$  – параметр Кориолиса;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$\xi$  – отклонение уровня от невозмущенного состояния;

$P_a$  – атмосферное давление;

$\rho$  – плотность воды;

$\bar{\tau}^s, \bar{\tau}^i, \bar{\tau}^w, \bar{\tau}^b$  – тангенциальное трение на границах раздела воздух – вода, воздух – лед, лед – вода и вода – дно соответственно;

$\bar{u}$  и  $\bar{u}_i$  – средний по вертикали вектор скорости течения и вектор дрейфа льда;

$\tilde{\rho} = \rho_i h_i C$  – поверхностная плотность льда;

$\rho_i$  – плотность льда;

$h_i$  – толщина льда;

$C$  – функция сплоченности;

$\bar{F}_i$  – силы внутреннего взаимодействия в ледяном покрове.

Тангенциальное напряжение на границах раздела лед – вода и вода – дно рассчитывалось по традиционным зависимостям

$$\begin{aligned}\bar{\tau}^w &= R_w \rho (\bar{u}_i - \bar{u}) |\bar{u}_i - \bar{u}|; \\ \bar{\tau}^b &= K \rho \bar{U} |\bar{U}|,\end{aligned}$$

где  $K = \frac{K_w}{(H + \xi)^2}$ ;

$R_w = 5.5 \cdot 10^{-3}$  – коэффициент трения на границе раздела лед – вода;

$K_w = 2.6 \cdot 10^{-3}$  – коэффициент трения на границе раздела вода – дно.

Тангенциальное напряжение на поверхности льда принималось равным тангенциальному напряжению на поверхности воды и вычислялось по зависимости вида

$$\bar{\tau}^s = 12.0 [1 - \exp(-0.002 W^2)],$$

где  $W$ , м/с – скорость приводного ветра.

Для включения в модель сил внутреннего взаимодействия использовано приближение в форме

$$\begin{aligned}\bar{F}_i &= \eta \nabla^2 \bar{u}_i + \lambda \frac{\partial}{\partial x_j} \operatorname{div}(\bar{u}_i) \frac{\partial P_i}{\partial x_j}; \\ P_i &= -K_p \operatorname{div}(\bar{u}_i), \quad \text{при } \operatorname{div}(\bar{u}_i) < 0; \\ P_i &= 0, \quad \text{при } \operatorname{div}(\bar{u}_i) \geq 0,\end{aligned}$$

где  $\lambda = \eta = 10^{10} \text{ см}^2 / \text{с}$  – соответственно коэффициенты объемной и сдвиговой вязкости;

$K_p \cong 10\eta$  – коэффициент сжатия.

Расчетная область охватывает всю акваторию СЛО, включая прибрежные моря Российской Арктики. Открытая граница области проходит в районе Фареро-Шетландского порога и, таким образом, достаточно далеко отстоит от районов арктических морей, чтобы исключить негативное влияние задаваемых на открытой границе условий. Шаг сеточной области составляет  $\Delta x = \Delta y = 55,56$  км (т.е. расчетная ячейка представляет собой квадрат).

На твердых границах области принимается условие непротекания. На жидких границах области для воды принимается условие излучения, для льда – условие свободного протекания.

В качестве начальных условий для воды и льда принимается состояние покоя, функция сплоченности задается в соответствии с реальным распределением льда.

Толщина льда считается постоянной как во времени, так и в пространстве и принимается равной 2 м.

При конечно-разностной аппроксимации исходной системы уравнений члены, учитывающие трение, брались для середины временного шага, пространственные производные заменялись центральными конечно-разностными аналогами, а временные – вперед направленными разностными отношениями.

При расчете сплоченности льда вводилось условие остановки, в соответствии с которым составляющие скорости дрейфа льда приравнивались к нулю, если они были направлены внутрь расчетной ячейки, с функцией сплоченности равной 1, а соответствующие составляющие скорости на противоположных сторонах ячейки оказывались равными нулю.

Исходной информацией для расчета по модифицированной модели служили последовательности полей приземного атмосферного давления и информация о распределении припая и сплоченности дрейфующего льда на акватории расчетной области. Фактические и прогностические поля приземного атмосферного давления, рассчитываемые в Европейском Центре среднесрочных прогнозов погоды и передаваемые в коде GRID в узлах пятиградусной географической сетки с дискретностью 24 ч, интерполировались в узлы расчетной сетки с использованием алгоритма метода конечных элементов.

Скорость  $U$  и направление ветра  $A$  у поверхности воды вычислялись по зависимостям вида

$$W = k_I W_g;$$

$$A = A_g - \alpha,$$

где  $k_I = \frac{h}{h+1}$  и  $h = 0,25 \cdot 1,212^{W_g}$ ;

$W_g$  – скорость геострофического ветра;

$A_g$  – направление геострофического ветра;

$$\alpha = 41,26 \exp(-0,07W_g) - 11,27 \exp(-0,48W_g).$$

Первоначально (в период лето 1992 – весна 1996 гг.) экспериментальные оперативные круглогодичные прогностические расчеты сгонно-нагонных колебаний уровня и средних течений, а также дрейфа и перераспределения льда, в силу ограниченных ресурсов вычислительной техники, велись только по акватории арктических морей (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское), но с лета 1996 г. в расчет была включена вся акватория СЛО и его окраинных морей, в том числе такой важный географический объект как Баренцево море. Результаты расчетов могут быть представлены как в картированной форме, так и в цифровой, как по всей акватории СЛО (рис.1–2), так и по отдельным его районам (рис.3–4). При необходимости более подробного освещения отдельных районов морей СЛО существует возможность использования вложенных сеток. Пример использования вложенной сетки с шагом 5 миль для акватории Печорского моря приведен на рис.5.

Для оценки эффективности работы модели применительно к восточной части Баренцева моря были выполнены расчеты динамики ледяного покрова и водных масс для периода 15–30 декабря 1975 г., когда на акватории Печорского моря отмечались существенные колебания уровня, величина которых превысила 100 см (рис. 6). Средняя абсолютная ошибка расчета для станций мыс Белый Нос, им.Федорова, Малые Кармакулы, Русская Гавань, мыс Желания, ГМО им. Кренкеля (по станциям где велись наблюдения за колебаниями уровня) составила 5–15 см, средняя квадратическая ошибка расчета 6–17 см, что говорит о высокой точности расчета.

Привязка расчетной уровенной поверхности к фактической при прогнозировании производится путем приведения первого прогностического значения уровня к фактическому уровню на конкретной станции. Сопоставление результатов прогностических

расчетов, выполнявшихся в 1991–1996 гг., с фактическими колебаниями уровня на ряде полярных станций, показало хорошую согласованность расчетов с наблюдениями, независимо от складывающихся ледовых условий.

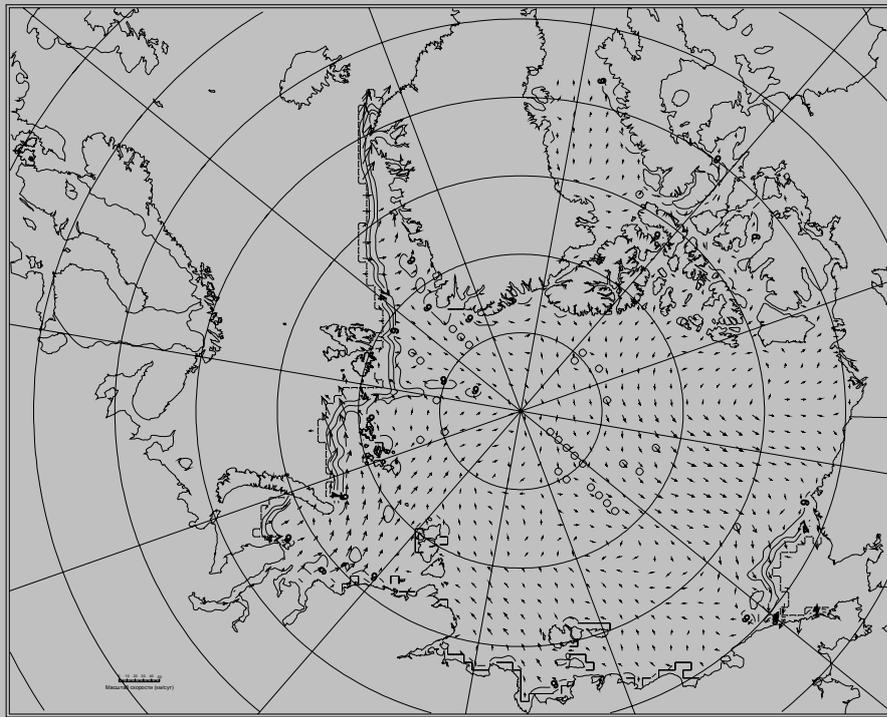


Рис.1. Прогностический расчет дрейфа и количества льда по акватории СЛО на 23.10. 96 г. (цифры означают источенность льда, в баллах).

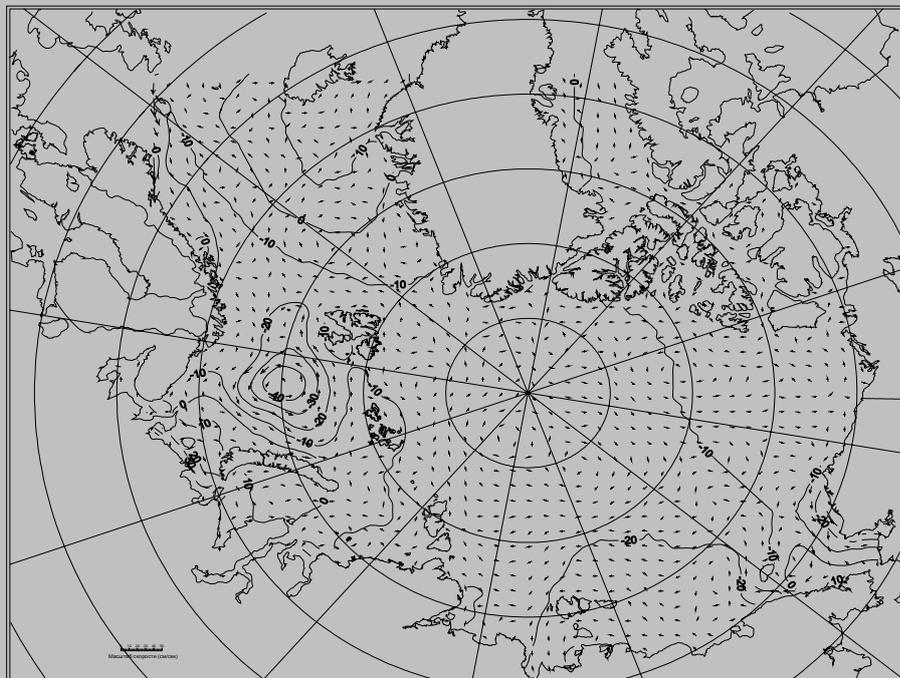


Рис.2. Прогностический расчет рельефа уральной поверхности и средних течений по акватории СЛО на 23.10.96 г. (цифры означают отклонение уровня моря от среднего, в см).

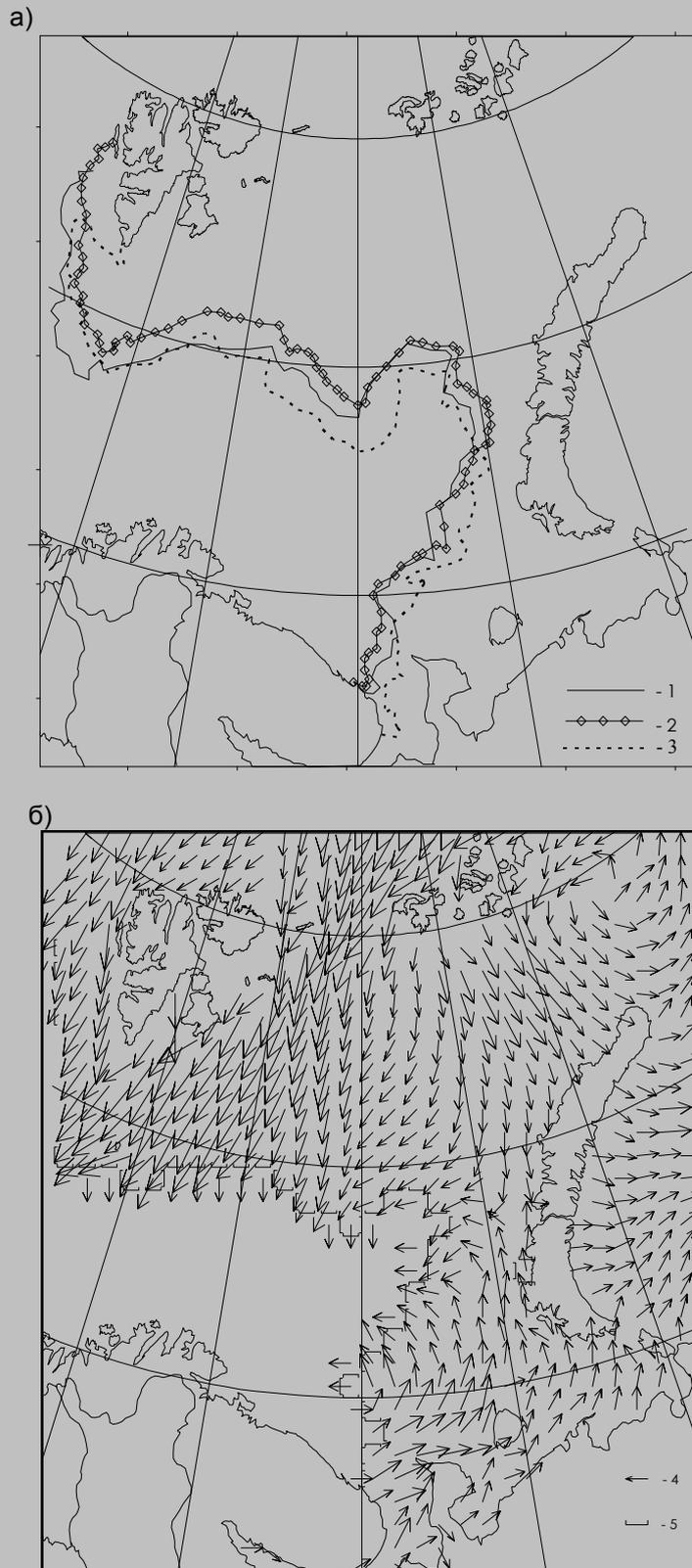


Рис.3. Перемещение кромки дрейфующих льдов (а) и дрейф льда (б):  
 1, 5 – расчетное положение кромки дрейфующих льдов на 25.04.88 г.;  
 2 – фактическое положение кромки дрейфующих льдов на 18.04.88 г.;  
 3 – фактическое положение кромки дрейфующих льдов на 25.04.88 г.;  
 4 – вектор среднесуточного дрейфа льда за 22.04.88 г.

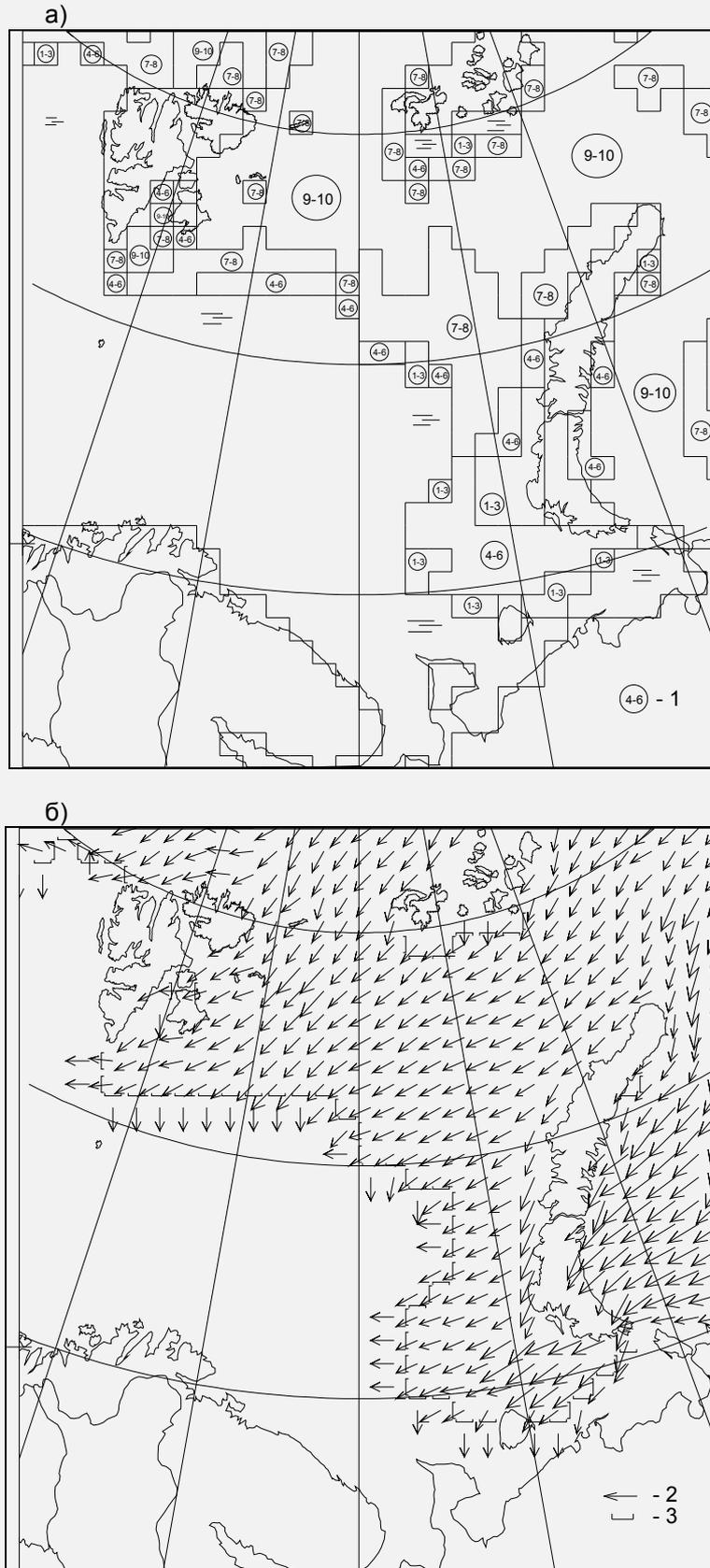
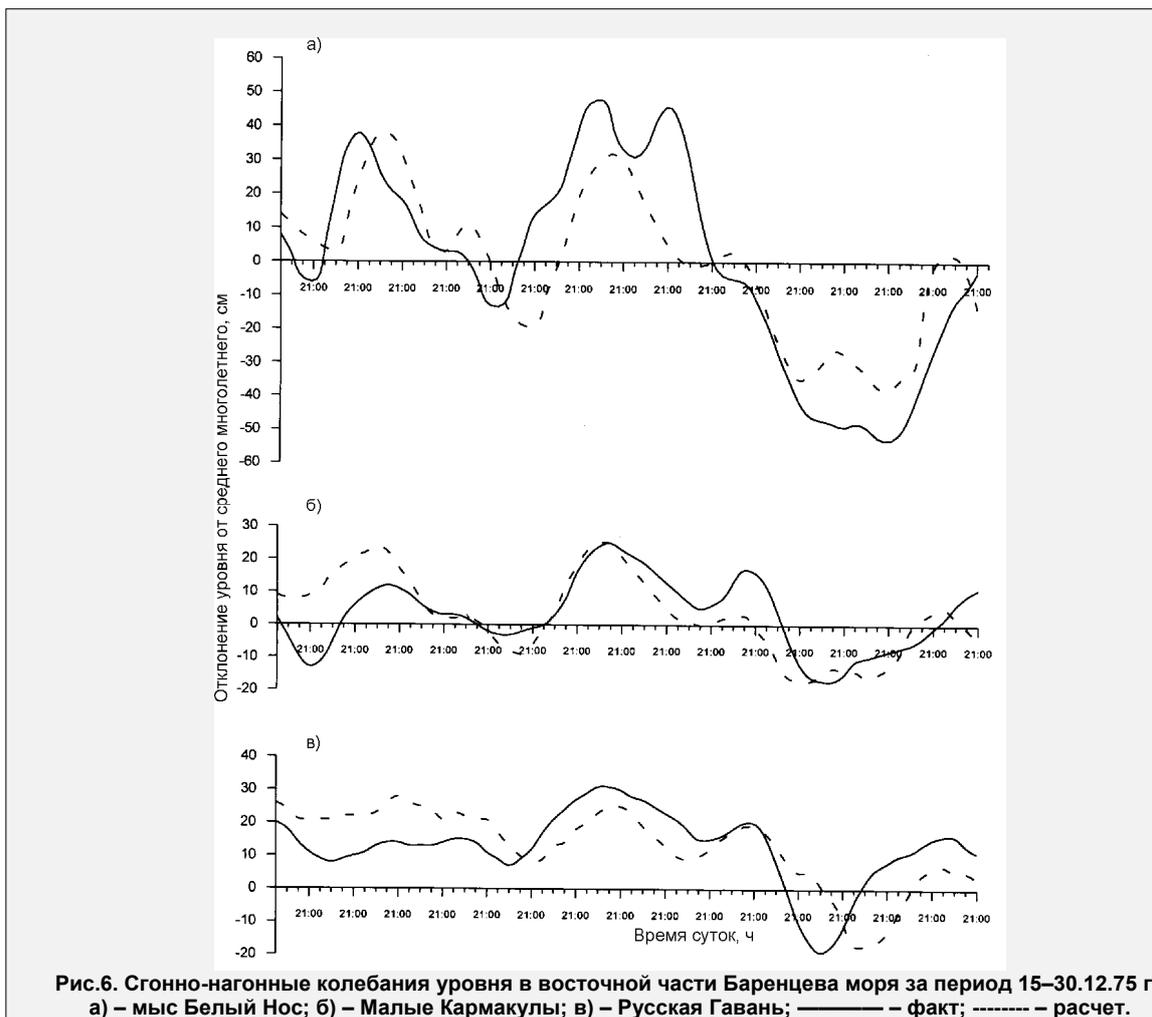
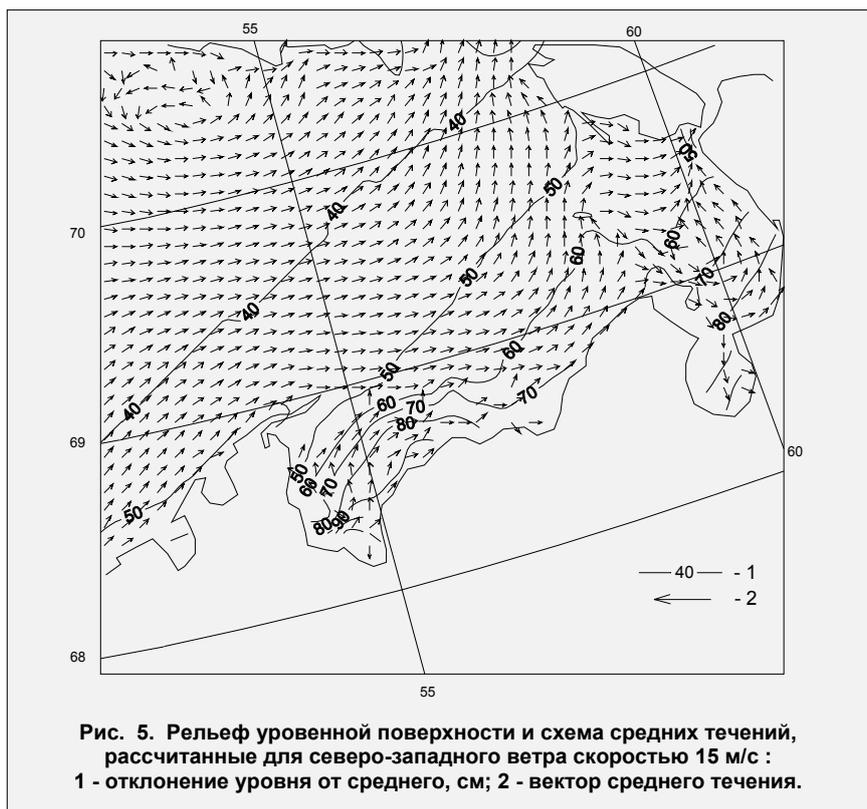
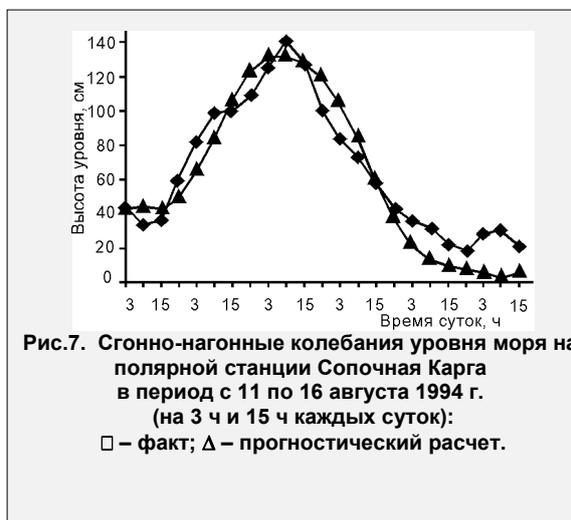


Рис.4. Распределение льда по сплоченности (а) и его дрейф (б), рассчитанные на 9.06.82 г.:  
 1 - сплоченность льда, баллы; 2 - вектор среднесуточного дрейфа льда;  
 3 - расчетное положение кромки дрейфующих льдов.



Реальные возможности численных прогнозов, рассчитываемых на основе описанной модели, могут быть проиллюстрированы конкретными примерами. Так в частности, в конце первой декады августа 1994 г. на акваторию Карского моря вышел циклон, медленно перемещавшийся с запада на восток. Центр циклона проходил через северную часть моря, при этом практически вся южная и юго-западная части Карского моря оказались охвачены сильными западными ветрами. В результате произошел подъем уровня в Енисейском заливе, составивший на станции Сопочная Карга 140 см выше средненавигационного (рис. 7).

Подъем уровня начался около 12 ч московского времени (мск) 11 августа и происходил довольно плавно на протяжении двух суток до 09 ч (мск) 13 августа, после чего началось такое же плавное падение уровня, продолжавшееся трое с половиной суток – до 21 ч (мск) 15 августа. Величина подъема при этом составила около 110 см, а спада – около 120 см. Численный прогноз, рассчитанный 11 августа, хорошо предсказал все особенности данного нагона: общий ход уровня, время наступления пика, величину подъема и спада. Общая оправдываемость этого прогноза составила 96%.



Необходимо отметить, что в целом качество прогностических расчетов сгонно-нагонных колебаний уровня напрямую зависит от точности прогноза полей атмосферного давления.

Таблица 1

Качество прогностических расчетов сгонно-нагонных колебаний уровня по станциям Карского моря в июле-октябре 1994 г.

Станция	Показатель*	Заблаговременность, сут.								
		1	2	3	4	5	6	1-3	4-6	1-6
м. Желания	1	97	97	89	85	88	69	94	81	89
	2	3	5	6	7	7	11	5	8	6
Амдерма	1	99	84	79	76	75	68	89	74	82
	2	6	13	13	16	16	18	10	16	13
Моржовая	1	85	81	86	59	44	24	84	45	69
	2	7	12	12	18	21	27	10	21	14
о. Диксон	1	100	93	92	65	65	93	95	72	85
	2	2	9	8	12	12	6	6	11	8
Сопочная Карга	1	87	65	60	50	55	45	71	50	61
	2	10	28	36	42	33	41	25	38	31
о-ва Известий ЦИК	1	96	72	64	53	38	46	77	45	62
	2	4	10	12	18	19	17	9	18	13
м. Стерлегова	1	96	86	64	57	55	53	82	55	70
	2	4	11	20	22	21	21	12	21	16
о. Правды	1	91	73	63	59	53	52	76	55	67
	2	6	14	17	21	22	23	12	22	16
о. Гейберга	1	89	65	64	54	30	34	73	41	58
	2	5	11	13	15	21	22	10	19	14
о. Голомянный	1	97	43	41	33	23	33	61	30	47
	2	3	12	16	18	19	19	10	19	14
о. Уединения	1	96	86	78	64	77	73	87	71	80
	2	3	6	7	8	6	8	5	7	6
о. Визе	1	91	64	70	61	71	57	75	64	70
	2	4	11	10	10	10	14	8	11	10
Среднее ...	1	93	74	67	58	54	51	79	55	68
	2	5	13	16	19	19	21	11	19	15

Примечание: 1 – оправдываемость прогнозов (%); 2 – средняя абсолютная ошибка прогнозов (см).

При этом, в первую очередь, обращает на себя внимание сильная зависимость качества расчетов от заблаговременности прогноза. Так, если при заблаговременности до 24 ч средняя оправдываемость прогнозов составила в навигацию 1994 г. 93%, а средняя абсолютная ошибка 5 см (табл. 1), то при увеличении заблаговременности до 2-3 сут. отмечается падение оправдываемости в среднем на 10-15% на каждые последующие сутки прогноза. Для прогнозов с заблаговременностью 4-6 сут. качество прогнозов стабилизируется: оправдываемость при этом составляет 50-60%, а средняя абсолютная ошибка – около 20 см.

С другой стороны, отмечается сезонный ход качества прогностических расчетов: от июля к октябрю происходит снижение показателей качества. Если в июле средняя оправдываемость прогнозов заблаговременностью до 3 сут. составляет 93%, а средняя абсолютная ошибка – 7 см, то к октябрю оправдываемость уменьшается до 67%, а средняя абсолютная ошибка увеличивается до 19 см (табл. 2).

Таблица 2

**Сезонный ход качества прогностических расчетов сгонно-нагонных колебаний уровня по станциям Карского моря в июле-октябре 1994 г.**

Станция	Показатель*	Заблаговременность 1-3 сут.				Заблаговременность 4-6 сут.			
		VII	VIII	IX	X	VII	VIII	IX	X
м. Желания	1	90	99	96	88	83	96	90	79
	2	6	3	5	5	8	5	6	8
Амдерма	1	100	100	81	88	100	100	80	72
	2	6	7	12	11	8	6	13	17
Моржовая	1	100	91	70	73	91	72	53	59
	2	6	9	13	14	7	12	19	21
о. Диксон	1	100	85	-	-	88	76	-	-
	2	5	8	-	-	7	11	-	-
Сопочная Карга	1	90	86	69	47	83	76	55	40
	2	11	12	18	49	14	18	28	54
о-ва Известий ЦИК	1	100	72	80	69	92	69	57	49
	2	3	10	8	11	6	12	14	17
м. Стерлегова	1	100	84	87	67	88	74	74	52
	2	6	10	9	19	9	14	13	24
о. Правды	1	81	81	62	85	76	73	50	74
	2	17	11	13	9	24	14	19	12
о. Гейберга	1	100	89	66	55	91	75	44	43
	2	3	6	11	14	5	9	18	18
о. Голомянный	1	83	68	40	54	69	57	24	45
	2	8	7	14	13	11	11	19	14
о. Уединения	1	94	82	-	-	83	77	-	-
	2	4	6	-	-	6	7	-	-
о. Визе	1	87	91	59	53	81	85	53	57
	2	6	5	10	21	7	6	12	18
Среднее ...	1	93	84	71	67	84	76	58	54
	2	7	8	11	19	9	11	16	24

Примечание: 1 – оправдываемость прогнозов (%);  
2 – средняя абсолютная ошибка прогнозов (см).

Негативное влияние на качество прогностических расчетов оказывает большая (24 ч) дискретность в задании полей атмосферного давления. В результате происходит, с одной стороны, сглаживание колебаний, а, с другой, весьма вероятным оказывается сдвиг фаз в пределах  $\pm 12$  ч. При этом ситуации, в которых весь цикл сгонно-нагонных колебаний укладывается в 24 ч, корректно воспроизвести невозможно. Хорошее качество прогностического расчета, представленного на рис. 7, в значительной степени связано как с удачным прогнозом полей атмосферного давления, так и с растянутостью во времени нагона, фазы подъема и спада которого захватили четверо суток.

Таким образом, высокое качество численных прогнозов сгонно-нагонных колебаний уровня моря, средних течений, дрейфа и перераспределения льда позволяет ис-

пользовать их при оперативном обеспечении различных организаций, как самостоятельно, так и наряду с физико-статистическими методами. Вместе с тем, численные методы являются на сегодняшний день единственным способом, позволяющим прогнозировать сгонно-нагонные колебания уровня в открытых районах моря, а также не освещенных наблюдениями прибрежных его участках, что делает их особо привлекательными при проведении геолого-разведочных и буровых работ на шельфе арктических морей.

ГРНТИ 78.21.39.17.01

### **МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ТЕЧЕНИЙ В БЕЛОМ МОРЕ**

**С.И.МАСТРЮКОВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Предложена гидродинамическая модель расчета суммарных течений и колебаний уровня моря. Изложены результаты моделирования приливных течений в Белом море. На основании сравнительного анализа характеристик приливных течений, полученных с применением численной модели и метода гармонического анализа, сделан вывод о пригодности численной модели для заблаговременного и оперативного информационного обеспечения операций по буксировке морских платформ по Белому морю.*

Мировая практика эксплуатации морских нефтегазопромысловых комплексов (МНГПК) и анализ работ морских буровых установок свидетельствуют о том, что основной причиной большинства аварий является воздействие гидрометеорологических условий окружающей среды. Указанное обстоятельство в условиях интенсивного освоения ресурсов шельфовой зоны российских морей обуславливает необходимость развития специализированных систем гидрометеорологического обеспечения МНГПК.

Одним из важнейших этапов в осуществлении тех или иных проектов по освоению шельфа арктических морей России является транспортировка морских ледостойких платформ (МЛСП) к местам установки в районы разведанных сырьевых ресурсов.

Гидрометеорологические условия по трассам буксировки в арктических морях отличаются высокой пространственной и временной изменчивостью. Учитывая большую протяженность таких трасс (ввиду удаленности месторождений от мест верфей-строителей платформ), низкую скорость буксировки МЛСП, большую парусность платформ и их низкую осадку, понятно, что гидрометеорологические условия могут стать одним из основных факторов, затрудняющих выполнение запланированных транспортных операций. При этом подчеркнем, что многие из маршрутов буксировки МЛСП к арктическим месторождениям будут проходить по акватории Белого моря.

Среди прочих гидрометеорологических условий, способных оказать критическое влияние на буксировку и проводку МЛСП, следует выделить течения. В динамике Белого моря приливные и ветровые течения играют особенно важную роль.

Течения принято делить на периодические, к которым относятся приливные и непериодические. Непериодические в свою очередь подразделяют на постоянные и ветровые.



ных течений в Горле Белого моря достигают 150 см/с, а в Воронке Белого моря – 250 см/с, в то время как в Бассейне Белого моря они не превышают 25 см/с.

Ветровые течения проявляются, главным образом, в верхних слоях моря и отличаются высокой пространственно-временной изменчивостью. Выделение ветровых течений из суммарных по данным наблюдений затруднено, поэтому обычно используются те или иные расчетные оценки. По некоторым из них скорость ветровых течений при скорости ветра 10-15 м/с, как в Белом море так и в юго-восточной части Баренцева моря, достигает 40 – 50 см/с, при средних значениях 15 – 20 см/с. Приливные и ветровые течения способны привести к критическому отклонению от маршрута движения, затруднить управление буксировочным порядком и т.д.

Поэтому при заблаговременной подготовке к транспортировке МЛСП необходимо оценить режим течений по трассе с целью выбора состава сил и средств для обеспечения, организации управления буксировкой, выбора оптимального маршрута, сроков начала операции и ее этапов, выбора режима буксировки при прохождении тех или иных участков маршрута, выработки сценариев действий и т.д. Для этих целей представляется возможным рекомендовать в качестве элемента системы гидрометеорологического обеспечения транспортировки ту или иную численную модель течений. Одним из важнейших условий применения таких моделей в оперативных целях является их достоверность. Ранее была проведена оценка точности расчета приливных колебаний уровня с применением одной из таких моделей [1]. Ниже представлены результаты проверки расчета приливных течений с использованием той же модели.

Рассмотрим некоторые способы расчета течений. Традиционные способы расчета приливных колебаний уровня моря и приливных течений с использованием гармонических составляющих дают достаточно хорошие результаты [2]. Они положены в основу расчетов регулярно выпускаемых таблиц приливов, которые нашли широкое применение в практической деятельности. Тем не менее, им свойственен ряд недостатков:

1. Они могут быть использованы только после производства цикла дорогостоящих натурных измерений в требуемой точке.

2. Измерения производятся, как правило, на побережье и не охватывают всю акваторию моря, что учитывая отрицательные результаты использования статистических методов для экстраполяции хода уровня и течений в слабоосвещенных наблюдениями районах, приводит к существенным ограничениям возможности применения этих способов.

3. В традиционных способах сгонно-нагонные колебания уровня не учитываются. Полагается, что они могут быть учтены, независимо от приливных колебания. Но это методически неправильно, так как при этом не учитывается их взаимодействие.

Основным недостатком этих способов при решении поставленной задачи является отсутствие исходных данных для расчета гармонических постоянных в открытых районах моря вдоль маршрутов транспортировки, вследствие чего их применение для оперативных целей весьма ограничено.

В некотором смысле альтернативой традиционным методам расчета индуцированных приливных колебаний уровня в окраинных морях являются численные методы, основанные на гидродинамических моделях, которые лишены отмеченных недостатков.

Анализ существующих гидродинамических моделей показывает, что они способны отражать реальную картину колебаний уровня, но их практическое использование наталкивается на значительные трудности, связанные в первую очередь с неэффективностью обычно используемых явных конечно-разностных схем решения уравнений гидродинамики и необходимостью задания устойчивых и

диссипативных граничных условий. Ранее нами была показана пригодность использования неявной конечно-разностной схемы для расчета приливных колебаний уровня в Белом море на основе применения допущений теории мелкой воды. Однако проверка модели была проведена только применительно к приливным колебаниям уровня. Целью настоящей работы является проверка модельных расчетов приливных течений.

Для расчета колебаний уровня и циркуляции воды в Белом море использована система уравнений движения и неразрывности, которая в приближении теории мелкой воды, согласно [3], имеет вид :

$$dU/dt + U(dU/dx) + V(dU/dy) - fV + g(d\xi/dx) = \tau_x/pH - k_2U(U)/H ; \quad (1)$$

$$dU/dt + U(dU/dx) + V(dU/dy) + fV + g(d\xi/dy) = \tau_y/pH - k_2U(U)/H ; \quad (2)$$

$$d\xi/dt + d(HU)/dx + d(HV)/dy = 0 , \quad (3)$$

где оси  $x, y$  направлены соответственно на восток и север;

$t$  – время;

$U, V$  – осредненные по глубине горизонтальные компоненты скорости течений;

$\xi$  – возмущение уровня свободной поверхности моря;

$H = h + \xi$  – глубина места;

$h$  – расстояние от дна до некоторой поверхности, характеризующей средний уровень моря;

$f = 2\omega \sin \varphi$  – параметр Кориолиса;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\rho$  – средняя плотность морской воды;

$\tau_x, \tau_y$  – компоненты тангенциального напряжения ветра;

$|U|$  – модуль вектора осредненного по глубине течения;

$k_2$  – коэффициент трения о дно.

Для выделения чисто приливной составляющей течений и колебаний уровня в численных экспериментах скорость ветра и, соответственно, тангенциальное напряжение ветра задавались равными нулю.

Для численного решения системы (1-3) выбраны граничные условия в виде:

\* на твердой границе  $\Gamma_c$  (состоящей из участков суши) – условие непротекания  $U_n|_{\Gamma_c} = 0$ , где  $U_n$  – составляющая вектора скорости на внешнюю нормаль;

\* на жидкой границе  $\Gamma_{жс}$  (отделяющей северную часть Белого моря от Баренцева моря – по 67°40'с.ш.)  $\xi|_{\Gamma_{жс}} = F(t)$  – задавался ход приливных колебаний уровня, рассчитанных для пункта р.Кия;

\* на участках впадения рек  $\Gamma_p - U_n|_{\Gamma_p} = Q/(\Delta x H), U_t|_{\Gamma_p} = 0$ , где  $\Delta x$  – шаг расчетной сетки,  $Q$  – расход речного стока.

Отметим, что для расчета суммарных колебаний уровня и течений в Белом море на жидкой границе моря  $\Gamma_{жс}$  следует задавать суперпозицию приливных и непериодических колебаний уровня для учета баренцевоморской нагонной составляющей.

В качестве начальных условий задается отсутствие движений воды.

Решение задачи осуществлялось по неявной схеме интегрирования с применением метода переменных направлений (неявного метода чередующихся направлений) [4, 5]. Наличие в уравнениях (1-2) адвективных членов потребовало, в соответствии с [4], для обеспечения устойчивости вычислительного процесса введения коэффициентов при адвективных членах, которые линейно изменяются от нуля на границе расчетной области до единицы на некотором удалении от нее.

Моделирование производилось на сеточной области с шагом 5' по широте (9.2 км), что позволило удовлетворительно учесть морфометрические особенности всего бассейна, за исключением вершины Кандалакшского залива и мелководной части вблизи южного берега Онежского залива. Поле глубин снималось с карты масштаба 1:750 000. Размер сеточной области составил 60x48 узловых точек. Расход Северной Двины, Мезени и Онеги задавался равным среднемноголетнему.

Шаг по времени был принят равным 1 ч, что удобно при сравнении с ежечасными данными наблюдений, а также расчетами приливов по гармоническим составляющим. Отметим, что выбранный шаг более чем на порядок выше допустимого шага по времени при использовании явных численных схем интегрирования системы (1-3).

Изменение параметра Кориолиса с широтой не учитывалось. Тестовые расчеты проводились с различными значениями коэффициента трения о дно. После ряда численных экспериментов коэффициент трения принят равным 0.0022, что близко к обычно используемым значениям.

Расчеты приливных колебаний проводились до появления установившихся колебаний уровня в расчетной области. При этом скорость ветра задавалась равной нулю. Время установления приливных колебаний в бассейне по полученным результатам составляет 72 ч.

Результаты проверки по 15 пунктам уровенных наблюдений в Белом море показали, что при изложенных допущениях и параметрах расчетной сетки средняя абсолютная погрешность расчета величины прилива не превышает 20%, а погрешность определения его фазы лежит в пределах 30 – 45 град. При этом путем построения адаптивной статистической модели удалось снизить относительную погрешность расчета приливных колебаний уровня до 10 % [1].

В настоящей работе проведено уточнение задания граничных условий на открытой границе расчетной области. Это вызвано тем, что на западном берегу Воронки Белого моря фазы приливного цикла наступают примерно на час раньше, чем на восточном, а величина приливных колебаний в полтора раза выше, чем на восточном берегу. Для учета этих особенностей наряду с расчетом приливных колебаний по гармоническим постоянным в п. р.Кия проводился аналогичный расчет для пункта Городецкий маяк. Ход уровня между этими пунктами на жидкой границе расчетной области задавался путем линейной интерполяции.

Сделанное уточнение позволило снизить среднюю абсолютную погрешность расчета фазы приливных колебаний уровня до 10-20 градусов на всей акватории Белого моря за исключением вершины Кандалакшского залива.

Для оценки точности расчета приливных течений проведено сравнение результатов численных экспериментов для четырех районов в Горле Белого моря и двух районов в Воронке Белого моря с опубликованными в Таблицах приливов данными расчета приливных течений в соответствующих прибрежных районах вблизи уровенных постов.

Расчеты по модели проводились для периода с 1 по 18 июня 1988г. В течение 72 шагов (часов) вычислительный процесс выходил на стационарный режим. Далее с 4 по 18 июня результаты модельных расчетов сравнивались с табличными данными приливных течений в прибрежных районах вблизи пунктов Татрино, Пялица, о.Сосновец, Мегра, Поной и м. Острая Лудка. Сравнивались моменты наступления максимальных течений и величины максимальных скоростей течений. Для количественной оценки погрешности расчета по каждому из районов рассчитывались средние разности моментов наступления максимальных скоростей течений ( $\Delta T$ ) – для оценки средней абсолютной погрешности расчета фазы приливных течений – и относительная абсолютная погрешность расчета максимальной скорости течения ( $\delta V$ ).

Результаты сравнения представлены в таблице. В ней номер района указан по Таблице приливов на 1988 г., широта и долгота даны – узла расчетной сетки, данные расчета в котором сравнивались с табличными для соответствующего района.

### Относительная погрешность расчета максимальных скоростей приливных течений и средней невязки модельных и табличных моментов наступления максимальных скоростей течений

Параметр	Районы					
	Горло Белого моря				Воронка Белого моря	
	1	2	3	7	14	13
Номер района						
Широта, с.ш.	66°03'	66°12'	66°21'	66°13'	67°03'	67°23'
Долгота, в.д.	38°36'	39°48'	40°25'	40°48'	41°33'	41°36'
$\delta V, \%$	21.4	33.5	25.5	20.7	10.4	24.9
$\Delta T, ч$	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6

При рассмотрении полученных результатов следует учитывать некоторые обстоятельства. Во-первых, табличные сведения о приливных течениях, в отличие от расчетных скоростей течений, не содержат стоковую составляющую. Во-вторых, модуль максимальных табличных течений считался неизменным в течении суток. И, наконец, самое существенное – размер районов превышает шаг расчетной сетки.

Учитывая отмеченные обстоятельства, а также то, что направления и моменты наступления максимальных расчетных и табличных течений практически совпадают, полученные результаты можно признать вполне удовлетворительными. Это дает основания считать, что рассматриваемая модель, построенная на описанной или более подробной расчетной сетке, в существующей версии или после дополнения блоком задания полей ветра может стать действенным элементом оперативной системы информационного обеспечения проводки морских платформ по Белому морю.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матрюков С.И., Вереников Н.Н. Адаптивная гидродинамическая модель приливных колебаний уровня Белого моря. - Метеорология и гидрология, 1997, N2, с.68-73.
2. Вереников Н.Н., Галушко Г.И. Об оценке погрешностей расчета гармонических составляющих приливов. - Метеорология и гидрология, 1996, N1, с.85-90.
3. Вольцингер Н.Е. Длинные волны на мелкой воде, Л.: Гидрометеиздат, 1985, 160 с.
4. Баклановская В.Ф., Пальцев Б.В., Чечель Н.И. О краевых задачах для системы уравнений Сен-Венана на плоскости. - Журнал вычислительной математики и математической физики, 1979, т.19, N3, с.708-725.
5. Пейре Р., Тейлор Т.Д. Вычислительные методы в задачах механики жидкости. Л.: Гидрометеиздат, 1986, 352 с.

**СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА  
В РАЙОНЕ ПРИРАЗЛОМНОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**В.Г. СМИРНОВ,  
О.С. ДЕВЯТАЕВ,  
А.В. БУШУЕВ**  
(ГНЦ РФ ААНИИ)

*Рассматриваются вопросы организации спутникового мониторинга ледового покрова в районе Приразломного нефтяного месторождения. Анализируются возможности существующих спутниковых систем наблюдений для обеспечения эксплуатации месторождения. Приводятся оценки точности определения характеристик ледового покрова по спутниковым изображениям в различных диапазонах спектра. Описываются программное обеспечение обработки и форматы представления ледовой информации. Предлагается идеология построения системы мониторинга.*

Спутниковые средства дистанционного зондирования в настоящее время являются одними из основных, а в ряде случаев и единственными средствами измерений параметров окружающей среды труднодоступных полярных районов Земли. Особое значение они приобретают при осуществлении мониторинга состояния ледового покрова на обширных акваториях арктических морей в целях обеспечения безопасности судоходства, разведки и добычи полезных ископаемых на шельфе. Сказанное предопределяет необходимость создания системы постоянного слежения за состоянием ледяного покрова в районе Приразломного нефтяного месторождения (ПНМ). Одним из основных модулей такой системы должен стать блок дистанционного зондирования, обеспечивающий возможность использования для целей мониторинга всей потенциально доступной спутниковой информации.

**Состав средств космического дистанционного зондирования ледового покрова.** Наблюдения за ледовым покровом с помощью дистанционного зондирования осуществляются как с ИСЗ, так и с самолетов, оснащенных современной аппаратурой. Однако в последнее время основными видами получения оперативной ледовой информации стали космические средства.

Для ледовых наблюдений используются многоканальные сканирующие устройства видимого диапазона среднего и малого разрешений (МСУ-СК и МСУ-М), установленные на отечественных спутниковых системах «Метеор» и «Ресурс-01». Используются также изображения среднего и малого разрешения в видимом диапазоне спектра (580-680 нм), передаваемые со спутников серии NOAA (США).

По этим снимкам может определяться положение кромки льдов сплоченностью более 3 баллов, припай и его границы, заприпайные полыньи, общая сплоченность в зимне-весенний период с точностью до 1,5 баллов по снимкам малого разрешения и 1 балл - по снимкам среднего разрешения. Летом, в период интенсивного таяния, точность определения этой характеристики существенно понижается.

Сравнение перечисленных возможностей с перечнем навигационных характеристик показывает, что хотя при использовании сканирующих радиометров видимого диапазона малого и среднего разрешения определяются многие важные характеристики ледовых условий (общее распределение, системы крупных каналов, дрейф льдов), в целом объем получаемых сведений все же недостаточен. Не может быть определен возраст льда, наслоенность, торосистость, характер снежного покрова. Наблюдаются только наиболее крупные каналы и только некоторые стадии таяния.

Однако основным недостатком этой информации является зависимость возможности ее получения от освещенности и метеоусловий (наличия облачности). Съемка

может производиться только при высотах Солнца больше  $5^\circ$  над горизонтом. Поэтому наблюдения в видимом диапазоне в Арктике возможны лишь с марта по сентябрь.

Опытом работы установлено, что в Арктике при ежедневном приеме данных с 3-5 разнесенных во времени витков ИСЗ можно получать по каждому району информацию с разрывом в среднем около 5 сут. Поэтому ледовые карты значительных акваторий, составленные по снимкам видимого или ИК-диапазонов, представляют собой, как правило, монтаж из разновременных снимков [1].

Для спутниковых ледовых наблюдений в ИК-диапазоне используются сканирующие радиометры ИСЗ "Метеор" и "Ресурс-01", а также радиометр AVHRR ИСЗ NOAA. Наблюдения проводятся только при отрицательных температурах воздуха (т.е. в Арктике - с октября по май [2]).

Если летом основной навигационной характеристикой является сплоченность льда, то зимой, когда его сплоченность повсеместно равна 10 баллам, основной характеристикой становится возрастной состав льда (особенно количество молодых льдов). Большое значение имеют также положение и характеристики каналов и разводий, заприпайные полыньи, количество торосов, снежный покров.

Наиболее информативными являются спутниковые наблюдения за состоянием ледового покрова с использованием приборов активного типа, к которым относятся радиолокаторы с синтезированной апертурой (SAR) и радиолокаторы бокового обзора с реальной апертурой (РЛС БО) [3-6]. Это обусловлено следующим:

- возможностью получать изображения независимо от погодных условий и освещенности;
- уникальной способностью фиксировать рельеф и строение поверхности (гряды торосов, стамухи, наслоения, холмы, микрорельеф, уклоны местности, океанские волны и т.д.).

Таким образом, использование радиолокаторов позволяет исследовать морфометрические и геометрические параметры ледового покрова. При этом наблюдения не зависят от облачности, солнечной освещенности и, следовательно, могут проводиться непрерывно, что является ключевым требованием при изучении динамических процессов [7].

В табл. 1 приведены основные сведения о зарубежных и отечественных космических платформах, оснащенных SAR [8]. Съёмки радиолокатором с синтезированной апертурой ("Алмаз", ERS, RADARSAT) выполняются с очень высоким (5-20 м) и высоким (20-100 м) разрешениями, а зондирование радиолокатором бокового обзора ("Океан") с малым (1,5-3 км) разрешением.

По радиолокационным снимкам может определяться положение кромки льдов, границы припая, общая сплоченность и границы зон различной сплоченности. Уверенно опознаются льды материкового происхождения (ледники и айсберги) и речные льды, дрейфоразделы, полосы тертого льда.

При съёмке с высоким пространственным разрешением в зонах молодых льдов могут наблюдаться наслоения с определением их относительной площади, а на фоне ровных однолетних льдов - отдельные гряды торосов. Однако в зонах шероховатого льда, имеющего в течение всего зимнего и весеннего периодов очень высокий коэффициент обратного рассеяния, гряды торосов не опознаются и определение числа гряд торосов или их относительной площади невозможно.

Независимость от освещенности и метеоусловий, а также высокое пространственное разрешение радиолокационных снимков определяют их эффективное использование для регулярного определения дрейфа льда, изменения положения границ выделенных зон, их конфигурации и площадей. Таким образом, по радиолокационным снимкам (особенно высокого и очень высокого разрешения) может определяться большинство навигационных параметров ледового покрова. К недостаткам этого метода относится неразличимость возрастных градаций однолетних и старых льдов (их невозможно подразделить на тонкие, средние, толстые, остаточные, двухлетние и многолетние). Не наблюдаются также снежный покров, наличие загрязнений на льду, процесс сплочения льда.

Таблица 1

Основные характеристики установленных на различных ИСЗ радиолокационных систем с синтезированной апертурой (SAR) для зондирования ледового покрова

Тип ИСЗ (принадлежность)	Период работы или дата запуска ИСЗ	Параметры орбиты ИСЗ, высота, км / наклон, град.	Характеристики SAR				
			Диапазон длин волн	Разрешение, м	Угол визирования, град.	Ширина полосы съемки, км	Поляризация
Seasat (США)	Июнь-октябрь 1978 г.	800/108	L	25	23	100	HH
SIR-C (США)	Апрель и октябрь 1994 г.	225/57	L, G, X	10-30	15-55	15-90	HH, W, HV, VH
Алмаз-1 (Россия)	Март 1991-октябрь 1992 г.	330/72	S	15-20	30-60	40	HH
Алмаз-1 Б (Россия)	Запуск планируется в 1999 г.	370/72	X, S, P	5-25	25-50	30-150	HH, W, HV, VH
ERS-1 (ЕЭС)	Запущен 17.07.91 г.	850/98	C	30	23	100	W
ERS-2 (ЕЭС)	Запущен 25.04.95 г.	850/98	C	30	23	100	W
JERS-1 (Япония)	Запущен 11.02.92 г.	570/98	L	18	42	75	HH
RADARSAT (Канада)	Запущен в ноябре 1995 г.	792/98	C	10-100	20-50	50-500	HH

Таблица 2

Возможности и точность (в баллах) определения характеристик ледяного покрова по данным спутниковых измерений с различных ИСЗ

Характеристики ледового покрова	Градации измерений	Тип ИСЗ (диапазон или средство измерений)			
		NOAA и "Метеор" (ТВ)	NOAA (ИК)	"Океан" (РЛС БО)	ERS (SAR)
Общая и частная сплоченности льда	<1 бал.	—	—	—	+
	1-3 бал.	1,0	—	1,0	0,5
	4-8 бал.	1,5	2,0	2,0	1,0
	9-10 бал.	1,0	1,5	1,5	0,2
Стадии развития и соответствующие им толщины льда	5-30 см	15	5-6**	15	10
	30-120 см	*	градаций по толщинам	*	*
	120-200 см	*		*	*
	Старый лед	*		+	+
Размеры полей и точность определения частной сплоченности	<2-20 м	—	—	—	—
	20-100 м	—	—	—	2,0
	100-2000 м	2,0	—	2,0	1,0
	2-10 км	1,5	2,0	1,5	0,5
	>10 км	1,0	1,5	1,5	0,5
Наслоенность	0-10 бал.	—	—	—	2,0
Торосистость	0-10 усл.бал.	—	—	2-3	1-2
Заснеженность	0-8 усл. бал.	—	—	—	—
Стадии таяния	0-9 усл. бал.	2-3	—	2-3	2-3
Сжатие	0-3 усл. бал.	—	—	—	1-2

Примечание: + наблюдение возможно;  
 — наблюдение невозможно;  
 \* различий в сигналах для льдов этих градаций не наблюдается, но от льдов всех остальных стадий развития эти льды могут быть отделены;  
 \*\* используется расчетная модель; границы градаций и их число строго не фиксированы - зависят от района и условий съемки.

Несмотря на эти ограничения, независимость от метеоусловий и освещенности, достаточный контраст между льдами различного возраста и различного строения поверхности, высокая разрешающая способность позволяют считать SAR и РЛС БО основными средствами спутниковых и авиационных ледовых наблюдений.

Точность определения основных характеристик ледового покрова по данным спутниковых измерений, используемых в оперативной практике ГМО, приведена в табл. 2 [9].

Таким образом, для построения оперативной ледовой карты, характеризующей ледовые условия в юго-восточной части Баренцева моря, необходимо использовать монтаж нескольких снимков видимого или ИК диапазонов (ИСЗ "Метеор" и NOAA), а также радиолокационные снимки (ИСЗ "Океан"). Дискретность таких ледовых карт будет составлять 1 –3 сут.

Для получения крупномасштабных съемок ледового покрова возможно использование радиолокаторов SAR (ИСЗ ERS-1, 2 или RADARSAT). Краткая характеристика таких снимков приведена в табл.3.

**Таблица 3**

**Характеристика спутниковых снимков высокого разрешения, получаемых с ИСЗ, оснащенных SAR**

Тип ИСЗ	Полоса обзора РЛС, км	Дискретность гарантированного обзора района ПНМ, сут.	Фрагмент, км x км	Разрешение, м	Средняя стоимость фрагмента, дол.США
ERS-1.2	100	3	100x100 100x100	100x100 25x25	400* 500*
RADARSAT	от 45 до 500	1	500x500	от 10x10 до 100x100	4000"

Примечание: \* ориентировочные цены, могут изменяться в зависимости от объема контракта;  
\*\* в 1997 г. ожидалось снижение.

**Организация системы мониторинга.** Возможны три основных варианта организации системы сбора ледовой информации:

- непосредственно на объекте в полном объеме;
- в действующих центрах (НПО«Планета», г.Москва; ААНИИ, г.Санкт-Петербург и др.), с дальнейшей передачей данных на объект, где полученная информация обрабатывается и анализируется;
- в ААНИИ, где используется существующая система, которая адаптируется применительно к обеспечению работ в районе ПНМ.

Первый вариант предполагает, что сбор и обработка информации, а также управление объектом, планирование операций и принятие решений по всем вопросам функционирования и жизнеобеспечения осуществляется непосредственно на объекте. Его реализация потребует значительных материальных затрат. Помимо развертывания на объекте станций приема данных с ИСЗ и аппаратуры АСПД «Погода», необходимо включение в состав команды объекта квалифицированных специалистов, способных анализировать получаемые материалы и осуществлять информационную поддержку принятия решений. Вероятнее всего этот вариант имеет чисто теоретическое значение.

По второму варианту информация с ИСЗ и гидрометеорологические данные принимаются в имеющихся центрах, проходят предварительную обработку и на объект передается подробная информация только по району местонахождения объекта и проведения операций. В этом случае сохраняется необходимость наличия в составе команды группы специалистов для информационной поддержки принятия решений. Потребуется также организация постоянно загруженного дорогостоящего цифрового канала связи для передачи значительных объемов информации (в особенности фрагментов космических снимков).

Третий вариант исходит из того, что планирование операций, принятие решений, связь с ледоколами и судами, а также общее управление осуществляются из некоего штаба, расположенного в крупном городе (Москве, Санкт-Петербурге, Мурманске и

т.п.). На объекте ведется только наблюдение за ледовой и гидрометеорологической (ветер, волнение, температура) обстановкой непосредственно в районе его месторасположения, при сохранении управления главным образом лоцманскими операциями и ответственности за выполнение уже принятых решений. При этом прием данных, их анализ, прогноз развития ситуации возможен на основе действующей автоматизированной ледовой информационной системы для Арктики (ААНИИ, Санкт-Петербург), в которой аналогичное обеспечение применяется для морских транспортных операций на Северном морском пути [10-12]. На объекте, тем не менее, необходимо организовать цифровой канал связи, но объем передаваемых по нему данных сократится по сравнению со вторым вариантом на порядок. В этом случае на объект будет передаваться уже готовая ледовая карта и специализированные прогнозы. Для их интерпретации возможно нахождение на объекте одного-двух специалистов-экспертов помимо двух-трех наблюдателей-гидрометеорологов. В целом третий вариант, как наиболее дешевый и более простой в плане организации информационного обеспечения, представляется оптимальным.

**Алгоритмы, методы обработки и анализа ледовой информации.** Приведенные выше данные позволяют оценить состав и точность определения характеристик ледового покрова на оперативных картах, составленных по спутниковым снимкам видимого и ИК-диапазонов, снимкам спутниковых РЛС БО и SAR.

Оперативные ледовые карты используются непосредственно для обеспечения производственной деятельности. Однако более или менее полное представление о ледовой обстановке может быть получено только на основе анализа их совокупности. Поэтому в центрах обработки на основании оперативных карт и имеющейся дополнительной информации (данные судов, полярных станций, экспедиций, буев) составляются комплексные ледовые карты.

Приведенные выше данные (см.табл. 1-3) об информационных свойствах дистанционных средств гарантируют возможность и приемлемую на современный момент точность определения характеристик ледового покрова.

По мере разработки новых технических средств, работающих в других участках спектра электромагнитных волн, с другими поляризациями и их комбинациями, повышения разрешающей способности, проведения валидационных наблюдений, разработки и совершенствования методов автоматизированного дешифрирования и интерпретации эти характеристики будут, очевидно, дополняться и уточняться.

*Пакет прикладных программ обработки спутниковых изображений морских льдов "VIDEOBOX".* Пакет разработан в ААНИИ и в течение ряда лет используется для оперативной обработки спутниковых изображений и составления ледовых карт. Пакет реализован в среде Windows 95 и обеспечивает выполнение следующих функций:

- амплитудная коррекция изображений;
- вырезка с данными географической привязки;
- географическая привязка изображения по орбитальным данным;
- вывод на экран дисплея изображения с наложенной картой береговой черты и сеткой географических координат;
- уточнение географической привязки изображений по наземным ориентирам с точностью до 2-5 км;
- многократное увеличение или уменьшение изображения на экране дисплея;
- интерактивное картографирование ледовой обстановки с выделением границ однородных зон и занесением соответствующих характеристик в эти зоны, выделение линейных и точечных ледовых объектов, маркировка их соответствующими символами, предоставляемыми меню;
- автоматическое формирование результатов картографирования ледовой обстановки в виде векторного файла в формате КОНТУР с использованием символики Международного кода ледовых обозначений (1984);

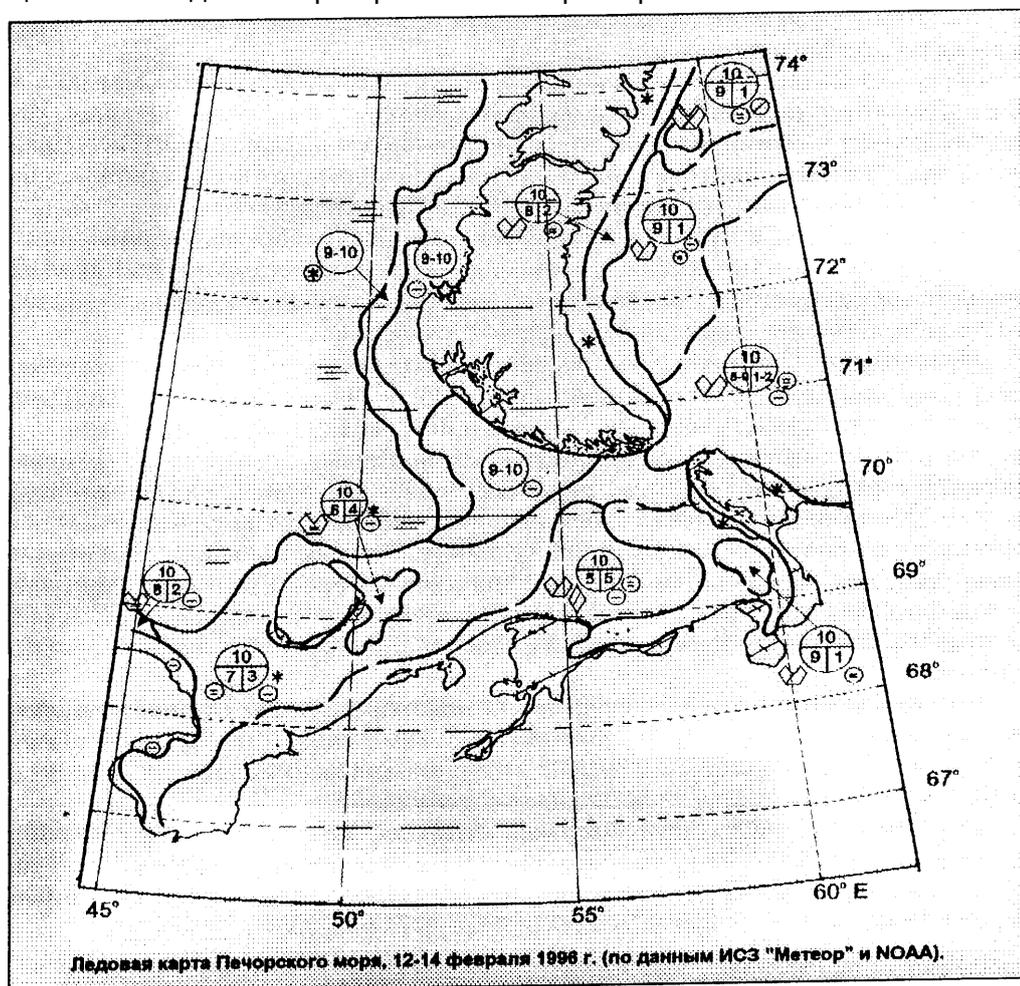
- классификация ИК-изображений морских льдов по толщине (с использованием специального алгоритма) и составление карты распределения льда по толщине (в диапазоне толщин от 0 до 90-100 см);

- интерактивное картографирование векторов дрейфа льда по двум последовательным изображениям одного и того же района.

Ледовая карта в формате КОНТУР может быть занесена в базу данных, передана по телеграфным каналам связи потребителю, который может вывести ее на экран компьютера с дополнительной условной раскраской или распечатать на принтере. "VIDEOBOX" позволяет обрабатывать и картографировать радиолокационные изображения высокого разрешения (ИСЗ ERS).

*Форма представления ледовой информации.* В настоящее время картографическое изображение является наиболее распространенным способом представления информации о состоянии ледового покрова. Все ледовые карты можно подразделить на четыре класса:

- крупномасштабные карты и планы,
- оперативные ледовые карты,
- обзорные ледовые карты;
- специальные ледовые карты режимного характера.



Крупномасштабные карты и планы составляются по данным авиационных радиолокационных съемок, а также аэрофотосъемок и вертолетных визуальных наблю-

дений. в масштабе 1:500000 и крупнее. Задачей таких карт является максимально подробное и детальное отображение состояния ледового покрова. На картах изображаются все ледовые объекты, имеющие важное навигационное значение (каналы, разводья, отдельные крупные ледовые поля, стамухи и айсберги). Вместо крупномасштабных ледовых карт могут быть использованы фотокарты, составляемые по снимкам авиационных радиолокационных станций бокового обзора или по спутниковым изображениям высокого разрешения (ИСЗ ERS, RADARSAT). Однако для получения фотокарт на объекте должны быть специальные каналы связи для приема фотокарт с береговых ледовых центров.

Оперативные ледовые карты (рисунок), предназначенные для руководителей операций, обычно освещают акваторию всего моря или той его части, в которой осуществляются операции, отображают зоны льдов различной сплоченности, виды льдов по возрасту, торосистость льда и другие характеристики состояния ледового покрова.

Однако все современные методы ледовых наблюдений имеют определенные ограничения по периодичности, районам наблюдений, составу и точности определяемых характеристик морских льдов. Поэтому в береговых центрах обработки производится комплексирование многоканальной информации (спутниковой, авиационной инструментальной и визуальной, от судов и ледоколов), сводится в единую карту частично асинхронная ледовая информация. Такие комплексные ледовые карты отличаются полнотой освещения ледовой обстановки на всем театре морских операций и повышенной достоверностью информации.

Передача ледовых карт потребителям (суда, ледоколы, штабы морских операций и др.) может осуществляться по наземным или спутниковым телефонным каналам в факсимильном режиме или в закодированном виде в формате КОНТУР. При наличии цифрового канала связи возможна передача информации в виде файла в формате КОНТУР или формата программного пакета визуализации карт.

Обзорные ледовые карты составляются как обобщения за определенный промежуток времени (декада, месяц, сезон) по акватории всего моря или всей трассы Северного морского пути. Составляются обзорные карты в крупных зарубежных (Брекнелл, Англия) или отечественных (ААНИИ, Санкт-Петербург) центрах.

**Заключение.** Технические и информационные характеристики спутниковых средств дистанционного зондирования при условии их комплексного использования обеспечивают получение всей необходимой для освоения и эксплуатации Приразломного нефтяного месторождения ледовой и гидрометеорологической информации. Имеющиеся в настоящее время ограничения в составе и точности определения отдельных характеристик ледового покрова дистанционными средствами могут быть компенсированы полученными с судов и полярных станций данными. Мониторинг состояния ледового покрова должен осуществляться в течение всего ледового периода, что позволит проследивать образование и перемещение массивов, блоков и отдельных ледовых полей и дополнять данные непосредственных наблюдений расчетами и прогнозами.

Систему мониторинга целесообразно развернуть в рамках существующей Автоматизированной ледовой информационной системы Арктики (АЛИСА) на базе ее Центра «Север» (Санкт-Петербург, ААНИИ) с использованием имеющихся средств сбора, методов, технологий и средств обработки информации.

Учитывая специфику этой системы, уточнение технологии сбора, обработки и доведения до потребителей данных мониторинга ледового покрова в районе Приразломного нефтяного месторождения, по нашему мнению, должно быть выполнено заблаговременно.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование распределения и динамики морских льдов по телевизионным снимкам ИСЗ "Метеор". Временная инструкция//А.В.Бушуев, Ю.Д.Быченков, Л.:Гидрометеоииздат, 1978.- 132 с.

2. Масанов А.Д. Определение характеристик ледяного покрова по спутниковым снимкам сканирующих инфракрасных радиометров //Тр.ААНИИ, 1977, Т.343. С. 26-33.
3. Драбкин М.О., Куравлева Т.Г., Лоцилов В.С. Оценка информативности данных радиофизического комплекса ИСЗ при зондировании арктического льда. Тр. ГосНИЦ ИПР, вып. 26, Л., Гидрометеоиздат, 1986. С. 48-55.
4. Aleksandrov V.Yu., Bushuev A.V., Loshchilov V.S., Shcherbakov Yu.A. Processing and application of satellite SLAR images of sea ice. IGARSS'91, vol.2, Helsinki, 1991.P.433.
5. Aleksandrov V.Yu. and Loshchilov V.S. Sea ice sensing using aircraft and satellite radars. In the book "Satellite Remote Sensing of the Oceanic Environment", ed. Jones, Sugimori and Stewart, Australia, 1993. P.322-330.
6. Бушуев А.В., Быченков Ю.Д., Лоцилов В.С., Масанов А.Д. Исследование ледяного покрова с помощью радиолокационных станций бокового обзора (РЛС БО). Методическое пособие //Л: Гидрометеоиздат, 1983. - 120 с.
7. Методические указания по вопросам приема, обработки и использования спутниковой ледовой информации. Определение характеристик ледяного покрова по радиолокационным снимкам ИСЗ "Космос-1500". Вып.1. - Л.; Ротопр. ААНИИ, 1985.-75 с.
8. Королев Ю.К., Баранов Ю.Б. Современный рынок данных дистанционного зондирования (Маркетинго-технологический обзор) // Информационный бюллетень ГИС-ассоциации, № 1 (3), М: Изд.дом «Открытые системы», 1996. С.66-75
9. Бушуев А.В. Развитие и совершенствование системы и методов ледовых наблюдений. Проблемы Арктики и Антарктики, 1991, выл 66. С. 170-183.
10. Bushuev A.V., Grishchenko V.D., Smirnov V.G., Scherbakov Yu.A. The Russian Ice-Information System for the Arctic // POAC'95, vol. 1, Murmansk, 1995, p. 194-199.
11. Бушуев А.В., Волков Н.А., Грищенко В.Д. Наблюдения за морскими льдами и их исследование, создание автоматизированной ледово-информационной системы // Проблемы Арктики и Антарктики, вып.70, 1995. С. 104-119.
12. Бушуев А.В., Волков Н.А., Гудкович З.М., Новиков Ю.Р., Прокофьев В.А. Автоматизированная ледово-информационная система для Арктики (АЛИСА) //Тр.ААНИИ, 1977, Т.343. С. 6-16.

ГРНТИ 78.21.39.17.27

### **МАКСИМАЛЬНЫЕ ГЛУБИНЫ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПО АЭРО- И КОСМИЧЕСКИМ ФОТОСНИМКАМ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**

**Э.С.ЗУБЧЕНКО,  
В.Д.КОНДЮРИН**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Получено выражение для оценки максимальной глубины регистрации изображения дна акватории на аэро- и космических фотоснимках. Приведены результаты экспериментального определения наименьшей различимой ступени оптической плотности изображения акватории и оценки максимальных.*

Возможность объективной оценки максимального диапазона определения глубин по материалам аэро- и космической фотосъемки представляет практический интерес вследствие расширяющегося использования аэрокосмических методов картографирования рельефа дна прибрежных акваторий. Интерес к этому вопросу подтверждается практически одновременно опубликованными статьями [1, 2].

В работе [1] максимальная глубина регистрации изображения дна на аэрофотоснимке определяется как величина, при которой визуально различается граница между двумя участками с различными коэффициентами яркости. Практические неудобства такого подхода очевидны при необходимости оценки интересующего параметра для акваторий с однотипным грунтом. Довольно громоздки также и формулы для практических расчетов.

В работе [2] максимальная детектируемая дистанционным датчиком глубина  $z_{max}$  определяется как величина, при которой разность измеренных яркостей в точке с искомой глубиной и в точке с оптически бесконечной глубиной соответствует пороговой чувствительности датчика. Приведенная в [2] формула позволяет оценивать  $z_{max}$  для систем с известным значением пороговой чувствительности.

Поскольку космические фотоаппараты остаются наиболее информативными системами и будут в ближайший период использоваться для рассматриваемых целей

наряду с оптико-электронными приборами, представляет практический интерес получение формулы для оценки  $z_{max}$  при определении глубин по аэро- и космическим фотоснимкам. Для этих целей воспользуемся упомянутым выше подходом в определении  $z_{max}$ , изложенном в работе [2].

Освещенность элемента изображения  $dS$  в фокальной плоскости фотоаппарата, соответствующего элементарному участку дна  $dS_I$  на глубине  $z$ , запишется [3]

$$E = \frac{\tau \Phi}{dS}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – коэффициент пропускания объектива фотоаппарата;

$\Phi$  – суммарный световой поток от участков дна и акватории, соответствующих элементу изображения  $dS$ .

Почернение  $D$  элементарного участка фоточувствительного слоя, вызываемого потоком  $\Phi$ , в соответствии с [4], выразится формулой

$$D = \gamma \lg(E t) + c, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – коэффициент контрастности фотослоя;

$t$  – экспозиция;

$c$  – константа.

Найдем приращение оптической плотности  $\delta D$  при переходе от элемента изображения, соответствующего участку акватории с глубиной  $z = z_{max}$ , к соседнему элементу изображения, соответствующему глубинам  $z > z_{max}$ .

Для этого продифференцируем (1) по  $E$

$$D = \gamma \frac{\mu dE}{E}, \quad (3)$$

где  $\mu$  – модуль натуральных логарифмов.

Выразим  $dE$  через приращение потока  $\Delta \Phi$  при переходе от участка акватории с глубиной  $z > z_{max}$  к соседнему с ним участку с глубиной  $z = z_{max}$

$$dE = \frac{\tau \Delta \Phi}{dS}. \quad (4)$$

Можно показать, что величина суммарного потока  $\Phi$  от акватории с глубиной  $z_{max}$  выражается формулой

$$\Phi = \frac{T_a \Phi_o \omega}{\pi} \left[ r_{cd} \frac{T_1 T_2}{n^2} e^{-zcG} + r_m (1 - e^{-zcG}) + r_n + r_{ad} \right], \quad (5)$$

где  $T_a$  – коэффициент пропускания атмосферы;

$\Phi_o$  – поток солнечного света, падающий на поверхность воды;

$\omega$  – телесный угол, под которым с площадки  $dS_I$  на дне видна входная апертура фотоаппарата;

$r_{cd}$  – коэффициент яркости сухого грунта дна;

$T_1, T_2$  – коэффициенты отражения поверхности воды соответствен но при входе в воду и выходе из воды светового потока;

$n$  – коэффициент преломления морской воды;

$c$  – коэффициент ослабления светового потока в воде;

$G$  – геометрический фактор, определяющий длину оптического пути света в воде и являющийся функцией угла преломления солнечных лучей и угла падения потока от площадки  $dS_I$  по направлению на фотоаппарат;

$r_m$  – коэффициент яркости слоя воды с оптически бесконечной толщиной ;

$r_n$  – коэффициент яркости поверхности воды;

$r_{ad}$  – коэффициент яркости атмосферной дымки.

Величина  $r_{cd} \frac{T_1 T_2}{n^2}$  по сути представляет коэффициент яркости грунта дна  $r_d$  в воде, а коэффициенты  $T_1, T_2$  определяют его величину в зависимости от углов освещения и наблюдения в воде.

Принимая в формуле (5) последовательно величину  $z = z_{max}$ , а затем  $z = \infty$ , найдем формулу для  $\Delta \Phi$  как разность соответствующих выражений для  $\Phi$

$$\Delta \Phi = - \frac{T_a \Phi_o \omega}{\pi} e^{-z_{max} cG} \left( \frac{T_1 T_2}{n^2} r_{cd} - r_m \right). \quad (6)$$

Анализ выражения (6) показывает, что знак разности в скобках будет определять знак приращения  $\Delta \Phi$  и, следовательно, знак приращения  $dD$ . При равенстве коэффициентов яркости грунта дна и моря приращение потока будет равно нулю и определение глубины в этом случае делается невозможным: дно на фотоснимке становится невидимым.

Подставляя выражение (6) в (4), а затем полученное выражение для  $dE$  и выражение для  $E$  из (1) для значения  $\Phi$  из (5), соответствующего  $z = \infty$ , в (3) и принимая вместо  $dD$  всегда положительную величину наименьшей различимой ступени почернения фотослоя  $\delta D$ , с учетом отмеченного выше условия определения знака  $dD$  для  $z_{max}$  получим формулу

$$z_{max} = \frac{I}{cG} \ln \frac{\gamma \mu \left| \frac{T_1 T_2}{n^2} r_{cd} - r_m \right|}{\delta D (r_m + r_{ad} + r_n)}, \quad (7)$$

где  $\left| \frac{T_1 T_2}{n^2} r_{cd} - r_m \right|$  – знак модуля величины.

Анализ полученного выражения показывает, что максимальная определяемая глубина является функцией разности значений коэффициентов яркости дна и моря. При этом приращение диапазона определяемых глубин  $\Delta z$  вследствие приращения этой разности  $\delta \Delta$  может быть получено дифференцированием данного выражения

$$\Delta z = \frac{\delta \Delta}{cG \Delta r}, \quad (8)$$

где  $\Delta r$  – разность значений коэффициентов яркости дна и моря.

Как будет показано ниже, приращение диапазона определяемых глубин вследствие зависимости коэффициента яркости моря от зенитного угла Солнца может быть достигнуто за счет правильного выбора момента съемки. При этом по формуле (8) получаемый эффект может быть оценен количественно.

Данная формула позволяет выполнить оценку  $z_{max}$ , задаваясь априорными значениями входящих в нее параметров, которые характеризуют оптические свойства воды, атмосферы и грунта в районе съемки.

Принято считать, что фотографические системы могут передавать 60 градаций яркости между черным и белым [4]. Для наиболее чувствительной серийной фотопленки Т-24, имеющей фотографическую широту 0.7 и  $\gamma = 1,6$  [5], при указанном максимальном количестве передаваемых градаций яркости величина  $\delta D$  составит только 0.02 Б. Однако, как показали выполненные авторами экспериментальные исследова-

ния, при использовании высокочувствительных микрофотометров эта величина фактически на порядок может быть меньше. В эксперименте использовался серийный микрофотометр МФ-4М, в котором штатный светочувствительный элемент был заменен на фотоумножитель ФЭУ-27 с усилителем постоянного тока. Регистрация измененного сигнала на выходе усилителя производилась самописцем электронного потенциометра ЭПП-09, позволившего увеличить масштаб записи в 50 и более раз. С помощью данного прибора имелась оптическая плотность изображения акваторий на аэро- и космических фотоснимках на участках изображений, соответствующих переходу к оптически бесконечным глубинам. Ширина измерительной щели при этом выбиралась в зависимости от масштаба изображения и для аэрофотоснимков была не более 25 мкм, и для космических фотоснимков – не более 10 мкм. Вследствие дискретности чувствительности микрофотометра запись измеряемого сигнала на его выходе была ступенчатой и наименьшая четко различимая высота ступки принималась за пороговое значение приращения оптической плотности, соответствующего наименьшей градации яркости, передаваемой фотографической системой. Для аэрофотоснимков наименьшая высота ступеньки составила 0.002 Б, а для космических фотоснимков – 0.004 Б. Это означает, что в интервале измерявшихся оптических плотностей изображения акваторий 0.6...0.9 Б эти величины соответствуют передаче соответственно 157 и 79 градаций яркости.

Оценку величины  $z_{max}$  обычно выполняют для того или иного оптического типа вод по классификации Н.Ерлова [6]. Такой подход удобен тем, что для каждого типа вод в литературе приводятся значения гидрооптических характеристик морской воды. Так как в основу классификации вод взято значение показателя ослабления облученности сверху  $k_d$ , целесообразно в формуле (7) от величины  $c$  перейти к  $k_d$ . Возможность такой замены обоснована в теории квазиоднократного рассеяния [6]. Принимавшиеся для расчетов  $z_{max}$  по формуле (7) значения  $k_d$  для каждого типа вод из [6] приведены в таблице. Здесь же приведены значения длины волны света  $\lambda_{max}$ , соответствующие максимуму пропускания этим типом воды.

Геометрический параметр  $G$  при расчетах определялся по формуле

$$G = I + \sec \theta'_o,$$

где  $\theta'_o$  – угол преломления солнечных лучей.

Данное выражение соответствует съемке в надир, когда угол наблюдения площадки  $dS_I$  из точки съемки равен нулю. Это обстоятельство определяет условие, при котором может быть получена наибольшая глубина.

Для расчета  $z_{max}$  зенитный угол Солнца  $\theta_o$  в момент съемки принимался на границах диапазона 20...60°, что соответствует условиям, исключающим попадание в фотоаппарат зеркально отраженных водной поверхностью солнечных лучей, а также минимума освещенности, при которой еще возможна нормальная экспозиция. Углы преломления  $\theta'_o$  для этих значений угла падения  $\theta_o$  будут соответственно 14,8 и 40,3°.

Значения показателя  
ослабления облученности сверху  $k_d$   
для различных типов морской воды

Тип воды	$\lambda_{max}, \text{мкм}$	$k_d \cdot 10^{-2}, \text{м}^{-1}$
I	0,460	1,97
IA	0,460	2,55
IB	0,460	3,45
II	0,475	6,70
III	0,490	11,50
1	0,500	12,50
3	0,515	19,50
5	0,550	30,50
7	0,560	46,00
9	0,575	59,50

По принятым величинам  $\theta'_o$  [8] выбраны значения  $T_1$ , равные соответственно 0,98 и 0,96. Значение  $T_2$  для лучей, выходящих из воды в зенит, равно 0,98.

Величины  $r_m$  выбирались из [9] по значению  $\lambda_{max}$  для принятых значений зенитного угла Солнца и представлены на рис.1. Для этих же значений  $\theta_o$  величины  $r_n$  равны соответственно 0,021 и 0,061 [10].

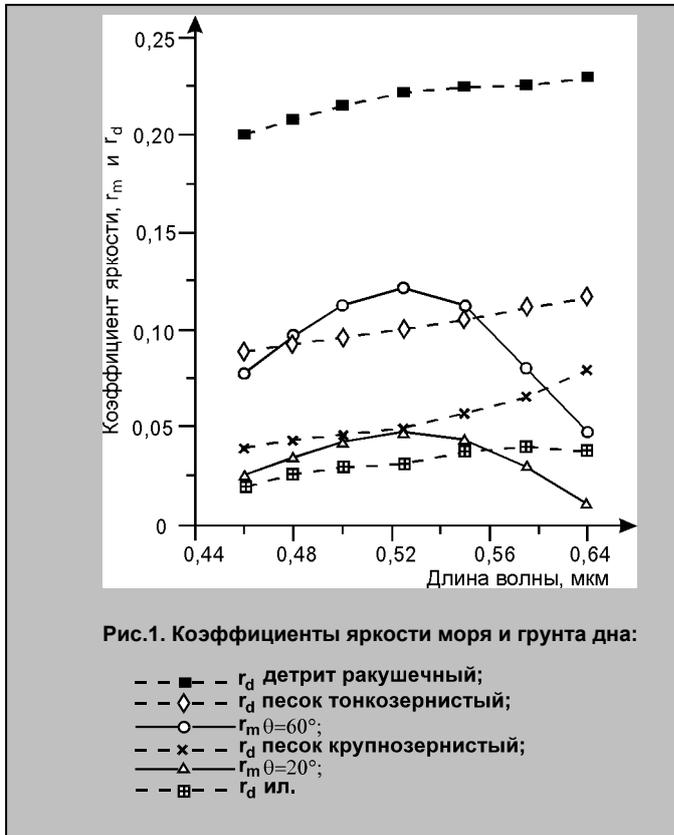


Рис.1. Коэффициенты яркости моря и грунта дна:

- - ■ -  $r_d$  детрит ракушечный;
- - ◇ -  $r_d$  песок тонкозернистый;
- - ○ -  $r_m \theta=60^\circ$ ;
- - × -  $r_d$  песок крупнозернистый;
- - △ -  $r_m \theta=20^\circ$ ;
- - ▣ -  $r_d$  ил.

Коэффициенты яркости  $r_{cd}$  и  $r_d$  взяты из [11]. На рис.1 представлен спектральный ход  $r_d$  некоторых грунтов для иллюстрации диапазона его значений, а также возможного соотношения с  $r_m$ .

При фотосъемке акватории с 5-ым типом воды ( $\lambda = 0,55$  мкм,  $k_d = 0,305$ ) и значении зенитного угла Солнца  $\theta_o = 20^\circ$  величина  $\Delta r$  в случае донного грунта в виде серого крупнозернистого песка составляет примерно 0,024, а для ила практически равна нулю, что исключает возможность регистрации на снимке изображения дна. Но при значении  $\theta_o = 20^\circ$  разность  $\Delta r$  для упомянутых типов грунтов составит порядка 0,0625, соответственно приращение  $\delta \Delta$  для первого типа составит порядка 0,04, а для второго – 0,0625.

Принимая в формуле (8) значение  $G = 2$ , получим приращение диапазона определяемых глубин для первого типа грунта порядка 2,5 м, а для другого – порядка 1,6 м. Данное значение и определит оптимальные условия съемки данной акватории.

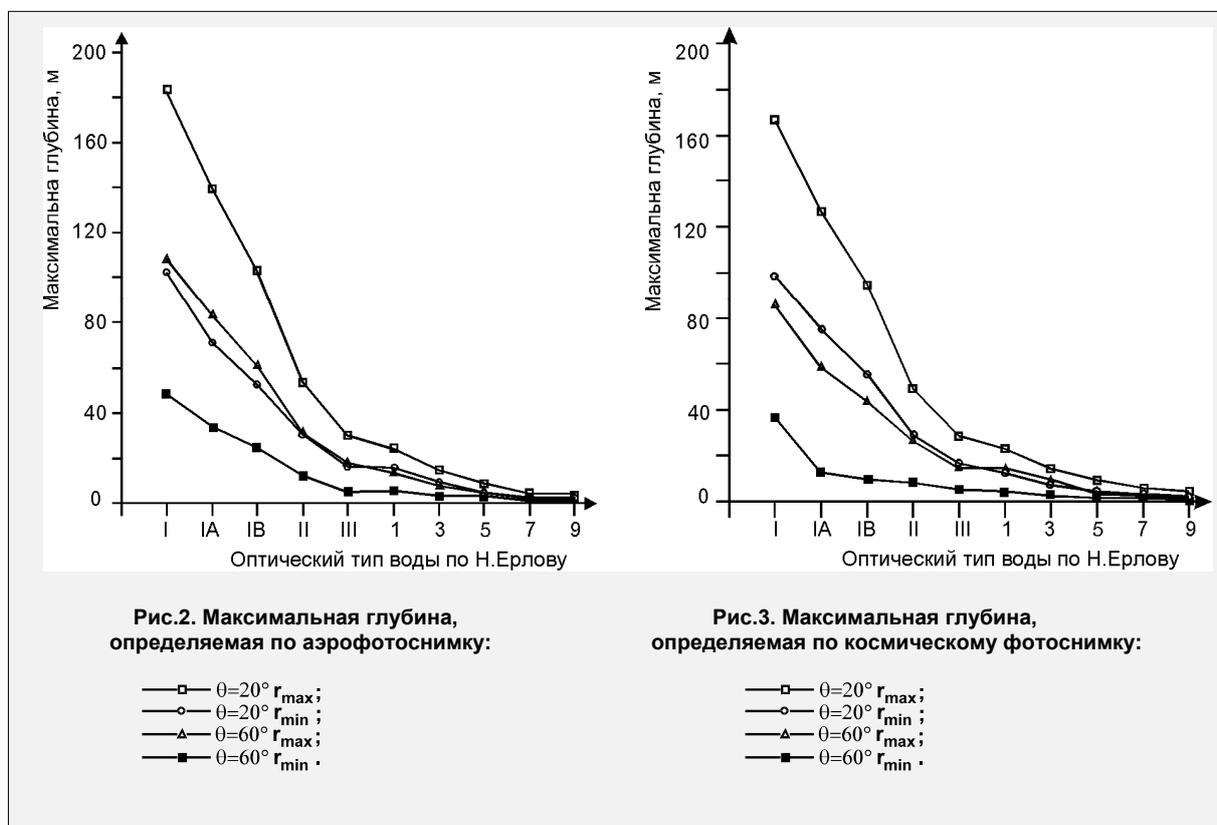
Значения коэффициента яркости атмосферной дымки для принятых величин  $\lambda_{max}$ ,  $\theta_o$  выбирались из [12].

Значение  $\gamma$  принималось равным максимальной величине этого параметра для серийных фотопленок[5].

Для принятых значений параметров, входящих формулу (7), рассчитывалась величина  $z_{max}$ . Максимально достижимые значения  $z_{max}$ , которые могут быть получены по аэро- и космическим фотоснимкам фотометрическим способом, представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

Полученные данные указывают на то, что аэро- и космическая фотосъемка, выполненные в спектральной зоне максимальной прозрачности воды в данном районе, позволяют определить глубины для самых прозрачных океанских вод соответственно до 185 и 165 м, а для наиболее прозрачных прибрежных вод до 25 м. Реальность оценки  $z_{max}$  по формуле (7) подтверждается результатами определения глубин по аэро- и космическому фотоснимку. При определении глубин по аэрофотоснимку одного из прибрежных районов черноморского побережья Крыма, полученном в спектральном диапазоне 0,5–0,6 мкм на серийной фотопленке Т-15, была получена наибольшая глубина 18,9 м. Величина  $z_{max}$ , вычисленная по формуле (7) для измеренных значений

$k_d = 0,168 \text{ м}^{-1}$ ,  $r_{cd} = 0,16$  и для остальных параметров, входящих в формулу (7), выбранных из перечисленных выше источников на диапазон съемки и высоту Солнца на момент съемки ( $50^\circ$ ), составила 18,5 м. Это фактически совпадает со значением наибольшей глубины, определенной по этому снимку фотометрическим способом.



Определялась также глубина по космическому фотоснимку отмели Кампече в Мексиканском заливе, полученному на серийную фотопленку в спектральном диапазоне 0,5–0,6 мкм при высоте Солнца  $52^\circ$ . Наибольшая зарегистрированная глубина составила 126 м. Расчет  $z_{max}$  по формуле(7) для входящих в нее параметров, соответствующих спектральному диапазону съемки и высоте Солнца, дает величину 126,9 м.

Таким образом, полученное выражение для вычисления  $z_{max}$  обеспечивает объективную оценку возможностей дистанционных методов съемки рельефа дна, а полученные результаты подтверждают экспериментальные данные о фактической пороговой чувствительности фотографических систем, которые на порядок величины оказались выше, чем это принято считать.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Назаров Н.Д. Влияние условий фотографирования на изображение дна морского мелководья.– Геодезия и картография, N 3, 1989. С.44–47.
2. Phipot W.D. Bathimetric mapping with passive multispectral imager.– Applied optics, 1989, v.28, N8, p.1569–1577.
3. Матиясевич Л.М. Введение в космическую фотографию.– М.:Недра, 1989.–149с.
4. Инженерный справочник по космической технике. Под редакцией Солодова А.В.–М.:Воениздат, 1977.– 430 с.
5. Лаврова Н.П. Космическая фотосъемка.– М.:Недра, 1983.– 288 с.
6. Ерлов Н.Г. Оптика моря. Пер.с англ.под ред. Неуймина Г.Г., Очковского Ю.Е.–Л.:Гидрометеиздат, 1980.– 248 с.
7. Gordon H.R., McCluney. Estimation of the depth sunlight penetration in the sea for remote sensing.–Applied optics.v.14, N 2, 1975, p.413–416.
8. Применение аэрометодов для исследования моря. Под ред. Здановича В.Г.– М., Л.:АН СССР, 963.–546 с.
9. Козлянинов М.В. О коэффициенте яркости толщи моря. – Океанология, 1979, т.19, вып N 2. С.221–226.
10. Долин Л.С., Левин И.М. Справочник по теории подводного видения. Л.: Гидрометеиздат, 1991.–229 с.
11. Зубченко Э.С., Кондюрин В.Д., Филабок Н.Н. Опыт определения спектральных отражательных характеристик грунтов дна прибрежных морских акваторий. Депонир. в ЦИВТИ МО, Р N 16027, 1985.– 6 с.
12. Мишев Д. Дистанционные исследования Земли из космоса.– М.: Мир, 1985.– 232 с.

**НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
УСТАНОВКИ МОРСКОЙ ЛЕДОСТОЙКОЙ ПЛАТФОРМЫ  
В РАЙОНЕ ПРИРАЗЛОМНОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**С.П. БАРИНОВ,  
А.Г. ПАНОВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Сформулированы основные требования к навигационно-гидрографическому обеспечению установки морской ледостойкой платформы. Охарактеризован состав средств и содержание основных мероприятий по координированию платформы в процессе установки.*

В проекте обустройства Приразломного нефтяного месторождения (ПНМ) морская ледостойкая платформа (МЛСП) устанавливается основанием квадратной формы размером 126x126 м на заранее подготавливаемую площадку на грунте морского дна с симметричным 5-метровым отстоянием сторон основания от края площадки. Положение площадки в географических координатах определяется с точностью 5 м (СКП). Требуемая точность контроля положения платформы относительно площадки составляет 0.5 м.

Проектом предусмотрено, что для коррекции горизонтальных смещений платформы в период погружения за пределами площадки с точностью 10 м выставляются якоря-массивы, соединенные с МЛСП цепями. Погружение платформы до глубины 0.5 м под основанием происходит в течение 5-6 ч за счет приема водяного балласта с одновременной обтяжкой якорь-цепей. В этом положении достигается горизонтальность платформы с погрешностью не хуже 0.1°. Контроль погружения осуществляется путем непрерывного измерения глубины под основанием в его углах с точностью 2 см.

Дальнейшее погружение, до касания основанием платформы грунта должно происходить за счет отлива. После касания МЛСП грунта ее положительная плавучесть ликвидируется приемом дополнительного балласта. Затем под действием собственного веса платформы ее основание погружается в грунт на глубину 1.5 м.

Указанные параметры явились исходными для обоснования состава систем и средств координирования платформы как на заключительном этапе буксировки МЛСП, так и в процессе ее установки на грунт. При этом учитывались высокие требования к надежности обеспечения в наиболее ответственных фазах операции, удовлетворение которых возможно лишь путем взаимного дублирования независимых систем. Для каждой фазы проводилось четкое разделение различных систем координирования на основные и вспомогательные. Принималось во внимание также требование обеспечить выбранным составом средств безопасность плавания в районе нефтегазового месторождения и контроль положения МЛСП в период ее эксплуатации.

С точки зрения навигационно-гидрографического обеспечения (НГО) целесообразно выделить следующие специфические этапы позиционирования МЛСП на заданной точке:

- обеспечение подготовки места установки платформы;
- обеспечение первичного позиционирования платформы в районе установки;
- обеспечение точного контроля позиционирования платформы относительно площадки в процесса погружения и окончательной посадки на грунт;
- обеспечение контроля положения платформы после установки и в процессе эксплуатации.

На этапе подготовки места установки платформы производятся следующие мероприятия по НГО:

1. Топогеодезическая привязка дифференциальных станций спутниковой навигационной системы (СНС), береговых опорных станций радионавигационной системы (РНС) и калибровка СВЧ РНС.

2. Установка вех (буев), обозначающих места установки якорей-массивов.

3. Установка вех (буев), обозначающих периметр площадки под платформу на грунте, координирование работ по строительству площадки.

4. Развертывание прецизионной ГАС в районе установки платформы.

5. Площадная съемка рельефа и грунта дна площадки.

6. Подготовка (корректурa по результатам съемки морских навигационных карт и планшетов масштаба 1:50000 – 1:10000 на район установки платформы).

Анализ требований к НГО и физико-географических условий ПНМ показал, что в качестве основной системы определения координат платформы в процесса буксировки в районах открытого моря целесообразно использовать среднеорбитную СНС в стандартном или дифференциальном режимах. При этом резервной системой координирования будет являться РНС «Марс-75», уже развернутая на побережье Баренцева моря.

Координирование платформы на заключительном этапе буксировки, а также постановка необходимых вех (буев) с целью обеспечения требуемой точности и надежности должны осуществляться с помощью СНС (в дифференциальном режиме), как основного средства, дополненного специальной наземной высокоточной РНС СВЧ-диапазона. Отечественная РНС такого класса – «Крабик-БМ» – в настоящее время находится на заключительном этапе разработки.

Обеспечение дифференциального режима СНС требует развертывания контрольно-корректирующих станций. Расчеты показали, что оборудование данного района отечественными стационарными станциями дифференциальной подсистемы СНС ГЛОНАСС/НАВСТАР совместно с использованием штатных бортовых приемоиндикаторов «Бриз» экономичнее аренды соответствующей бортовой и наземной аппаратуры зарубежного производства.

Для азимутальной ориентации платформы из разработок последнего времени выбран способ определения курса с помощью гирокурсоуказателя, совмещенного с аппаратурой СНС. Исходя из точностных требований принят вариант использования для этих целей гироазимутгоризонткомпаса (ГАГК) «Пастильщик» совместно с многофункциональным приемоиндикатором СНС ГЛОНАСС/НАВСТАР, в котором реализован режим фазовых измерений. В данном режиме предусмотрена работа приемоиндикатора на две или три разнесенные по платформе антенны. Контроль горизонтальности платформ осуществляется при помощи ГАГК.

Координирование платформы относительно площадки целесообразно производить при помощи импульсно-доплеровской прецизионной гидроакустической системы (ГАС). В состав системы входит:

- 5 донных маяков-ответчиков, устанавливаемых по углам и в центре площадки;
- 5 приемно-излучающих антенн, устанавливаемых по углам и в центре платформы;
- прибор цифровой обработки.

Координирование постановки маяков-ответчиков предполагается производить с помощью СНС в дифференциальном режиме. Информация об углах крена и деферента МЛСП будет поступать в ГАС от ГАГК. Расчеты показывают, что данный состав технических средств обеспечит точности ( $P=0,683$ ): координирования платформы относительно площадки – не хуже 0.35 м (по трем координатам); определения скорости – 0.025 м/с; определения ее азимутального положения относительно площадки – 0.2°.

Для обеспечения контроля положения платформы по высоте относительно грунта требуется разработка специального эхолота с разрешающей способностью по глубине 1 см, имеющего четыре разнесенные антенны.

Положение буксиров относительно платформы предлагается определять с помощью РЛС, а также с использованием реализующей режим определения относительных координат аппаратуры СНС, устанавливаемой на платформе и буксирах.

Важной является задача рациональной организации сбора, обработки и отображения навигационно-гидрографической информации в процессе установки платформы.

Все пользовательские модули (блоки) навигационных систем должны размещаться на том посту, откуда осуществляется управление буксировкой и установкой платформы.

Основная навигационно-гидрографическая информация собирается, обрабатывается и индексируется в навигационной информационной системе с отображением электронной карты (ECDIS). По уровню характеристик и функциональным возможностям предложено использование для этих целей ECDIS ряда dKart Navigation.

ECDIS способна принять и обработать в реальном масштабе времени информацию от:

- ГАГК, совмещенного с многофункциональным приемоиндикатором СНС (азимутальная ориентация платформы);
- приемоиндикатора СНС и бортовой аппаратуры СВЧ РНС (текущие географические координаты и вектор абсолютной скорости движения платформы);
- прецизионной ГАС (текущие координаты, вектор скорости и азимутальная ориентация платформы в относительной системе координат);
- специального эхолота (текущее положение углов платформы по высоте относительно грунта);
- радиолокатора и аппаратуры определения относительных координат по СНС (координаты и векторы скорости буксиров относительно платформы).

Наличие данных от вышеперечисленных средств позволяет осуществлять с помощью ECDIS контроль удержания платформы на трассе предварительно проложенного маршрута. Управление буксирами при этом будет производиться по вырабатываемой ECDIS информации о текущем боковом отклонении платформы от заданной траектории. Текущее место и вектор скорости буксира отобразится либо в истинном движении на электронной карте, либо в относительном движении – на электронном маневренном планшете.

Организация использования навигационных систем на этапе первичного позиционирования платформы в районе ее установки и заводки якорей-массивов аналогична рассмотренной выше. Координирование работ в данном случае должно осуществляться с помощью СНС в дифференциальном режиме и СВЧ РНС. После заводки и начальной обтяжки якорь-цепей основной системой координирования становится прецизионная ГАС.

Контроль положения платформы в процессе погружения и установки на грунт производится по данным ГАС с отображением на электронной карте (планшете) в масштабах 1:1000 – 1:200. При этом отслеживаются:

- \* текущее положение масштабного контура платформы в плане в системе координат ГАС;
- \* заданное положение масштабного контура платформы.

Обтяжка платформы в процессе погружения до посадки на грунт осуществляется с использованием индексируемой ECDIS информации о текущих отклонениях платформы от заданного положения в плане (по расстоянию и азимутальной ориентации).

Таким образом, необходимый и достаточный состав средств координирования МЛСП включает:

1. На берегу:
  - \* контрольно-корректирующую станцию дифференциальной подсистемы СНС ГЛОНАСС/НАВСТАР;
  - \* РНС “Марс-75”;
  - \* РНС “Крабик-БМ”.
2. На платформе:
  - \* приемоиндикаторы СНС и РНС;
  - \* гироазимутгоризонткомпас;
  - \* гидроакустическую систему;
  - \* эхолот;

- \* РЛС;
- \* навигационную информационную систему ECDIS.

В заключение следует отметить, что приведенный состав средств способен обеспечить не только контроль положения платформы в процессе ее дальнейшей эксплуатации, но и безопасность мореплавания в районе Приразломного нефтяного месторождения.

ГРНТИ 78.21.39.17.17.17

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЪЕМКИ РЕЛЬЕФА ДНА СРЕДСТВАМИ ПЛОЩАДНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ**

**В.А.АВДОНИУШКИН,  
А.А.ЛАКУНИН**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Предлагается способ оценки качества съемки рельефа дна средствами площадного обследования по данным на участках перекрытия смежных съемочных полос без проложения специальных контрольных галсов.*

В арктических районах гидрометеорологические условия существенно затрудняют проведение всех видов гидрографических работ, в том числе и съемку рельефа дна. Наличие ледового покрова в течение большого времени года ограничивает продолжительность возможного периода съемки в высоких широтах всего несколькими летними месяцами. Это обстоятельство неизбежно приводит к поиску средств и методов повышения эффективности гидрографических работ. К числу таких средств, в первую очередь, можно отнести гидрографические комплексы площадного обследования морского дна, а среди методов – способы контроля качества съемки непосредственно в процессе ее проведения. Обоснованию одного из таких способов, позволяющего отказаться от прокладки специальных контрольных галсов, и посвящена настоящая работа.

Обработка гидрографических данных для контроля и оценки их качества является обязательным элементом в общей технологической схеме съемки рельефа дна и проводится на всех ее этапах с целью получения цифровой модели исследуемого поля с максимальной степенью достоверности. В реальном масштабе времени показатели качества используются для контроля за ходом съемки, и их ухудшение сигнализирует оператору о необходимости выявления и устранения приводящих к этому причин путем изменения режима или плана съемки. На этапе последующей обработки показатели качества данных о глубинах дают оператору-гидрографу возможность редактирования полученных материалов.

С учетом общих требований к автоматизированной гидрографической съемке, рассматриваются следующие показатели качества информации, поступающей на обработку [1]:

- \* достоверность измерения глубин;
- \* правильность измерения глубин;
- \* точность измерения глубин;
- \* полнота обследования района съемки.

Достоверность измерения глубин характеризуется вероятностью отсутствия промахов в измерениях. Способ оценки достоверности основан на использовании специальных алгоритмов отбраковки недостоверных значений глубин с подсчетом в

процессе их функционирования согласно [2] вероятности отсутствия промахов в измерениях

$$P = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n - n_p}{n} = 1 - \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_p}{n}, \quad (1)$$

где  $n$  – число измеренных глубин;

$n_p$  – число выявленных промахов.

Наибольшее распространение для оценки контролируемых значений при отбраковке аномальных измерений получили интерполяционные алгоритмы и алгоритмы на базе метода наименьших квадратов. Причем первые используются чаще, так как они значительно проще в реализации, а их обнаруживающая способность не ниже, чем у алгоритмов метода наименьших квадратов [3,4,5].

Правильность измерения глубин оценивается после введения в их значения окончательных поправок и характеризуется величиной остаточной систематической погрешности.

Характеристикой точности измерения глубин является средняя квадратическая погрешность с учетом погрешности (СКО) определения местоположения [1].

Полнота обследования района съемки характеризуется отсутствием длительных пропусков в информации о глубинах на галсах, а также необследованных участков между смежными галсами. Для ее оценки осуществляется автоматическое выявление в зарегистрированных на техническом носителе данных длительных пропусков и контроль погрешности линейной интерполяции глубин в междугалсовые промежутки.

Показатели качества данных съемки многолучевыми и многоканальными средствами систематизированы в таблице. При съемке рельефа дна гидроакустическими средствами площадного обследования в зонах перекрытия съемочных полос появляется избыточная информация, которая может быть использована для оценки качества данных о глубинах. При производстве гидрографических съемок автоматизированными комплексами типа АГК ПС оценка качества будет осуществляться оперативно по данным текущего и предыдущего галсов. Необходимость проложения специальных контрольных галсов и загрузки в оперативную память данных по всему району при этом отпадает, что существенно отразится на экономии материальных средств и ресурсов. Дополнительным контролем может являться сравнение полученных результатов с данными ранее выполненных работ в этом же районе, если таковые имеются.

Определение расхождений глубин на участках перекрытия обследуемых полос для оценки правильности и точности измерений, в зависимости от ресурсов используемых в комплексе обработки вычислительных средств, может осуществляться на основе различных объемов исходных данных. Если в ходе съемки сохранялась полная гидрографическая информация\*, то для каждой из смежных полос обследования имеются все зарегистрированные значения глубин, привязанные к координатам.

Когда же на этапе сбора данных осуществлялось их программное сжатие, в полосах обследования имеются только информативные значения рассматриваемого параметра.

\* Подразумевается, что программная отбраковка недостоверных значений глубин произведена до регистрации полной гидрографической информации.

**Показатели качества съемки рельефа дна многолучевыми и многоканальными средствами**

Показатель	Определяющая характеристика	Способ оценки	Способ контроля	Способ улучшения
Достоверность измерения глубин	Вероятность отсутствия промахов в измерениях	Использование алгоритмов отбраковки недостоверных глубин и подсчет величины $P = 1 - \lim_{n \rightarrow \infty} n_p/n$	Анализ величины $n_p/n$	Исключение недостоверных значений из дальнейшей обработки
Правильность измерения глубин	Остаточная систематическая погрешность измерения глубин	Расчет по расхождениям измерений в районах перекрытия смежных полос обследования	1. Сравнение остаточной систематической погрешности измерения глубин с допустимым значением; 2. Визуальный анализ прохождения изобат в смежных полосах обследования	1. Уточнение поправок и исправление с их помощью измеренных глубин и координат точек измерения; 2. Выявление систематических погрешностей и их исключение в процессе редактирования информации
Точность измерения глубин	СКП измерения глубин (с учетом погрешности определения места)	Расчет по расхождениям измерений в районах перекрытия смежных полос обследования	Сравнение СКП измерения глубин с допустимым значением	1. Уточнение поправок и исправление с их помощью измеренных глубин и координат точек измерения; 2. Согласование данных измерений в районах перекрытия смежных полос обследования ; 3. Осреднение данных по каждому каналу за некоторый промежуток времени
Полнота обследования района съемки	1. Отсутствие длительных пропусков в зарегистрированной гидрографической информации; 2. Отсутствие необследованных участков между смежными полосами обследования	Автоматическое выявление длительных пропусков в зарегистрированной информации	1. Подача сигнала (выдача сообщения) в случае обнаружения длительных пропусков в зарегистрированной информации; 2. Визуальный анализ схемы расположения полос обследования	

Показатели для оценки правильности и точности измерения и определения положения глубин и подробности съемки рассчитываются по окончании полного цикла камеральной обработки по расхождениям параметров в зонах перекрытия смежных полос обследования [1]. В качестве точек, в которых будут вычисляться расхождения глубин, определим:

\* узлы регулярной сетки или любые другие заданные оператором точки зоны перекрытия (вычисления производятся интерполированием в эти точки глубин одного и другого смежных галсов);

\* точки, соответствующие глубинам текущего галса и попадающие в область перекрытия полос обследования, (вычисления производятся после интерполирования в эти точки глубин предыдущего галса).

В первом случае интерполирование может выполняться по методике, предложенной в [6], для чего по экспериментальным данным, используя метод наименьших квадратов, следует определить коэффициенты аппроксимирующей функции вида

$$Z(x, y) = \sum_{ij} a_{ij} x^i y^j, \quad (2)$$

при условии, что  $0 \leq i + j \leq 3$ .

Коэффициенты  $a_{ij}$  в точке  $(x, y)$  определяются из условия минимизации выражения

$$\sum_k p_k \left[ \sum_{ij} a_{ij} x_k^i y_k^j - z_k \right]^2 = \min, \quad (3)$$

где  $k$  – число обрабатываемых экспериментальных точек;

$x_k, y_k, z_k$  – координаты точек и глубины в них соответственно;

$p_k$  – весовой коэффициент, взятый в виде

$$p_k = \left[ 1 + \alpha (\Delta x_k^2 + \Delta y_k^2)^2 \right]^{-1}, \quad (4)$$

где  $\Delta x_k = x_k - x_u$ ;

$\Delta y_k = y_k - y_u$ ;

$x_u, y_u$  – координаты центра интерполяции;

$\alpha = 0,07$  – эмпирический коэффициент.

Для контроля средней квадратической погрешности интерполирования глубин ее величина может быть оценена по методу наименьших квадратов

$$m_{инп} = 1 / \sqrt{\left[ p_k^2 \right]}. \quad (5)$$

Если  $m_{инт}$  не превышает  $\frac{1}{3}$  среднего квадратического уклонения глубин [1], допустимого значения [1], то данная методика применима и для интерполирования значений глубин на участки пропусков информации о глубинах на галсе и в зоны отсутствия перекрытия смежных полос обследования. При невыполнении этого условия на данных участках следует проводить дообследование.

Во втором случае измеренные глубины одного галса сравниваются с вычисленными глубинами соседнего, имеющими те же плановые координаты. Для этого в окрестности глубины  $z(x, y)$  отыскиваются три ближайшие отметки глубин  $z_1, z_2, z_3$  соседней полосы. Причем глубина  $z$  должна принадлежать внутренней области треугольника с вершинами  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ . Оценка глубины в точке  $(x, y)$  выполняется по формуле

$$z_{\text{инт}} = -\frac{I}{C}(Ax + By + D), \quad (6)$$

где  $A, B, C, D$  – коэффициенты уравнения плоскости, проходящей через вершины  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ ;

$$A = \begin{vmatrix} y_1 & z_1 & 1 \\ y_2 & z_2 & 1 \\ y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix}; \quad B = \begin{vmatrix} z_1 & x_1 & 1 \\ z_2 & x_2 & 1 \\ z_3 & x_3 & 1 \end{vmatrix}; \quad C = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}; \quad D = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_1 \\ x_3 & y_3 & z_1 \end{vmatrix}.$$

В этом случае  $m_{\text{инт}}$  может быть определена согласно изложенной в [1] методике.

При решении задачи в постановке, предполагающей сохранение всей поступающей гидрографической информации и интерполирование в заданные оператором узлы, интерполированные значения глубин вычисляются с максимально возможной точностью, но при этом приходится просматривать большие объемы зарегистрированной информации. Если расхождения определяются в точках, соответствующих глубинам текущего галса, то интерполирование в точки сравнения осуществляется только для одной полосы обследования, и суммарные временные затраты будут сокращаться примерно вдвое. Оперативную оценку качества съемки в квазиреальном времени целесообразно производить по данным созданной путем отбора информативных глубин цифровой модели с учетом точности ее построения, что позволит сэкономить ресурсы вычислительной техники. При окончательной же обработке материалов следует исходить прежде всего из необходимости получения максимально достоверных оценок, поэтому массив информативных глубин желательно документировать параллельно с регистрацией полных данных об измеренных глубинах.

В целом, оценка качества съемки рельефа дна гидроакустическими средствами площадного обследования по данным перекрытия смежных съемочных полос позволит примерно на 7-10% снизить затраты на производство гидрографических работ, так как в соответствии с [1] на каждые 10-15 галсов основного покрытия приходится в среднем один контрольный галс.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила гидрографической службы N 4, часть 2, изд. ГУНиО МО РФ, 1984.
2. Сорокин А.И. "Гидрографические исследования Мирового океана.- Л.: Гидрометиздат, 1980.- 285 с.
3. Бахмутский В.Г. "Фильтрация помех в измерениях океанографических параметров". Записки по гидрографии. - 1985.- № 213.- с.14-17.
4. Фомин А.Ф., Новоселов О.Н., Плющев Л.В. Отбраковка аномальных результатов измерений. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 112 с.
5. Техническое описание автоматизированного комплекса океанографических исследований (АКОИ).- М.: ЦНИИ "Дельфин", 1990.
6. Белоусов И.М., Иоффе А.И. Способ построения батиметрических карт при помощи ЭВМ, "Океангеология", вып. 3, 1974.



## ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

ГРНТИ 78.21.41.19.99:78.21.39.17:78.21.43.15

### **СОСТАВ И СТРУКТУРА СРЕДСТВ ПО ДОВЕДЕНИЮ ДАННЫХ О НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКЕ ДО ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРАЗЛОМНОГО ЕФТЯНОГО ЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**С.А.БОБКОВ**  
(ГУНиО МО РФ)

*Описана система в составе главного и зональных центров, а также абонентских пунктов. Предлагаемая структура средств учитывает удаленность МЛСП от источников информации, различную ведомственную принадлежность последних, высокие требования к точности и оперативности доведения до потребителя навигационных и гидрометеорологических данных. Состав программно-технических средств подобран с учетом возможности их модернизации без изменения принципиальной схемы в целом.*

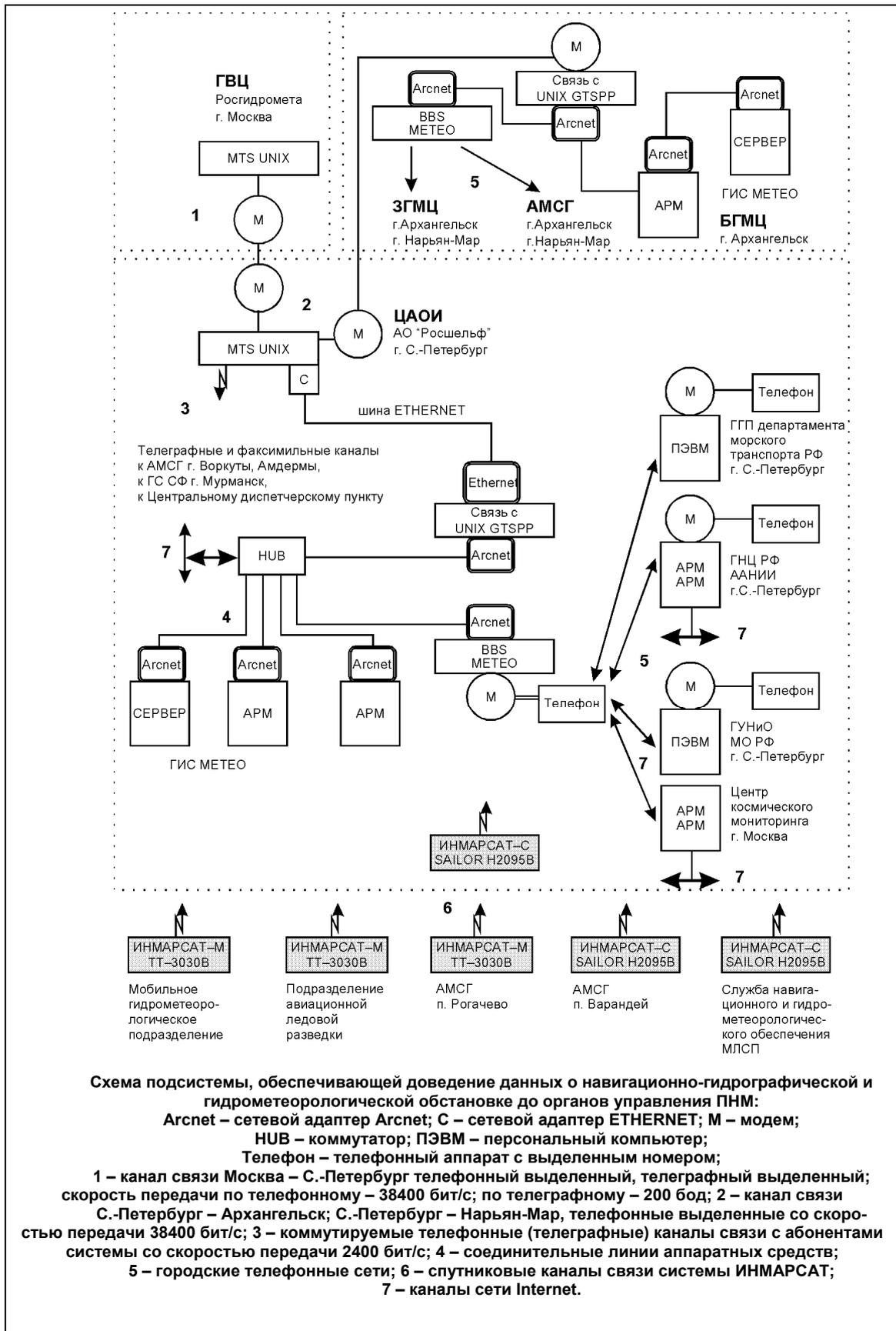
Состав программно-технических средств системы, обеспечивающей доведение данных до органов управления ПНМ<sup>1</sup>, определяется общей структурой служб навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения АО "Росшельф". Основным компонентом такой подсистемы (рисунок) является Центр автоматизированной обработки информации (ЦАОИ). Все базовые и зональные гидрометеорологические центры, аэрологические, аэрометеорологические станции аэропортов, мобильные подразделения, локальные посты операторов ГМО представляют собой абонентские пункты этого центра, которые соединены проводными и космическими радиоканалами связи. Основными источниками информации для него являются Главный вычислительный центр (ГВЦ) Росгидромета и подразделения, подчиненные ГУНиО МО РФ. Кроме того необходимая информация собирается и с абонентских пунктов.

Проводные каналы для приема метеорологических сообщений от ГВЦ могут подключаться:

- через телеграфные адаптеры со специальной картой, обеспечивающей связь с аппаратурой "Циклон";
- через модемную связь с центром коммутации сообщений (ЦКС) ГВЦ на персональных компьютерах (MTS);
- через локальную сеть Ethernet с системой UNIX узла связи автоматизированной системы передачи данных Росгидромета.

Наиболее современной технологией передачи информации является модемная связь на базе программного обеспечения MTS, которое работает в среде операционной системы SCO UNIX RELEASE 3.2 версии 4.2 с использованием сетевых средств SCO TCP/IP, SCO NFS, FTP PC/TCP и графического пакета SCO XSIGHT. Кроме того, MTS обеспечивает создание узла сети электронной почты МЕКОМ по выделенным линиям или через телефонную сеть общего пользования.

<sup>1</sup> См. опубликованную выше статью С.П.Алексеева и др. "Пути решения проблемы навигационного обеспечения освоения и эксплуатации нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе". (Прим.ред.).



Основными функциями MTS являются :

- прием / передача символьной и двоичной информации, представленной в виде сообщений по выделенным (коммутируемым) телефонному и телеграфному каналам .
- прием / передача графической информации, представленной в виде сообщений формата Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) по выделенным телефонным каналам;
- обмен сообщениями с другими MTS в локальной и глобальной сети TCP / IP;
- ввод / вывод аналоговой факсимильной информации с местных факсимильных аппаратов (“Фиалка-Д”);
- свертывание / развертывание факсимильной информации;
- идентификацию принимаемых метеокарт в интерактивном режиме;
- преобразование данных из кода ITA-2 в код ITA-5 и обратно.
- поиск сообщений, записанных в метеорологическую базу данных реального времени (MDB);
- автоматизированные ответы на запросы абонентов в MDB, в том числе на вопросы в формате Брюссельского банка авиационных метеоданных;
- оперативный контроль поступающих сообщений;
- автоматизированное информационное обслуживание абонентов по заявке.

MTS предполагает использование компьютеров на платформе INTEL. Могут использоваться PC IBM AT/486, Pentium. Программно-технические средства MTS позволяют формировать до 255 каналов со скоростями передачи в телефонных выделенных каналах 2400–38400 бит/ с.

Кроме того, для оперативной работы гидрометеорологов в ЦАОИ и в прогностических центрах (БГМЦ, ЗГМЦ, АМСГ) предлагается использовать Географическую Информационную Систему (ГИС) МЕТЕО, а удаленные посты операторов ГМО, технологических служб, мобильных подразделений обеспечивать готовой продукцией в циркулярном режиме.

ГИС МЕТЕО представляет из себя программный инструмент, который предназначен:

- получать метеорологические карты из удаленной базы данных ГВЦ Росгидромета (MDB), пополняемой в реальном масштабе времени, а также от собственных измерительных средств через абонентов системы с первичной обработкой программой GTSPF;
- получать изображения от метеорологических спутников МЕТЕО-SAT, JMS, NOAA, МЕТЕОР из баз данных собственных автономных пунктов приема спутниковой информации (АППИ) “СЮЖЕТ–М” и от удаленных баз данных центра “СЕВЕР”, ГВЦ;
- получать информацию от метеорологических радиолокаторов из удаленной базы данных, а также от собственных измерительных средств и через абонентов системы.

Программный комплекс состоит из нескольких компонент, среди которых можно выделить следующие программы:

- построение метеорологических карт по стандартной схеме наноски со средствами их обработки и визуализации;
- построение траекторий перемещения в атмосфере частиц, вычисленных по фактическим (прогностическим) данным, поступающих в кодах ГРИД (ГРИБ);
- построение разрезов атмосферы по маршрутам полетов авиации;
- построение аэрологических диаграмм;
- обработка данных метеорологического радиолокатора;
- построение графиков изменения метеорологических элементов (ветра, температуры и т. д.) во времени.
- декодирование международных кодов SYNOP, SHIP, TEMP, DRIFTER, GRID, GRIB, METAR, TAF, SPECI, KLIMAT, а также национальных KH-15, KH-19, KH-21, KH-24 и др.

Для обработки спутниковых изображений морских льдов, полученных с АППИ дополнительно устанавливается программное обеспечение "VIDEOBOX", которое позволяет:

- автоматически формировать по результатам картографирования ледовой обстановки векторный файл в формате КОНТУР с использованием международной символики для морских ледовых карт;
- классифицировать инфракрасные изображения морских льдов по толщине и составлять карты распределения льда по толщине;
- осуществлять интерактивное картографирование векторов дрейфа льдов по двум последовательным изображениям одного и того же района;
- обрабатывать и картографировать радиолокационные спутниковые изображения высокого разрешения ИСЗ ERS-1,2, а также с метеорологических спутников "Метеор", "Океан" и "NOAA".
- осуществлять географическую привязку изображений льда по орбитальным данным и уточнять ее по наземным ориентирам;
- производить выделение линейных и точечных ледовых объектов и маркировку их соответствующими символами.

Комплексы ГИС МЕТЕО соединяются друг с другом при помощи технологии "Сервер удаленного доступа в метеорологическую базу данных". Такое соединение используется для получения оперативных метеоданных в реальном масштабе времени. Технически соединение осуществляется с помощью выделенного (коммутируемого) канала связи и пары модемов. Далее используется пакет телесвязи R-DDE, позволяющий программам, работающим в среде Windows, взаимодействовать через этот канал связи.

Для передачи метеоинформации используются две специальные программы: MDB-сервер и MDB-клиент. Эти программы обеспечивают выборочное копирование метеоданных в темпе их поступления из удаленной базы данных источника и запись их в локальную базу данных. Пакет телесвязи R-DDE также создает возможность в том же канале связи вести транзитную передачу информации, осуществлять служебную переписку, передавать запросы и получать ответы от абонентов. К одному связному персональному компьютеру подключается до 8 различных каналов связи и до 4 модемов.

Для получения и доведения информации до абонентов в пределах одного города используется система BBS (Bulletin Board System) МЕТЕО. Она построена на программном обеспечении FRONT DOOR, устанавливается на отдельном компьютере, подключаемом к локальной вычислительной сети (ЛВС) комплекса ГИС МЕТЕО.

В состав BBS входит модем для коммутируемых каналов и телефонный номер, выделяемый для связи с абонентами системы в пределах одного города. Для организации обмена информацией абоненты имеют только компьютер с модемом и пакетом телесвязи. При необходимости по этой системе можно выходить на BBS МЕТЕО в ГВЦ Росгидромета, т.е. выполнять функции дублирования основного комплекса на базе MTS при возникновении нештатных ситуаций в основном контуре с выделенными каналами связи.

Для беспроводной передачи данных в труднодоступных районах (МЛСП, Варандей, Рогачево) используется система спутниковой связи ИНМАРСАТ.

ИНМАРСАТ – международная организация и ее интересы в разных странах представляют так называемые национальные операторы, которые обеспечивают регистрацию абонентских станций и ведение расчетов за трафик, в России это ГП "МОР-СВЯЗЬСПУТНИК" в г. Москве. Система обеспечивает двухстороннюю передачу

данных через береговые наземные станции, которые направляют сообщения в различные сети (телефонные, телексные) или подвижному абоненту, имеющему зарегистрированный терминал; при необходимости можно осуществлять радиообмен между абонентами. В рассматриваемом географическом районе имеется береговая станция в Норвегии (п.Ейк), что снизит расходы при оплате за трафик.

В системе предлагается использовать два стандарта: ИНМАРСАТ–С для стационарных объектов и ИНМАРСАТ–М — для подвижных.

В качестве приемо-передатчика в первом случае предлагается использование судовой станции SAILOR H2095B, которая полностью соответствует требованиям ГМССБ, а также служб SafetyNet и FleetNet, что особенно важно при работе на МЛСП.

Станция позволяет принимать и передавать информацию, включая сжатие данных, в сети X.25, на компьютер или факсимильный аппарат, подключенный к береговой телефонной сети, а также автоматический опрос/передачу данных о местоположении объектов в географическом районе с широтой до 75°. При необходимости в станцию может быть встроен приемник определения координат по GPS.

На подвижных объектах используется мобильный спутниковый телефон ИНМАРСАТ–М ТТ-303-В, который может осуществлять связь с телефоном, телефаксом, абонентом информационной сети, а также с другими мобильными комплексами и удовлетворяет требованиям ГМССБ. Цифровая технология связи обеспечивает высокое качество передачи речи и предотвращает несанкционированное прослушивание.

Навигационно-гидрографическая информация в ней будет передаваться по мере поступления от ГУНиО МО РФ и подчиненных ему подразделений. Следует иметь в виду, что рассматриваемый район не попадает в зону действия Всемирной службы навигационных предупреждений (граница 1 района начинается с линии Нордкап — о.Медвежий) и системы НАВТЕКС, поэтому Навигационные предупреждения дальнего радиуса действия (НАВАРЕА), прибрежные и местные предупреждения будут собираться в ЦАОИ от ГУНиО МО РФ, Гидрографической службы Северного флота (ГС СФ), Государственного Гидрографического предприятия (ГГП) Департамента мореплавания Минтранса. При необходимости увеличения числа абонентов в зависимости от их важности и месторасположения, а также объема необходимой им информации может применяться схема спутниковых, выделенных каналов связи или технология BBS.

ГРНТИ 78.21.43.15

**ОПЕРАТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОМЕТЕООБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗРАБОТОК  
ПРИРАЗЛОМНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Е.А. ЛУПЯН,  
В.М. ВЕСЕЛОВ,  
М.Ю. ЗАХАРОВ,  
А.А. МАЗУРОВ,  
Е.В. ФЛИТМАН  
(ИКИ РАН)**

*Изложены результаты эскизного проектирования системы оперативного использования спутниковых данных для работ по гидрометеообеспечению разработок приразломного месторождения.*

Спутниковые методы сегодня используются для решения следующих основных задач гидрометеообеспечения (ГМО):

- анализ состояния и динамики облачности;
- определение температуры воздуха и водных поверхностей;
- контроль состояния снежных и ледовых покровов;
- обнаружение и контроль развития туманов;
- оценка влажности и вероятности выпадения осадков.

Для их решения разработано достаточно много методик [1-3], которые могут быть использованы также для решения задач, связанных с ГМО работ на шельфе северных морей России.

В таблице приведены основные характеристики эксплуатируемых (или планируемых к запуску) в настоящее время гражданских низкоорбитных ИСЗ, данные с которых могут поступать потребителям в цифровом виде, позволяющем производить их высококачественную обработку. При этом рассматриваются также только спутники, зона видимости которых захватывает северные регионы России.

Приведенные в таблице аппараты двух классов с точки зрения оперативного использования отличаются в первую очередь пространственным разрешением и частотой наблюдения отдельных регионов. Первый тип аппаратов имеет достаточно низкое пространственное разрешение (порядка 1 км), но высокую частоту наблюдения (северные регионы такие аппараты наблюдают каждые несколько часов). Второй тип имеет достаточно высокое пространственное разрешение (до 20-40 м), но при этом не часто позволяет наблюдать отдельные регионы (съемка одного и того же региона может быть произведена не чаще, чем один раз в 4-5 сут.). Кроме того, аппараты первой группы постоянно производят съемку и имеют непрерывно работающий режим непосредственной передачи данных (т.е. по мере осуществления съемки сразу производится сброс данных потребителям). Аппараты же второй группы осуществляют съемку по постоянно планируемому расписанию и сброс данных на ограниченное число центров приема<sup>2</sup>. Это приводит к тому, что для аппаратов второго типа цикл от заказа съемки до получения данных может занимать от недели до нескольких недель. Поэтому данные, поступающие с аппаратов второго типа, практически невозможно использовать в оперативных работах. Они могут быть применены скорее для оценки последствий критических ситуаций и составления достаточно долгосрочных прогнозов

---

<sup>2</sup> В России такие центры реально функционируют только в Москве (НПО "Планета"). В ближайшее время планируется создание центра приема данных со спутниковых RADAESAT в НПО "Машиностроение".

**Таблица 1**  
**Основные характеристики низкоорбитных МСЗ, зона видимости которых охватывает северные регионы России**

Спутник (страна)	Высота орбиты, км	Основные приборы	Число каналов	Рабочие длины волн, мкм	Разрешение, км	Состояние	Частота наблюдений контролируемых районов
Метеорологические спутники							
NOAA 12,14, К (США)	870	AVHRR; HIRS; MSU; SSU	5 20 4 3	0,65-12,5 0,69-15 1,7 см <sup>-1</sup> 15	1,1 17,4 1174 737	12,14 Функционируют К - запуск август 1996 г.	Не менее 8 раз в сутки
Метеор-3М, Россия	670	МСП МЗОАС МИВ3А MSU/AMSU	5 6 3 20	0,65-12,5 0,42-4,8 22-94 ГГц 23-183 ГГц	1X1 0,27x4,9 град. 25x100 1,2x3,3 град	Планируется к запуску в 1998 г.	Не менее 4 раз в сутки
Метеор-3МА (Метеор-Арктика), Россия	670	ПЛСБОСА МСУ-М2 МСУ-Ш СВЧ-PM	1	9 ГГц	0,3 0,3 0,3	Планируется к запуску	Не менее 4 раз в сутки
Природо-ресурсные спутники							
Ресурс-О1(3), Россия	650	МСУ-Ск МСУ-Э	5 3	0,54-12,6 0,5-0,9	0,245x0,175- 0,82-x0,59 0,034x0,024	Функционирует	1 раз в сутки 1 раз в четверо суток
ERS-1 ERS-2 ESA	785	SAR	1	5.3 Ggz	20x20 м	Функционируют	Гарантированное наблюдение любой точки Земли с максимальным разрешением раз в 35 дней
RADARSAT, Канада	793-821	SAR	1	5.3 GHz	15 м	Функционирует	Гарантированное наблюдение любой точки Земли с максимальным разрешением раз в 24 дня

(например, прогноза развития ледовой обстановки на 10-15 сут.)<sup>3</sup> по заранее запланированным съемкам. Таким образом, для обеспечения решения оперативных задач сегодня можно использовать только информацию метеорологических систем.

Одной из специфических особенностей рассматриваемого района наблюдения является продолжительная полярная ночь. Поэтому при круглогодичном наблюдении необходимо использовать данные съемки в ИК диапазонах и радиолокационной. Кроме того, последние важны для проведения оценки ледовой обстановки независимо от погодных условий. Поэтому наиболее перспективным представляется использовать функционирующие аппараты серии NOAA и планируемый к запуску в ближайшие годы ИСЗ Метеор-Арктика. Из природо-ресурсных систем следует ориентироваться на данные, поступающие со спутников ERS и RADARSAT. При чем следует учитывать, что сегодня нет функционирующих, и в ближайшие годы не ожидается запуск спутниковых систем позволяющих получать радиолокационные данные с высоким пространственным разрешением, которые можно было бы использовать для решения оперативных задач. Остается только воспользоваться возможностями систем авиационного базирования.

Таким образом из функционирующих систем для оперативных целей сегодня можно использовать только данные, поступающие с метеорологических спутников серии NOAA. На их основе (рис.1) могут быть решены практически все перечисленные в начале данной статьи задачи ГМО. Однако при наличии сплошной облачности с помощью имеющихся на этих спутниках ИК каналов невозможно производить анализ состояния подстилающей поверхности (в частности ледовой обстановки). Эти ограничения могут быть сняты после запуска спутников серии Метеор-Арктика, на которых планируется установка радиолокаторов бокового обзора (РЛБО).

В соответствие с международными соглашениями и принципом "open skies" [4], данные с метеорологических спутников могут бесплатно приниматься всеми заинтересованными пользователями. Цифровые данные с этих аппаратов передаются в режиме непосредственной передачи на канале 1.7 ГГц. В принципе, приемные системы, позволяющие получать данные в этом канале, достаточно дешевы<sup>4</sup> и могут быть установлены во всех ключевых пунктах, обеспечивающих разработку и транспортировку нефти. Однако, для эффективного использования спутниковых данных в конкретных задачах необходима их специализированная обработка. Для проведения такой обработки, во-первых, требуется опытный персонал, а во-вторых, в ряде случаев могут потребоваться данные наземных измерений. Поэтому основной прием и обработку спутниковых данных логично осуществлять в едином центре ГМО нефтеразработок. В этом случае конечным потребителям информации будут поступать не сырые, трудные к восприятию спутниковые данные, а готовые к использованию результаты их обработки.

Возможная схема получения спутниковых данных и результатов их обработки приведена на рис.2. Основной центр обеспечения ГМО (Санкт-Петербург) должен быть оснащен системой приема и обработки спутниковых данных, поступающих с метеорологических спутников на канале 1.7 ГГц. В этот центр также будут поступать и обрабатываться данные заказных съемок с природо-ресурсных спутников (ERS и RADARSAT). Результаты должны передаваться конечным потребителям:

- в центр управления разработками (г. Москва);
- на буровую платформу;
- в береговые службы;
- на суда.

<sup>3</sup> Следует особо отметить, что если необработанные данные, поступающие с метеорологических спутников достигает несколько тысяч долларов США за один снимок.

<sup>4</sup> Цена на них сегодня колеблется от \$5000 до \$20000 в зависимости от функциональных особенностей и устанавливаемого программного обеспечения.

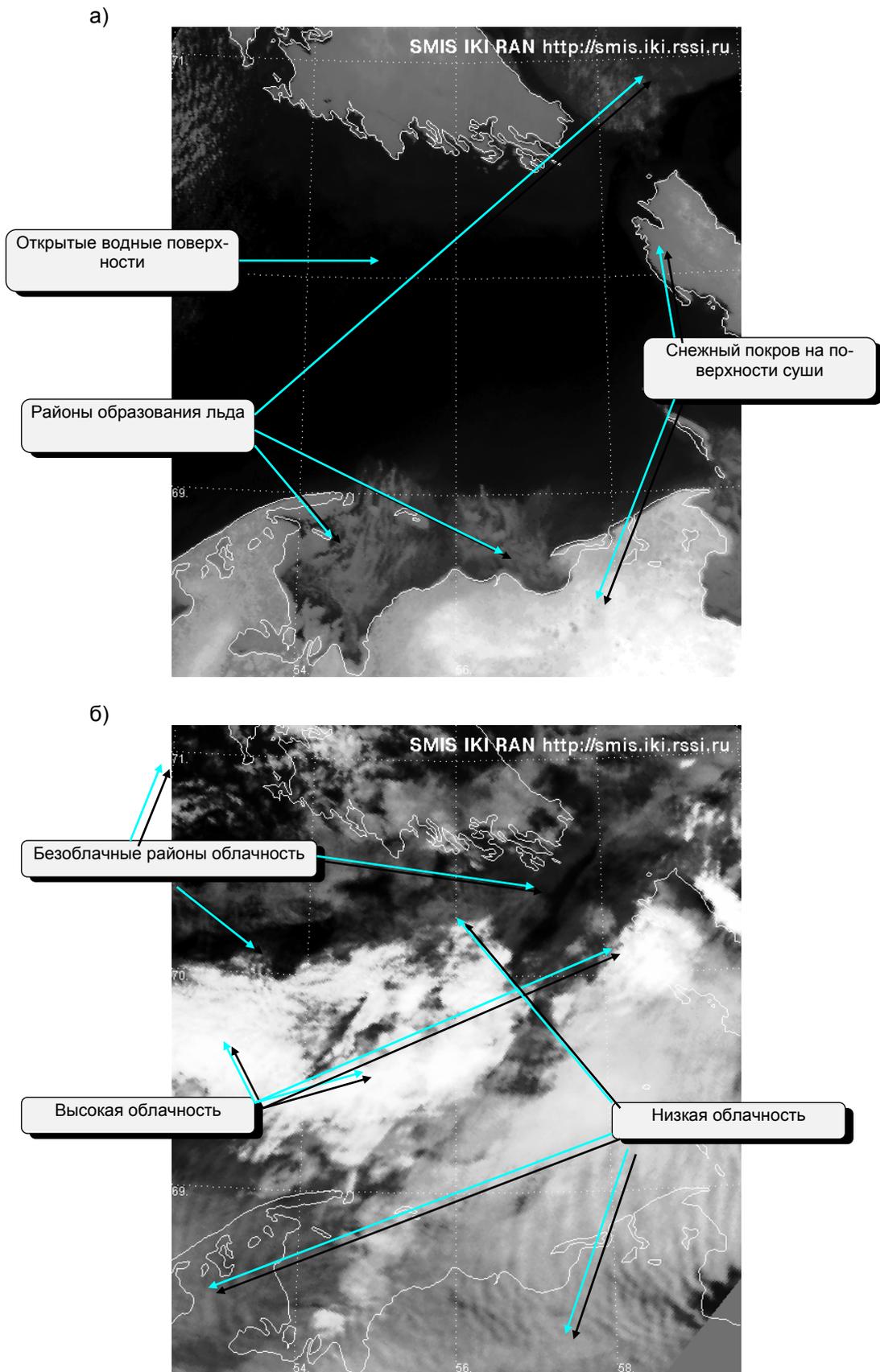


Рис.1. Примеры изображений района предполагаемых разработок, полученные со спутников серии NOAA (канал 4, 11 мкм): а) - безоблачная ситуация; б) - облачность разного уровня.

Структуру и схему организации процесса обработки в центре мы рассмотрим ниже. Сейчас отметим только то, что в среднем для оперативной работы в центр будет поступать и обрабатываться от одного до двух гигабайт информации в день.

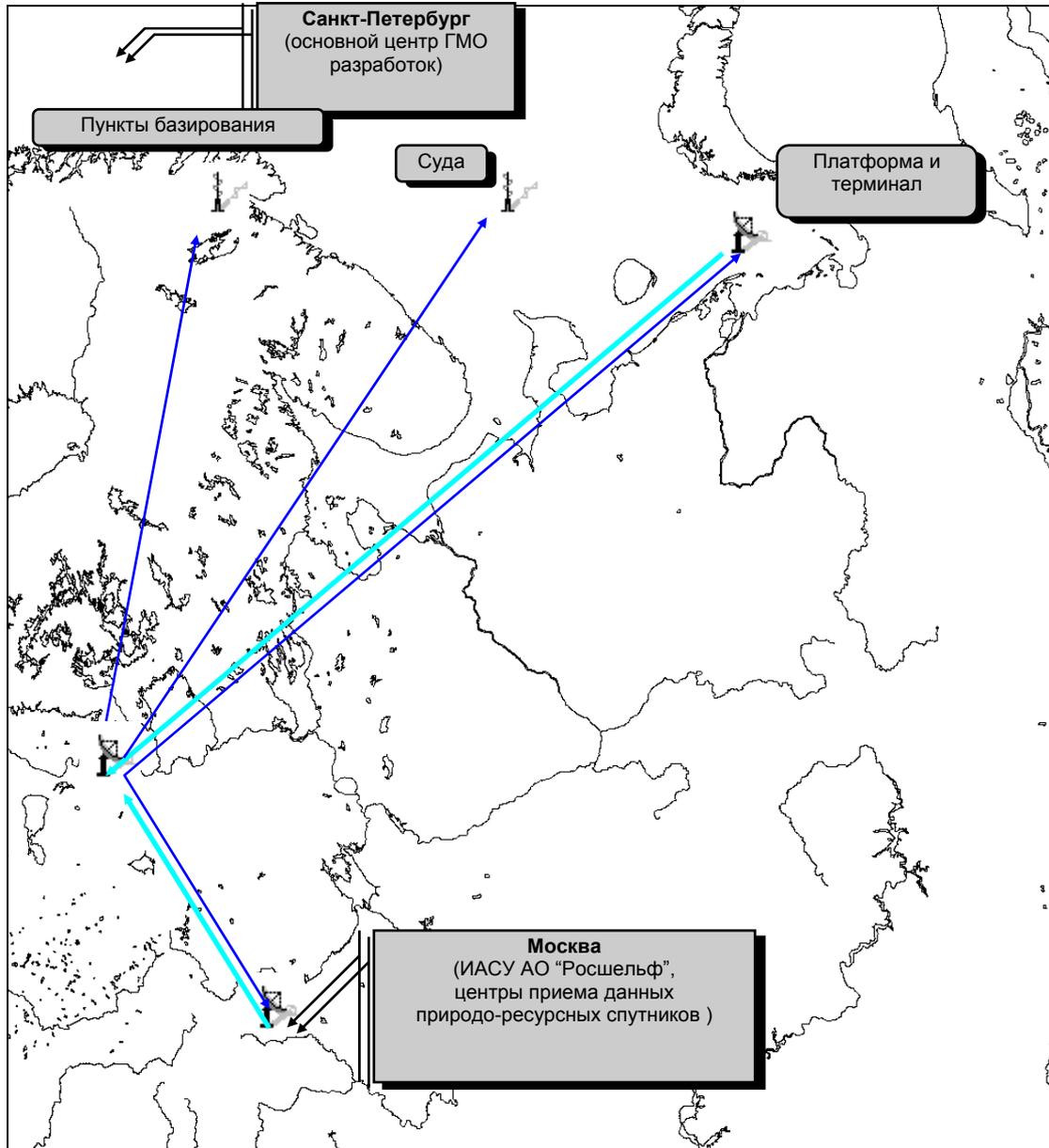


Рис. 2. Структурная схема системы оперативного получения спутниковых данных и распространения результатов их обработки.

Дублирующая система приема данных метеорологических спутников может быть установлена непосредственно на платформе. Зона видимости ее (например, регион 1000x1000 км) позволит проводить наблюдение обстановки непосредственно в районе разработок. Процесс приема и обработки данных может быть максимально автоматизирован, тогда обслуживающий персонал сосредоточится только на обработке и анализе спутниковых данных. При необходимости должна быть предусмотрена возможность оперативной передачи получаемой информации в Центр для специализированной обработки. Поток таких данных может составлять 50 - 100 Мб/сут. Отметим, что в штатной ситуации на платформу должны поступать уже обработанные в Центре спут-

никовые данные (различные карты облачности, карты зон туманов, карты ледовой обстановки и т.д.). Объем их будет составлять 15 – 30 Мб/сут.

Центр в Санкт-Петербурге должен быть также соединен с центрами приема и первичной обработки данных природо-ресурсных спутников в Москве (НПО "ПЛАНЕТА" и "Машиностроение"), а также с центрами, осуществляющими полномасштабный прием и обработку данных метеоспутников (НПО "ПЛАНЕТА", ИКИ РАН), которые, в случае необходимости, могут быть использованы как резервные. Информацию, прошедшую первичную обработку в Москве, для специализированной обработки предполагается передавать в Центр в Санкт-Петербурге. Объемы передаваемой информации могут достигать несколько сотен Мб/сут.

Потоки данных, передаваемых из Центра разным конечным потребителям, могут иметь различную структуру. Например, каждому потребителю можно передавать детальную информацию о районе его непосредственного нахождения и обзорную об остальных районах. В таком случае объем информации, получаемой на судах и береговых службах, не будет превышать нескольких Мб в сутки. Весь поток обработанной информации предполагается передавать из Санкт-Петербурга только в центр управления разработками в Москве. Его суточный объем составит от 50 до 100 Мб.

Описанную схему передачи и распространения данных сегодня разумно реализовать на основе технологий ИНТЕРНЕТ/ИНТРАНЕТ [5], т.е. ориентироваться на сети передачи данных, работающие на протоколах TCP/IP и стандартные виды сервисов, которые могут быть реализованы в таких сетях. Тем более, что эти протоколы планируется использовать в сетях передачи данных по обеспечению разработок на Приразломном месторождении. При этом необходимо иметь каналы следующей пропускной способности:

* .....	
Центр – суда .....	не менее 19.2 Кб/с;
* .....	
Центр – береговые службы обеспечения разработок .....	не менее 28.8 Кб/с;*
* .....	
Центр – платформа .....	не менее 64 Кб/с (желательно 256 Кб/с);
* .....	
Центр – Москва .....	не менее 256 Кб/с (желательно 2 Мб/с).

При этом для связи с Москвой разумно организовать канал между Центром ГМО разработок и Центром управления разработками АО "Росшельф". С ним же нужно связать различные центры приема спутниковых данных в Москве. В этом случае канал между Санкт-Петербургом и Москвой можно будет использовать не только для передачи спутниковых данных и данных ГМО, но и в случае необходимости, например, для проведения видеоконференций по обсуждению действий в критических ситуациях.

Кратко рассмотрим теперь вопрос, как может быть устроена система приема, обработки и распространения данных в Санкт-Петербургском центре. Одно из основных требований к ней – возможность оперативного доступа удаленных пользователей к результатам обработки и анализа данных. Для его удовлетворения целесообразно использовать как появившиеся в последние годы технологии открытых сетей ИНТЕРНЕТ, так и новейшие технологии ИНТРАНЕТ (для построения корпоративных сетей). На базе этих технологий в ИКИ РАН уже создана система, поддерживающая оперативный доступ удаленных пользователей к спутниковым данным [7-10]. В обеспечение ее функционирования разработаны специальное программное обеспечение [11-14] и структура архивации данных, позволившие обеспечить:

\* круглосуточный автоматический прием, первичную обработку, фрагментацию и архивирование данных;

\* Каналы передачи данных такой емкости (19,2 Кб/с и 28,8 Кб/с) могут быть организованы с помощью коммутируемых каналов системы INMARSAT (A, B).

- \* оперативный (уже через несколько минут после приема) доступ специалистов, анализирующих и обрабатывающих информацию, к данным, прошедшим первичную обработку;
- \* оперативный доступ удаленных пользователей к результатам автоматической обработки спутниковых данных;
- \* доступ к результатам тематической обработки, проведенной специалистами центра;
- \* доступ удаленных пользователей к архивам.

Такая же система может быть развернута и в Санкт-Петербургском центре (рис.3). В ее состав должна быть включена станция приема спутниковых данных, на которой устанавливается специальное программное обеспечение, позволяющее автоматически (без участия оператора) проводить прием, первичную обработку и фрагментацию данных согласно предварительно составленному расписанию пролетов спутников. При этом оператор сможет управлять и контролировать работу станции как непосредственно с входящего в ее состав персонального компьютера, так и удаленно по компьютерной сети.\*



Рис. 3. Общая структура системы приема и обработки спутниковых данных в центре ГМО разработок (Санкт-Петербург).

Сразу после приема калиброванные данные в формате Level 1B будут записываться в оперативный архив, расположенный на дисках рабочей станции SUN. Одновременно автоматически должна проводиться их первичная обработка и фрагментация. Данные, помещенные в оперативный архив, будут автоматически проходить ту часть тематической обработки, которая не требует вмешательства специалистов (построение карт крупномасштабных облачных структур и анимации для анализа их движения, выделение безоблачных районов, построение карт температуры водной по-

\* Подобная система управления будет также установлена и на станции, расположенной на добывающей платформе, что позволит полностью управлять ее работой в Санкт-Петербурге.

верхности, выделение зон туманов и т.д.). Одновременно специалисты будут проводить их специальную тематическую обработку (анализ ледовых ситуаций и прогноз их развития, прогноз развития облачности, оценка безопасности полетов авиации, оценка масштабов влияния возможных крупных аварий на окружающую среду и т.д.). Результаты будут оперативно доступны удаленным пользователям (рис.4).

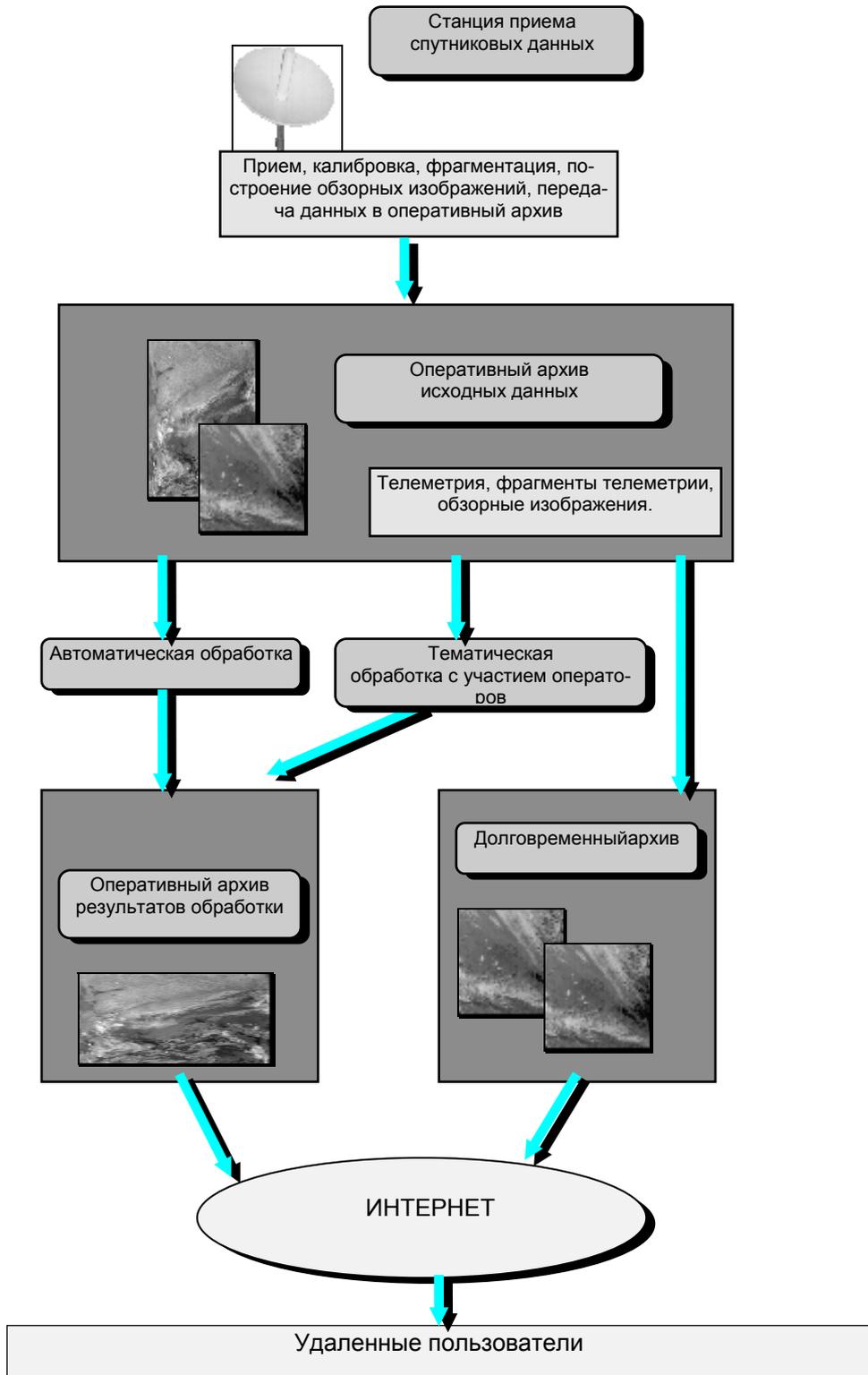


Рис 4. Схема обработки и доведения до удаленных пользователей спутниковых данных.

В оперативном архиве информация должна храниться в течение недели. После чего все фрагменты исходных данных по районам наблюдений и данные тематической обработки будут помещаться в специальный долговременный архив (см.рис.4). Для долговременной архивации данных сможет также использоваться рабочая станция SUN, оборудованная магнитофонами Exabyte и системой автоматической смены лент (Jukebox), а также устройством записи на диски CD-ROM.

Вся система архивации и удаленного доступа базируется на использовании информационного сервиса сети ИНТЕРНЕТ - World Wide Web, основанного на технологии компьютерного гипертекста, содержащего перекрестные ссылки между страницами WWW-сервера. Информация, к которой обеспечивает доступ WWW-сервер, подразделяется на три основных раздела:

- 1). Принятые спутниковые данные, прошедшие первичную обработку:
  - калиброванная телеметрия;
  - фрагменты телеметрии, соответствующие регионам наблюдения;
  - фрагменты данных, переведенные в географическую проекцию;
- 2). Тематически обработанные данные:
  - карты изображений облачности;
  - анимация движения облачности за последние сутки;
  - карты температуры водной поверхности;
  - карты ледового покрова;
  - карты различных аномалий и т.д.
- 3). Долговременный архив, в котором хранятся:
  - \* фрагменты телеметрии;
  - \* откалиброванные и привязанные данные;
  - \* все результаты тематической обработки.

Для долговременного хранения информации предполагается использовать специальную базу данных, конкретная структура и состав которой должны быть определены на этапе разработки технического проекта Центра. Все данные, полученные в результате тематической обработки, будут иметь интерфейс для передачи их в стандартные форматы, используемые в современных ГИС.

Предполагается, что к информации, относящейся к разделам 1 и 3, получают доступ только специалисты в Санкт-Петербургского и Московского центров (для проведения тематической обработки и последующего анализа критических ситуаций). Данные раздела 2 смогут оперативно получать все заинтересованные участники проекта.

Для проведения тематической обработки в систему будут также включаться данные спутников высокого разрешения. После проведения практически того же цикла обработки их передачу из специализированных центров предполагается осуществлять либо на электронных носителях, либо оперативно, по компьютерным сетям. Предусмотрен ввод в систему также различных дополнительных данных (например, полученных с систем авиационного базирования).

Удаленные пользователи будут снабжены стандартными "броузерами", позволяющими работать с WWW-серверами. Такие "броузеры" будут дополняться приложениями для работы со специальными типами данных, сами приложения должны поддерживаться и обновляться по компьютерным сетям. Это позволит максимально стандартизировать пользовательский интерфейс и избежать дорогостоящих разработок специального программного обеспечения (для работы удаленных пользователей с результатами обработки спутниковых данных).

Построенная таким образом система приема, обработки и распространения спутниковой информации позволит организовать оперативный доступ к ней пользователей, независимо от места их нахождения и специфики используемых каналов. Применение технологий ИНТЕРНЕТ/ИНТРАНЕТ, за счет высокой степени стандартизации, понизит цену поддержки и модернизации системы, а также обеспечит возможности ее легкого расширения.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Karlsson K.-G., Liljas E. The SMHI Model for cloud and precipitation analysis from multispectral AVHRR data. // SMHI Promis Reports, 1990, N 10.
2. Радиолокация поверхности Земли из космоса /Под ред Л.М. Митника и С.В. Викторова. // Л., Гидрометеиздат, 1990. 200 с.
3. The Future of Remote Sensing From Space: Civilian Satellite System and Applications ( U.S. Congress, Office of Technology Assesment) // Washington, DC: U.S. Government printing Office, July 1993.
4. Valgrenwald A. Legal protection of the polar platform users. // Proc. of an ESA Workshop, Italy, Frascati, 4-5 September 1986. Frascati, 1987. P.27-34.
5. Эд. Крол Все об ИНТЕРНЕТ. // Торгово-издательское бюро BHV, 1995, 592 с.
6. Букчин М.А., Захаров М.Ю., А.Г. Крайнев, Лупян Е.А., Мазуров А.А., Нартов И.Ю., Флитман Е.В. Первичная обработка данных метеорологических спутников на локальных станциях приема. // Исследование Земли из Космоса. 1994. N 5. С. 112-117.
7. Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Назиров Р.Р. Создание информационного центра для поддержки пользователей спутниковых данных. // Исследование Земли из Космоса. 1994. N 4. С. 88-91.
8. Захаров, Е.А. Лупян, А.А. Мазуров, Р.Р. Назиров, Е.В. Флитман, Перспективы использования глобальных компьютерных сетей для организации доступа к спутниковым данным и результатам их обработки. // Дистанционное зондирование Земли и решение задач природопользования и экологии на федеральном и региональном уровнях. Материалы отраслевого семинара, 20-21 мая 1996 г. Российское космическое агенство (Центр программных исследований), Москва, 1996. С.72-87.
9. Захаров, Ю.С. Крашенинникова, Е.А. Лупян, Р.Р. Назиров, А.А. Мазуров, Е.В. Флитман, Н.Л. Хохлова. Возможности организации оперативного доступа пользователей к данным метеорологических спутников. // В сб. статей Новые информационные технологии и дистанционные методы отраслевого мониторинга промышленных районов Мирового океана. Москва, ВНИРО, 1996 г. С. 91-111.
10. Захаров, Е.А. Лупян, Р.Р. Назиров, А.А. Мазуров, Е.В. Флитман, Н.Л. Хохлова. Организация системы оперативного доступа удаленных пользователей к спутниковым данным. Исследование Земли из космоса. 1996.
11. Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Нартов И.Ю. Географическая привязка данных прибора AVHRR для задач регионального мониторинга. // Исследование Земли из Космоса. 1993. N 5. С. 27-32.
12. Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А. Программа обработки данных прибора AVHRR спутников серии NOAA для персональных компьютеров. // Исследование Земли из Космоса. 1993. N 4. С. 62-68.
13. Долгополов Б.Я., Захаров М.Ю., Лупян Е.А. Комплекс программ сегментации и классификации многоканальных спутниковых изображений. // Исследование Земли из Космоса. 1993. N 6. С. 49-56.
14. Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В. Гибкая система модификации программного обеспечения для обработки спутниковых изображений. // Исследование Земли из Космоса. 1994. N 1. С. 48-53.

ГРНТИ 78.21.43.15

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ЛЕДОВЫЕ ПРОГНОЗЫ И  
ОРГАНИЗАЦИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
МОРСКИХ ОПЕРАЦИЙ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

**Е.У.МИРОНОВ,  
А.И.БРОВИН**  
(ГНЦ РФ ААНИИ)

*Определен состав специализированных ледовых прогнозов различной заблаговременности для планирования и оперативного управления морскими операциями, а также состав штормовых предупреждений об опасных ледовых явлениях. Выполнено обоснование создания единого центра для сбора, обработки, анализа и прогнозирования ледовых условий в юго-восточной части Баренцева моря и опасных ледовых явлений для его инженерных сооружений. Составлена схема распространения ледовой информации потенциальным пользователям.*

Международные нормы [1, 2] и нормативные документы Российской Федерации [3] оговаривают требования к системе гидрометеорологического обеспечения (ГМО) при освоении нефтегазовых шельфовых месторождений. Особую значимость для соблюдения безопасности работ приобретает ГМО на шельфе арктических морей, где в течение большей части года присутствует ледяной покров.

На этапе строительства и эксплуатации стационарных платформ, терминалов или трубопроводов наиболее важными задачами являются:

- снижение риска от воздействия опасных ледовых явлений при проведении морских операций;
- принятие оптимальных решений при планировании морских операций.

Их успешное решение возможно лишь при учете фактической и прогностической ледовой информации.

### Специализированные ледовые прогнозы

**Этап строительства.** Строительство стационарной платформы, морского терминала и трубопровода предполагается осуществлять в безледный период, продолжительность которого в районе Приразломного нефтяного месторождения составляет в среднем 4,5 мес, но меняется в широком диапазоне – размах 110 сут. [4, 5].

На этапе строительства необходимо решение следующих задач:

- определить оптимальные плановые сроки начала и окончания работ;
- определить оптимальный план проводки каравана вспомогательных судов;
- максимально снизить риск при возникновении опасных ледовых явлений.

Состав и основные характеристики ледовых прогнозов для этапа строительства в районе ПНМ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики ледовых прогнозов для этапа строительства в районе Приразломного нефтяного месторождения

Вид прогноза	Время составления	Продолжительность действия	Дискретность	Прогнозируемые характеристики
Долгосрочный прогноз сроков очищения района ПНМ ото льда и продолжительности безледного периода	5 мая, 5 июня	1-3 мес	–	Дата очищения акватории от льдов, продолжительность (сут.) безледного периода
Долгосрочный прогноз распределения льдов	5 мая, 5 июня, 5 июля	1-3 мес	10 сут.	Положение кромки льдов, распределение сплоченности льдов, продолжительность (даты) возможного ледокольного и безледокольного плавания, оптимальный вариант трассы
Долгосрочный прогноз сроков ледообразования	5 сентября, 5 октября	1-3 мес	–	Даты начала устойчивого ледообразования, достижения льдом толщины 10-15 см, окончания периода безледокольного плавания
Среднесрочный прогноз распределения ледяного покрова	15 мая-15 августа	1-7 сут.	1 сут.	Положение кромки льдов, распределение сплоченности, зон сжатий и разрежений, оптимальный вариант трассы, продолжительность перехода каравана
Краткосрочный прогноз опасных ледовых явлений	Июнь-август; октябрь-ноябрь	1-3 сут.	1-24 ч.	Смещение льдов из сопредельных районов, максимальные скорости и направление дрейфа льда, сжатия льда, интенсивность нарастания молодого льда

Долгосрочные и среднесрочные ледовые прогнозы будут использоваться в обеспечение эффективного планирования строительных работ и принятия оптимальных решений при управлении морскими операциями. Краткосрочные прогнозы опасных ледовых явлений необходимы для обеспечения безопасности проведения строительных работ.

**Этап эксплуатации.** Эксплуатация стационарной платформы и морского терминала будет круглогодичной, поэтому необходимо:

- принятие оптимальных решений при планировании транспортных операций танкерного флота (выбор оптимальных трасс, расчет затрат времени на пути плавания, необходимость ледакольного обеспечения);
- снижение риска при возникновении опасных ледовых явлений в районе размещения платформы и терминала.

Основные характеристики специализированных ледовых прогнозов представлены в табл.2. В обеспечение безопасности транспортных операций должны составляться ледовые прогнозы с заблаговременностью 30 и 7 сут., в результате которых будут получены следующие прогностические характеристики:

- распределение ледяного покрова ;
- трасса оптимального варианта плавания и затраты времени по пути плавания;
- состав и размещение по трассе ледаколов.

Для обеспечения безопасной эксплуатации платформы и швартовки танкеров у терминала необходима следующая прогностическая информация:

- скорости и направление дрейфа льда ( приливного и ветрового);
- возникновение интенсивных сжатий льда;
- смещение ледяных полей повышенной толщины и торосистости;
- продолжительный однонаправленный нажимной дрейф льда;
- экстремально ранние сроки ледаобразования и интенсивное нарастание молодого льда;
- обледенение конструкций и танкеров.

Таблица 2

Основные характеристики ледовых прогнозов для этапа эксплуатации в районе Приразломного месторождения

Вид прогноза	Время составления	Продолжительность действия	Дискретность	Прогнозируемые характеристики
Долгосрочный прогноз распределения льдов	5 число каждого месяца	1 мес	10 сут.	Положение кромки льдов, распределение зон льда разного возраста и сплоченности, положение оптимальной трассы для танкеров, затраты времени на прохождение участков трассы, состав ледаколов
Долгосрочный прогноз сроков ледаобразования	5 сентября, 5 октября	1-3 мес	-	Даты начала устойчивого ледаобразования, достижения льдом толщины 10-15 см, окончания безледакольного плавания
Среднесрочный прогноз распределения ледяного покрова	Еженедельно	1-7 сут.	1 сут.	Положение кромки льдов, распределение толщины и сплоченности льда, зон разрежений и сжатий, положение оптимальной трассы для танкеров, затраты времени на прохождение участков трассы
Краткосрочный прогноз опасных ледовых явлений	В течение года	1-3 сут.	1-24 ч	Максимальные скорости и резкие изменения направления дрейфа льда, смещение полей повышенной толщины и торосистости, сжатия льдов и др.

Таким образом, для планирования и организации строительных работ в районе ПНМ, а также для общего планирования транспортных операций необходимы долгосрочные ледовые прогнозы с заблаговременностью 1-3 мес [5, 6]. Для тактического планирования, решения оперативных вопросов и обеспечения безопасности морских

операций используются среднесрочные и краткосрочные ледовые прогнозы с заблаговременностью 1-10 сут. [7, 8]. При этом предусматривается специализация ледовых прогнозов с учетом специфики транспортных операций [9, 10].

### **Организация системы специализированного ледового обеспечения морских операций**

**Центр ледовой информации.** Мониторинг ледяного покрова и специализированное ледовое обеспечение морских операций в районе ПНМ целесообразнее выполнять из одного центра, оснащенного современными средствами связи, имеющего доступ к оперативной гидрометеорологической информации по районам Баренцева и Карского морей, а также обладающего современными технологиями сбора, обработки, анализа и прогнозирования данных.

С учетом сказанного, что такой центр должен находиться в составе Федеральной службы по гидрометеорологии, так как это автоматически обеспечит доступ к стандартной оперативной гидрометеорологической информации и не потребует лицензирования его деятельности.

В соответствии с действующими правительственными документами [3, 11], одной из основных задач Росгидромета, финансируемых из госбюджета, является ГМО функционирования и развития экономики. Однако ассигнования на специализированное ГМО должны осуществляться, как это регламентируется [3, 12], за счет бюджетов заинтересованных ведомств и компаний. Головной организацией Росгидромета по мониторингу и ГМО в Арктике является ГНЦ РФ ААНИИ [13, 14]. Поэтому целесообразно центр специализированного ГМО производственных работ в районе ПНМ организовать именно на базе ААНИИ, в Санкт-Петербурге.

Подобное самостоятельное структурное подразделение ААНИИ – Центр ледовой информации и специализированного обеспечения (далее просто Центр), должно работать на условиях договора с компанией «Росшельф».

Центр предположительно будет состоять из администрации, группы анализа и прогнозирования и научно-оперативной группы (НОГ), базирующейся на платформе и работающей вахтовым методом (2 чел. в смене). В составе НОГ необходимо иметь два сменных состава, работающих по 2-4 недели. Они должны выполнять сбор локальной ледовой информации, составляет краткосрочные ледовые и гидрометеорологические прогнозы (с заблаговременностью 1 сут.) и готовить штормовые предупреждения об опасных ледовых и гидрометеорологических явлениях (с заблаговременностью несколько часов), докладывать и интерпретировать администрации фактическую и среднесрочную прогностическую информацию, поступающую из Центра.

**Пользователи ледовой информации и схема ее распространения.** Пользователями ледовой информации являются органы планирования и оперативного управления морскими операциями, а также капитаны ледоколов, вспомогательных судов и танкеров.

Организации планирования и оперативного управления морскими операциями:

- администрация АО Росшельф (г.Москва);
- администрация по управлению морскими операциями в районе ПНМ (г. Архангельск или г.Нарьян-Мар);
- штаб морских операций западного сектора Арктики (г.Мурманск или о.Диксон).

Капитаны флота (конструкций):

- стационарной платформы;
- ледоколов обеспечения;
- судов вспомогательного флота;
- танкеров.

Для оперативного распространения ледовой информации необходимо организовать каналы связи, способные передавать информацию в цифровом и картированном видах. Электронный обмен информацией между Центром и основными пользователя-

ми будет способствовать принятию оптимальных управленческих решений и снизит риск при проведении морских операций.

Специализированное ледовое ГМО производственной деятельности и морских операций в районе ПНМ должно осуществляться на основе регламентирующего документа (Положения). В нем должны быть сформулированы цели и задачи обеспечения, а также принципы взаимодействия Центра с существующими гидрометеорологическими организациями. Положение должно соответствовать действующим нормам международных морских организаций, постановлениям Правительства РФ, руководящим документам Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и учитывать национальный опыт обеспечения мореплавания в Арктике.

### Выводы

- Определен состав специализированных ледовых прогнозов с различной заблаговременностью для этапов строительства и эксплуатации инженерных сооружений в районе Приразломного нефтяного месторождения.
- Обоснована целесообразность создания на базе ГНЦ РФ-ААНИИ в Санкт-Петербурге единого Центра ледовой информации, который будет выполнять сбор, обработка, анализ и прогнозирование ледовых условий и опасных ледовых явлений в районе Приразломного нефтяного месторождения.
- Предложена схема распространения ледовой информации из Центра потенциальным пользователям.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по морскому метеорологическому обслуживанию. - Выпуск Всемирной метеорологической организации (ВМО), № 471, Женева, 1974.
2. Наставление по морскому метеорологическому обслуживанию. - Выпуск Всемирной метеорологической организации (ВМО), № 558, Женева, 1979.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 3 мая 1994 г. «Об утверждении федеральной целевой программы- Развитие системы ГМО народного хозяйства РФ в 1994-1996 г.г. и на период до 2000 года».
4. Миронов Е.У., Спичкин В.А., Егоров А.Г. Сезонные изменения ледовых условий и их межгодовые вариации в районах освоения шельфа Баренцева и Карского морей. - Тезисы докл. 1 межд. конф. «Освоение шельфа арктических морей России», 1993, Санкт-Петербург, с.92-93.
5. Mironov Ye.U., Spichkin V.A., Bychenkov Yu.D. (1996): Provision of safety and efficiency for constructing off-shore structures on the shelf of the Barents and Kara Seas based on monitoring and forecasting of the sea ice state. - Proc. of POLARTECH'96, 24-26 September, St.Petersburg, Workshop D, p.161-170.
6. Mironov Ye.U., Pozdnyshev S.P., Speransky D.A., Tyuryacov A.B. (1995): Forecasting of ice conditions in the Pechora Sea with a different period in advance for supporting engineering activities and shipping. - Proc. of POAC'95, August 15-18, 1995, Murmansk, vol.1, p.144-150.
7. Аксенов Е.О., Гудкович З.М., Позднышев С.П., Сперанский Д.А. (1995): Применение численных расчетов и прогнозов ледовых условий для обеспечения работ на шельфе российских арктических морей. - Тезисы докл. 2 межд. конф. «Освоение шельфа арктических морей России», 1995, Санкт-Петербург, с.139-141.
8. Дмитриев Н.Е. и др. (1995): Моделирование динамики и термодинамики Карского моря с использованием совместной модели океана со льдом. - Тезисы докл. 2 межд. конф. «Освоение шельфа арктических морей России», 1995, Санкт-Петербург, с.149-150.
9. Brovin A.I., Yulin A.V. (1995): A system of specialized ice forecasts for shipping in the Arctic. - Proc. of POAC'95, August 15-18, 1995, Murmansk, vol.1, p.202-209.
10. Brovin A.I., Yulin A.V., Frolov S.V. (1996): Ice conditions and an optimal navigation variant in the region of the Prirazlomnoye field. - Proc. of POLARTECH'96, Workshop B, p.222-232.
11. Постановление Правительства Российской Федерации от 7 августа 1995 г. «Об утверждении Положения о лицензировании отдельных видов деятельности в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды».
12. Соглашение об основных принципах организации взаимодействия между предприятиями морского транспорта, рыбного хозяйства и организациями федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по вопросам ГМО мореплавания, рыболовства и другой производственной деятельности морского транспорта. 24.02.94 г.
13. Баскаков Г.А. и др. (1995): Арктический и антарктический научно-исследовательский институт - центр российской полярной науки. - Проблемы Арктики и Антарктики, 1995, вып.70, с.6-32.
14. Frolov I.Ye. (1995): Promising investigations of the SRS AARI for scientific support of shelf exploration and navigation in the Russia Arctic. - Proc. of POAC'95, August 15-18, 1995, Murmansk, vol.1, p.3-12.

**КОНЦЕПЦИЯ МОНИТОРИНГА ЛЕДОВОГО ПОКРОВА  
В РАЙОНЕ ПРИРАЗЛОМНОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**А.И.БРОВИН,  
Е.У.МИРОНОВ**  
(ГНЦ РФ ААНИИ)

*Сформулирована концепция мониторинга ледового покрова в районе Приразломного нефтяного месторождения, позволяющая с учетом ледовых условий обеспечивать безопасную эксплуатацию промысла. Определен состав средств наблюдений за состоянием ледового покрова, проводимых на стационарной платформе, морском терминале и обслуживающих промысел танкерах.*

Ледовый покров, являясь активным элементом арктической природной среды, способен создавать опасные и чрезвычайные ситуации, которые могут существенно осложнять морские операции, являться причиной аварий и экологического загрязнения. Разработка концепции гидрометеорологического мониторинга, как части экологического мониторинга, при освоении Приразломного нефтяного месторождения поэтому имеет самое серьезное значение.

**Концепция мониторинга ледового покрова**

Мониторинг состояния ледового покрова в районе Приразломного нефтяного месторождения (ПНМ) является элементом специализированного ледового обеспечения морских операций в Арктике и заключается в регулярном сборе, обработке, анализе и распространении текущей информации о ледовых условиях в районе месторождения, вблизи морского терминала и на пути следования судов [1, 2, 3]. Получаемая информация должна позволять решать следующие задачи [4, 5]:

- обеспечивать безопасную эксплуатацию стационарной добывающей платформы, морского терминала и танкерного флота в ледовых условиях;
- обеспечивать возможность принятия оперативных решений по оптимальной организации, планированию и управлению морскими операциями;
- давать возможность оценивать изменение и развитие ледовой ситуации под воздействием текущих и ожидаемых гидрометеорологических условий;
- обеспечивать экологическую безопасность района ПНМ при возникновении опасных ледовых явлений.

Концепция мониторинга включает следующие основные положения: объект мониторинга, его пространственные и временные масштабы, комплексность мониторинга, его систему и средства.

I. Объектом мониторинга состояния ледового покрова является:

- пространственное распределение дрейфующих льдов (кромка, границы зон льда различной сплоченности);
- пространственное распределение возраста (толщины) льда;
- пространственное распределение различных элементов состояния ледового покрова (торосистость, раздробленность, разрушенность, заснеженность, сжатие и т.д.);
- появление и перемещение айсбергов вблизи судоходной трассы.

II. Пространственные масштабы мониторинга должны сочетать возможность оценки состояния ледового покрова в трех основных диапазонах:

- \* в юго-восточной части Баренцева моря (общее пространственное распределение ледового покрова), а также в районе ПНМ и судоходной трассы (локальная ледовая обстановка);

\* в непосредственной близости, в радиусе до 10 миль от стационарной платформы, морского терминала;

\* в зонах непосредственного контакта объектов ПНМ со льдом, в радиусе до 100 м (особенности распределения ледового покрова и характер его взаимодействия с объектами).

III. Временные масштабы мониторинга должны обеспечивать возможность оценивать текущие ежедневные условия (а по ряду характеристик ледового покрова, представляющих определенную опасность для выполнения добычных работ и судоходства, – и в меньшем масштабе времени), а также осредненное состояние ледовых условий, характеризующее декадные, месячные, сезонные и годовые условия.

IV. Комплексность – основной принцип мониторинга (особенно большую стоимость активных средств наблюдения и различную их информативность). Необходимо помнить, что нет универсального и дешевого средства, которое обеспечило бы полную оперативную информацию о состоянии ледового покрова в любой момент времени. Под комплексностью в данном случае следует понимать:

- использование всех возможных способов наблюдения за состоянием ледового покрова – с помощью ИСЗ, путем непрерывных наблюдений на добывающей стационарной платформе и морском терминале, попутных судовых наблюдений, эпизодических ледовых авиаразведок и стандартных наблюдений на полярных станциях и береговых пунктах (рисунок);



- использование моделирования в расчетном и прогностическом режимах для объективного анализа собираемых данных, восполнения недостающих данных и их интерполяции, слежения за эволюцией общего состояния ледового покрова и его характеристик, а также для получения прогностических оценок.

- сведение данных наблюдений в легко доступный, совместимый банк данных, задачами которого являются хранение и предоставление информации о распределе-

нии характеристик ледового покрова в различных пространственных масштабах на текущий или любой прошедший момент времени;

V. Система мониторинга. Существенная пространственно-временная изменчивость характеристик состояния ледового покрова и большой объем задач, стоящих перед ледовым мониторингом в различных пространственных и временных масштабах вызывают необходимость выделить в рассматриваемой системе мониторинга два основных блока: оперативного мониторинга и мониторинга в экстремальных ситуациях.

Основная цель оперативного мониторинга – обеспечение сбора и обработки оперативной ледовой информации в обычной ситуации. Кроме этого, необходимо получать и анализировать прогностическую информацию, что позволяет судить об ожидаемых изменениях ледовой обстановки и о возникновении опасных ледовых явлений. К последним можно отнести:

- интенсивный дрейф ледового покрова;
- появление в районе ПНМ однолетних толстых льдов, льдов повышенной торосистости;
- интенсивные сжатия льдов;
- навалы льда на сооружения;
- обледенение конструкций;
- появление в районе судоходной трассы айсбергов и их обломков.

Вся получаемая в ходе оперативного ледового мониторинга информация требует обработки и занесения в банк данных. Справочная информация для принятия управленческих решений должна выдаваться по запросу.

В экстремальных ситуациях, связанных с возникновением в районе ПНМ опасных ледовых явлений или авариями, режим мониторинга и специализированного ледового обеспечения должен носить особый, чрезвычайный характер. Под этим подразумевается получение информации не только в регламентированные, но и в дополнительные сроки. Для оценки масштаба чрезвычайной ситуации при необходимости должны быть выполнены дополнительные наблюдения и внеплановая авиационная съемка района.

VI. К средствам мониторинга ледового покрова относятся серийные и специальные средства наблюдения за текущим состоянием ледового покрова, средства сбора, обработки, анализа и хранения информации о ледовой обстановке.

Средства наблюдения должны размещаться на стационарной платформе, морском терминале и танкерах. Кроме того, должна поступать оперативная информация с ИСЗ, береговых полярных станций и самолетов ледовой авиаразведки. Система сбора, обработки, анализа и хранения информации о ледовой обстановке должна предусматривать организацию банка данных, формируемого из источников, наличие алгоритмов и методов обработки и анализа информации.

### **Наблюдения на добывающей платформе, морском терминале и танкерах**

Приборы установленные на стационарной добывающей платформе должны обеспечивать возможность выполнения полного комплекса наблюдений за состоянием ледового покрова во всех трех вышеупомянутых пространственных диапазонах. С этой целью необходимо иметь следующую аппаратуру:

- датчики давления льда на бортах платформы;
- телекамеры вдоль бортов платформы;
- ледовый профильный гидролокатор канадского производства IPS-4;
- телекамеры кругового обзора (дистанция обзора до 1-2 миль);
- радиолокатор кругового обзора (РЛС КО, дистанция обзора 1-10 миль);
- портативную приемную спутниковую систему;
- автоматическую метеостанцию;

- ледоисследовательский комплект для проведения контактных замеров характеристик ледового покрова.

На морском терминале целесообразно проводить постоянные наблюдения за состоянием ледового покрова в зонах контакта со льдом в радиусе до 100 м и непосредственной близости от терминала до 2 миль. Для этого здесь необходимо разместить следующие автономные приборы наблюдения с передачей данных и изображения на стационарную платформу:

- датчики давления льда на бортах терминала;
- телекамеры вдоль бортов терминала;
- телекамеры кругового обзора (дистанция обзора до 1-2 миль);
- автоматическую метеостанцию.

Танкеры должны быть оснащены средствами наблюдения для штатной работы штурманского состава, а также для обеспечения работы специальной ледоисследовательской группы, включая:

- штатные судовые видеокамеры (нос/корма) с возможностью записи сигнала в цифровом виде и на видеомagneтофон;
- автоматическую метеостанцию (с расчетом истинных направлений и скорости приземного ветра).

Кроме того должно быть предусмотрено специальное программное обеспечение записи цифрового сигнала картинки телекамер с дискретностью 30 с, одновременная фиксация скорости движения судна и мощности энергетической установки (с накоплением данных в бортовом компьютере).

### Выводы

1. Предложенная концепция мониторинга ледового покрова в районе Приразломного нефтяного месторождения, позволит:
  - обеспечить безопасную эксплуатацию стационарной платформы, морского терминала и судов танкерного флота в ледовых условиях;
  - обеспечить возможность принятия оперативных решений по управлению морскими операциями;
  - даст возможность производить оценку изменения и развития ледовой ситуации под воздействием текущих и ожидаемых гидрометеорологических условий;
  - обеспечит экологическую безопасность при возникновении опасных ледовых явлений и их воздействии на платформу, терминал и суда танкерного флота.
2. Сформированный состав средств наблюдения за состоянием ледового покрова, рекомендуемых к установке на стационарной платформе, морском терминале и судах танкерного флота в полном объеме обеспечит реализацию предложенной концепции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бровин А.И., Дементьев А.А., Романов В.Ф., Дворкин Е.Н., Юлин А.В. Концепция гидрометеорологического мониторинга, как часть экологического мониторинга. Рекомендации по организации гидрометеорологического мониторинга в районе Приразломного нефтяного месторождения. - Отчет для АО "НОРДЭКО" Подготовить отдельные разделы экологического обоснования Приразломного нефтяного месторождения Печорского моря. 1994. Т. 2. С.Петербург, 171 с.

Миронов Е.У., Бровин А.И., Смирнов В.Г., Девятаев О.С. Система обеспечения ледовой информацией морских операций в районе Приразломного нефтяного месторождения в Печорском море. 1996. Отчет для Гос.НИНГИ МО РФ, С.Петербург, 39 с.

Mironov Ye.U., Spichkin V.A., Bychenkov Yu.D. Provision of safety and efficiency for constructing off-shore structures on the shelf of Barents and Kara Seas based on monitoring and forecasting of sea ice state. - 1996. Proceedings of POLARTECH'96, The 6<sup>th</sup> International Conference on Development and Commercial Utilization of Technologies in Polar Regions, 24-26 September, St.Petersburg, Workshop D, p.161-170.

Brovin A., Yulin A., Frolov S. Ice Conditions and an Optimal Navigation Variant in the Region of the Pirazlomnoye Field. - 1996. Proceedings of POLARTECH'96, The 6<sup>th</sup> International Conference on Development and Commercial Utilization of Technologies in Polar Regions, 24-26 September, St.Petersburg, Russia, Workshop B, p.222-232.

A.Brovin and L.Tsoy. INSROP Working Paper No. 34 - 1996, I.5.5 Planning and Risk Assessment, vol. 2., 108 p.

**ОЦЕНКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВЫСОТ ВЕТРОВЫХ ВОЛН  
В ПЕЧОРСКОМ МОРЕ**

**И.В.ЛАВРЕНОВ,  
В.Н.БОКОВ,  
В.И. ДЫМОВ,  
Т.А.ПАСЕЧНИК,  
Н.П.ЯКОВЛЕВА**  
(ГНЦ РФ ААНИИ),  
**И.Н.ДАВИДАН**  
(СПО ГОИН)

*Дана оценка экстремальных высот волн, возможных раз в 20, 50 и 100 лет на нефтегазоносном месторождении в Печорском море. Использован комплексный подход, основанный как на анализе данных судовых наблюдений, так и выполнении расчетов по численной модели с использованием синоптической информации за продолжительный исторический период. В работе впервые выполнены непрерывные расчеты ветрового волнения продолжительностью 35 лет. Для этого были использованы поля атмосферного давления за 24158 основных синоптических сроков, что позволило получить наиболее репрезентативные оценки элементов волнения. В расчетах использовалась усовершенствованная версия спектрально-параметрической модели, которая прошла детальные испытания и верификацию по данным натурных наблюдений. Наиболее экстремальные ситуации рассчитывались также по последней версии западной модели WAM. Сравнение результатов расчетов по разным моделям показало их хорошее соответствие и дало возможность убедиться в достоверности наших расчетов.*

Одним из важнейших факторов, определяющих прочность и устойчивость морских гидротехнических сооружений, является морское волнение. Однако режим ветрового волнения в шельфовых районах изучен, как правило, далеко недостаточно, что связано с фактическим отсутствием продолжительных надежных наблюдений, которые могли бы использоваться для расчета его экстремальных значений. По этой причине для восстановления отсутствующих данных представляется целесообразным использовать подход, основанный на результатах численного моделирования. Рассмотрим пример такого расчета для Печорского моря.

Отметим, что Печорское море является юго-восточной частью Баренцева моря, последнее – одно из самых штормовых в России. На его акваторию могут проникать ветровое волнение и зыбь не только из Норвежского и Гренландского морей, но также из северных районов Атлантики океана. При оценке режима волнения необходимо принимать во внимание и наличие ледового покрова, который в различные сезоны может существенным образом изменять размеры открытой части водной поверхности.

Локальное развитие волнения в Печорском море существенно ограничено глубиной и расстоянием от ближайших берегов. Интенсивность волнения в Печорском море меньше, чем на других участках Баренцева моря, так как оно открыто для волн из центральной и южной части последнего только с западного и северо-западного направлений. По всем другим румбам волнение определяется скоростью и продолжительностью местных ветров, глубиной и расстоянием от подветренной стороны берега.

**1. Описание модели ветрового волнения**

**Постановка задачи.** Общее уравнение баланса энергии ветрового волнения записывается в виде уравнения эволюции пространственного спектра  $S(\vec{k}, \vec{r}, t)$  [3, 5, 6, 7, 8]

$$\frac{dS(\vec{k}, \vec{r}, t)}{dt} = \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial \vec{k}} \frac{d\vec{k}}{dt} + \frac{\partial S}{\partial \vec{r}} \frac{d\vec{r}}{dt} = G, \quad (1)$$

где  $\vec{k} = \{k_x, k_y\}$  – волновой вектор;

$\omega = \sigma - \vec{k}\vec{V}$  – частота;

$\dot{V}$  – скорость течения  $\sigma = \sqrt{gk \operatorname{th}(kH)}$ ;

$H$  – глубина;  $\vec{r} = \{x, y\}$  – горизонтальный вектор;

$t$  – время;

$G$  – функция источника, описывающая физические механизмы, формирующие спектр ветрового волнения.

Функцию  $G$  представим в виде суммы трех функций:  $G = G_{in} + G_{nl} + G_{ds}$ , где  $G_{in}$  определяется поступлением энергии от ветра к волнам,  $G_{ds}$  – диссипацией волновой энергии,  $G_{nl}$  – слабонелинейным взаимодействием в спектре ветрового волнения.

Положим, что диссипация волновой энергии определяется двумя механизмами: донным трением и обрушением гребней волн на мелководье в прибойной зоне.

В качестве функции диссипации волновой энергии, связанной с наличием донного трения, согласно [17], примем

$$G_{ds}^{(1)} = -\gamma \frac{kS}{g \operatorname{sh}(2kH)}, \quad (2)$$

где  $\gamma = 0.076 m^2 c^{-3}$ ;

$H$  – глубина.

Характеристиками уравнения (1) являются следующие соотношения, описывающие распространение волновых пакетов при наличии неровного дна и горизонтально-неоднородного течения

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{\partial \omega}{\partial \vec{k}}, \quad \frac{d\vec{k}}{dt} = -\frac{\partial \omega}{\partial \vec{r}}, \quad (3)$$

где  $\xi = \sigma - \vec{k}\vec{V}$  – частота волн в неподвижной системе координат;

$\vec{V}$  – скорость течения;

$\sigma = \sqrt{gk \operatorname{th}(kH)}$  – собственная частота волн.

Задача определения спектра волнения сводится к решению системы уравнений (1) при соответствующих заданных граничных и начальных условиях. Исходной информацией для решения задачи является поле ветра  $U(x, y, t)$  и поле глубин  $H(x, y)$ .

С целью численной реализации модели перейдем от спектра волновых векторов  $S(\vec{k}, \vec{r}, t)$  к спектру волновых чисел и углов  $S(k, \beta, x, y, t)$ , где  $k = |\vec{k}|$ ,  $\beta = \arctg(k_y/k_x)$ .

Расписывая полную производную по времени в левой части уравнения (1), приходим к уравнению

$$\frac{\partial S}{\partial t} + C_{gx} \frac{\partial S}{\partial x} + C_{gy} \frac{\partial S}{\partial y} = G - \frac{\partial S}{\partial k} \frac{dk}{dt} - \frac{\partial S}{\partial \beta} \frac{d\beta}{dt}, \quad (4)$$

где  $C_{gx} = \frac{dx}{dt}$  и  $C_{gy} = \frac{dy}{dt}$  – проекции групповой скорости волн  $\dot{C}_g$ .

При отсутствии течения имеем

$$C_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{1}{2} \frac{\omega}{k} \left( 1 + \frac{2kH}{sh(2kH)} \right), \quad \omega = \sqrt{gk th(kH)}.$$

Уравнения, описывающие изменение волнового числа и угла вдоль траектории распространения волновых пакетов, можно записать в виде

$$\frac{dk}{dt} = - \frac{\partial \omega}{\partial H} \frac{\partial H}{\partial x} \cos \beta - \frac{\partial \omega}{\partial H} \frac{\partial H}{\partial y} \sin \beta; \quad (5)$$

$$\frac{d\beta}{dt} = \frac{1}{k} \frac{\partial \omega}{\partial H} \frac{\partial H}{\partial x} \sin \beta - \frac{1}{k} \frac{\partial \omega}{\partial H} \frac{\partial H}{\partial y} \cos \beta. \quad (6)$$

**Система уравнений для параметров спектра ветровых волн.** Параметрический метод расчета волн заключается в переходе от уравнения спектральной плотности энергии (1) к уравнениям относительно параметров спектра [3, 5, 8, 9]. Параметрические методы уже стали традиционными при расчете волн на глубокой воде. Они позволяют существенно сократить трудоемкость расчетов и компенсировать недостаточное знание физических механизмов, формирующих спектр ветрового волнения за счет использования эмпирических зависимостей. Параметрические модели основываются на гипотезе существования устойчивой формы спектра ветрового волнения, контролируемой слабонелинейными взаимодействиями волн.

Для случая развития волн в бассейне конечной глубины, то здесь можно использовать ту же идеологию. Обоснованием корректности подобного подхода служат экспериментальные данные [10], по которым была установлена инвариантность пространственных спектров ветрового волнения (в  $k$  – пространстве) в мелководном бассейне и связь их параметров с характеристиками условий волнообразования. Результаты анализа большого объема экспериментального материала хорошо подтвердили основные положения известного руководства [11]. Кроме того, можно полагать, что донное трение не оказывает существенного влияния на форму спектра ветрового волнения. Донное трение, безусловно, приводит к диссипации волновой энергии, но при наличии действия ветра его воздействие в комбинации с другими механизмами возвращает спектр к инвариантному виду. Донное трение может доминировать, только если ветер становится ниже значения, которое определяло основную энергию, а также при распространении зыби.

Вывод системы уравнений для параметров спектра основывается на использовании спектрального уравнения (1). Его процедура в общем не отличается от той, которая была предложена в работах [5, 9] для глубокой воды. Однако для мелководного бассейна следует использовать не частотно-угловой спектр, а спектр волновых чисел  $k$  и направлений  $\beta$ . Он является функцией от дисперсии волнового процесса  $m_o$ , волнового числа максимума спектра  $k_{max}$ , (который можно выразить через дисперсию волнового процесса  $k_{max} = k_{max}(m_o)$  [6]) и генерального направления распро-

странения волн  $\bar{\beta}$ . Эти параметры явно зависят от пространственных координат  $\{x, y\}$  и времени  $t$ . Таким образом зависимость спектра от аргументов можно представить в виде  $S = S[m_o(x, y, t), \bar{\beta}(x, y, t), k, \beta]$ . Функцию спектра можно разделить и записать его в виде произведения спектра волновых чисел на функцию углового распределения  $S = S(m_o, k) Q(\beta, \bar{\beta}, k, m_o)$ .

В результате воздействия на уравнение баланса волновой энергии (1) специально выбранных интегральных операторов [9] можно перейти к системе нелинейных дифференциальных уравнений относительно параметров спектра – нулевого момента  $m_o$  и генерального направления распространения волн  $\bar{\beta}$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial m_o}{\partial t} + C_m \cos \bar{\beta} \frac{\partial m_o}{\partial x} + C_m \sin \bar{\beta} \frac{\partial m_o}{\partial y} - D_m \sin \bar{\beta} \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial x} + D_m \cos \bar{\beta} \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial y} = \\ & = G_m^u \cos(\bar{\beta} - \beta_U) + G_m^{ref} + G_m^{ds} ; \\ & \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial t} + D_\beta \cos \bar{\beta} \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial x} + D_\beta \sin \bar{\beta} \frac{\partial \bar{\beta}}{\partial y} - C_\beta \sin \bar{\beta} \frac{\partial m_o}{\partial x} + C_\beta \cos \bar{\beta} \frac{\partial m_o}{\partial y} = \\ & = G_\beta^u \sin(\bar{\beta} - \beta_U) + G_\beta^{ref} \end{aligned} \quad , (7)$$

где  $\beta_U$  – направление ветра;

$C_m, D_m, C_\beta, D_\beta$  – функциональные коэффициенты, определяемые формой двумерного спектра;

$G_m^u$  – обобщенная функция генерации энергии волн ветром;

$G_m^{ref}$  – функция влияния рефракции на волновую энергию;

$G_m^{ds}$  – диссипация волновой энергии;

$G_\beta^u$  – функция изменения генерального направления распространения волн в результате изменения направления ветра;

$G_\beta^{ref}$  – функция влияния рефракции на изменение направления распространения волн.

Вышеописанные коэффициенты и функции являются интегральными выражениями от двумерной аппроксимации спектров и соответствующих компонент функции источника, представленных в уравнении (4). Явные значения коэффициентов и функций приведены в работе [12]. В результате выполнения корректировки модели удалось добиться соответствия результатов расчетов с принятыми рекомендациями [11,13] и результатами известных работ [5, 7, 10].

Система (7) является обобщением более ранней версии, полученной для условий глубокой воды [5, 9]. Новизна нового решения заключается, во-первых, в обобщении модели на случай конечной глубины и учета рефракции. При этом осуществлен переход от частотно-углового спектра к спектру волновых чисел и направлений, в котором использована полученная по данным эксперимента [6] эмпирическая зависимость между нулевым моментом и волновым числом спектрального максимума

$$\tilde{m}_0 = 2.0 \cdot 10^{-3} \tilde{k}_{max}^{-1.47} , \quad (8)$$

где  $\tilde{m}_0 = \frac{g^2 m_o}{u_{10}^4} ;$

$$\tilde{k}_{max} = \frac{k_{max} u_{10}^2}{g} ;$$

$u_{10}$  – нормированная на 10-метровом горизонте скорость ветра.

Зависимость (8) выполняется как для волн на глубокой воде, так на мелководье, вплоть до относительных глубин

$$H_\omega = H \frac{\omega_{max}^2}{g} = 0.16 .$$

Отметим, что условие применимости соотношения (8) удовлетворяется для расчета волн в заданных условиях.

Во-вторых, уточнение модели связано с переходом от нормировки на скорость ветра на десятиметровом горизонте к нормировке на динамическую скорость. Это

придает эмпирическим зависимостям более универсальный характер и позволяет использовать их для расчета волн при больших скоростях ветра, тем самым более качественно предсказывая особо опасное волнение [6, 14].

Согласно [6], принята следующая связь между стадией развития волнения и шероховатостью поверхности моря

$$Z^* = 0,4 \omega^* (k_{max}^*) , \quad (9)$$

где звездочка означает нормировку на динамическую скорость.

Соотношение (9) отражает факт уменьшения шероховатости поверхности моря, происходящее по мере развития волнения. Подстановка выражения (9) в формулу для логарифмического профиля позволяет определить связь между коэффициентом со-

$$\text{противления } C_d = \left( \frac{u^*}{u_{10}} \right), \tilde{\omega}_{max} \text{ и } u_{10}$$

$$\ln C_d + 0,267 / \sqrt{C_d} = 3,67 - 0,667 \ln \tilde{\omega}_m - 1,333 \ln U . \quad (10)$$

Уточненная спектрально-параметрическая модель ветрового волнения кроме определения параметров спектра ветровых волн предусматривает возможность расчета рефракции и распространения зыби. Трансформация зыби рассчитывается в спектральном виде в результате численного решения исходного уравнения (1), в котором учитывается рефракция волн и влияние донного трения, а энергоснабжением волн ветром пренебрегают. При этом уравнения для лучей (3) или (5)–(6) решаются методом характеристик с переходом к сферическим переменным. Для численного решения спектрального уравнения баланса волновой энергии используется полулагранжев метод [12].

#### Расчетная область, численные сетки и используемые модели

Выполним численные расчеты элементов ветрового волнения в юго-восточном районе Печорского моря, в точке с глубиной 19 м, измеренной относительно наименьшего теоретического уровня (НТУ). Как уже указывалось, режим морского волнения на акватории моря формируется локальным действием ветра, а также в результате проникновения ветрового волнения и зыби из акватории Баренцева моря. Поскольку условия волнообразования и масштабы изменения моделируемых волновых полей в том и другом случае существенно различаются, при расчете волн для них целесообразно использовать различные подходы.

Для расчета волн на акватории Норвежского, Гренландского и Баренцева морей используем спектрально-параметрическую модель для условий глубокой воды [5, 9], в которой используется нормировка на динамическую скорость. Поскольку нас будут интересовать экстремальные значения высот волн, то это позволит получать более достоверные оценки элементов волнения в штормовых ситуациях.

Расчетную область примем в виде прямоугольника на сферической поверхности, западная граница которого совпадает с 20° з.д., восточная – 61° в.д., южная – 60° с.ш., северная – 80° с.ш. (рис.1). Шаг численной сетки – 1,5° по долготе и 0,5° по широте, что для широты 70°, на которой располагается интересующая нас расчетная точка<sup>5</sup>, дает примерно одинаковое расстояние между двумя соседними узлами, равное 55 км. Из расчетной области, естественно, исключаются районы, занятые сушей и покрытые ледовым покровом.

Для расчета волн на акватории Печорского моря (рис.2) использована спектрально-параметрическая модель мелкого моря. Численная сетка – с шагом 0,75° по долготе и 0,25° по широте.

Решение задачи на границе двух моделей ‘сшивалось’ вдоль 52-го меридиана в.д.

<sup>5</sup> Размещение МЛСП.

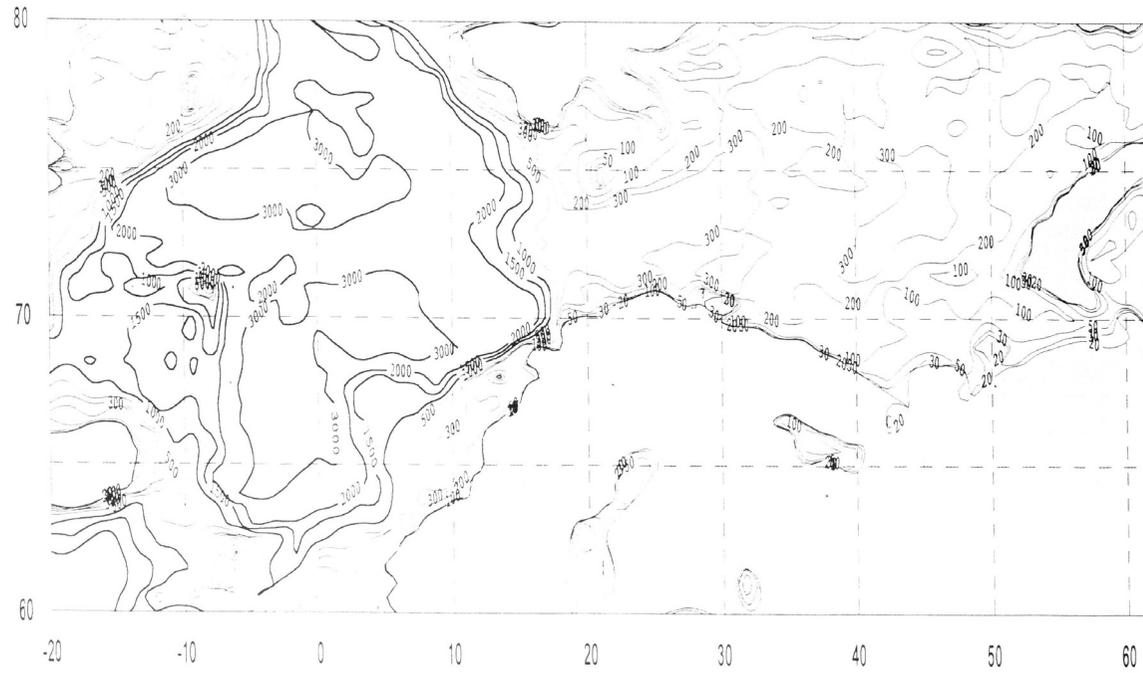


Рис.1. Общая карта глубин акватории расчета волнения (интерполяционная).

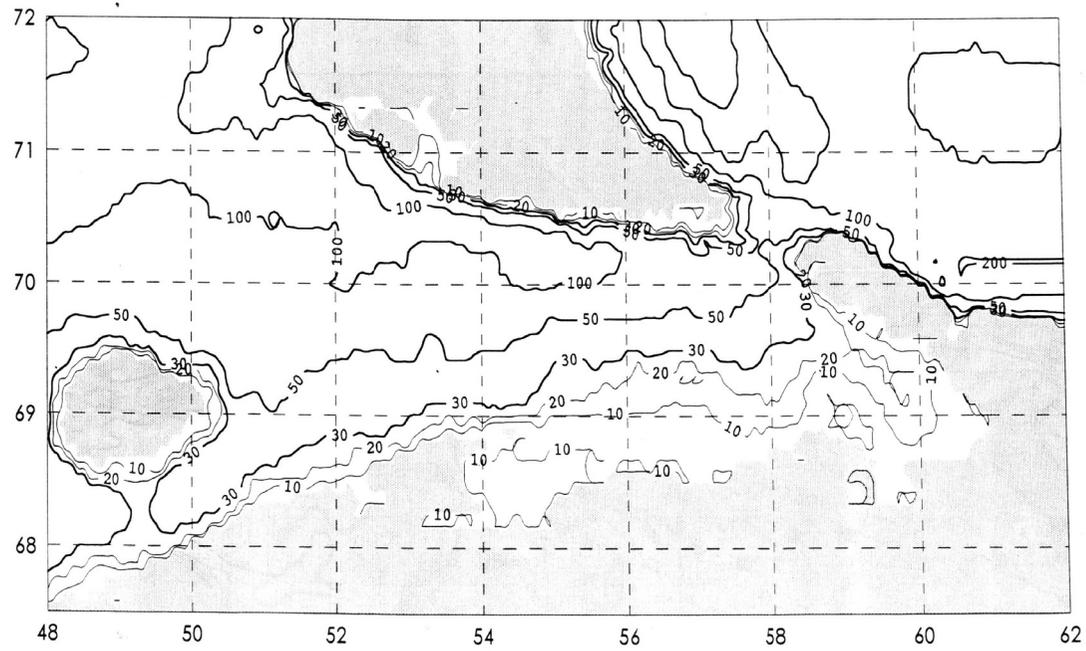


Рис.2. Карта глубин Печорского моря (интерполяционная).

### Исходная информация для выполнения расчетов

Информационной базой для выполнения расчетов элементов ветрового волнения послужили данные приземного атмосферного давления в основные синоптические сроки за период с 1960 г. по 1994 г. Всего в расчетах были использованы поля атмосферного давления за 24158 синоптических сроков. Данные давления снимались для акватории Норвежского, Гренландского и Баренцева морей за безледный период года (июнь–ноябрь).

При оценке режима волнения на акватории Баренцева моря и в большей степени Печорского моря необходимо принимать во внимание наличие ледового покрова, который в различные сезоны может существенным образом изменять размеры открытой поверхности моря и, соответственно, расчетной области и число узлов. Поэтому применительно к этим акваториям в расчетах учитывалось изменяющееся положение кромки льда. При этом положение кромки ледового покрова для каждого месяца безледного периода принималось в соответствии со среднемесячными значениями по многолетним данным [15]. Следует подчеркнуть, что в первой половине декабря в 25 % случаев существует вероятность отсутствия ледового покрова в северо-западной части Печорского моря. Поэтому при расчете волн в период с ноября по декабрь кромка льда принималась в соответствии с фактическими данными.

Одним из определяющих факторов, влияющих на формирование поля ветрового волнения в Печорском море, является батиметрия. Для выполнения численных расчетов с навигационной карты были сняты фактические значения глубин (в соответствии с данным НТУ), на основе которых построена регулярная расчетная сетка глубин. При этом было выполнено полное соответствие восстановленной глубины с фактическим ее значением в расчетной точке. Полная расчетная область с изобатами, восстановленная в результате интерполяции по численным значениям, приведена на рис.1. Более детально для Печорского моря расчетная область показана на рис.2.

Дополнительным фактором, определяющим размеры волн на акватории, является величина уровня, которая в мелководном районе может существенно изменять эффективную глубину водоема и тем самым влиять на волнение. Колебания уровня относительно НТУ, который определяет представленную на карте глубину, могут существенно изменяться за счет двух компонент: астрономических приливов и штормовых нагонов. Наиболее экстремальная волновая ситуация соответствует наибольшему уровню моря. В соответствии с оценками наибольшего изменения уровня его увеличение за счет прилива и нагона относительно НТУ было принято равным 2,6 м для западных и северо-западных направлений ветра. Для остальных случаев положение уровня принималось равным + 0.45 м – среднему многолетнему значению.

Окончание следует

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные. –Л.:Транспорт, 1974.
2. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Баренцево море.– Л.: Гидрометеиздат, 1985, Т.6, –263 с.
3. Давидан И.Н., Лопатухин Л.И., Рожков В.А. Ветровое волнение в Мировом океане. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.
4. Проект "Моря СССР" Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Баренцево море. Гидрометеорологические условия.– Л.: Гидрометеиздат, 1990, Т.1, –Вып. 1.
5. Давидан И.Н., Лавренов И.В., Пасечник Т.А., и др. Математическая модель и метод оперативных расчетов ветрового волнения на морях СССР// Метеорология и гидрология, 1988, N 11, –С.81–90
6. Проблемы исследования и математического моделирования ветрового волнения./Под ред. Давидана И.Н.,– С–Петербург.: Гидрометеиздат, 1995.– 465с.
7. Komen G.J., Cavaleri L. Donelan M., Hasselmann K.,Hasselmann S., Janssen P.A.E.M. Dynamics and Modelling of ocean waves Cambrigde, University press., 1994, –532p.
8. Ocean wave modeling (SWAMP group) . Plenum press, New York, 1985
9. Теоретические основы и методы расчета ветрового волнения./Под ред. Давидана И.Н. – Л. :, Гидрометеиздат, 1988.– 264 с.

10. Bouws E., Gunther H., Rosenthal W., and Vincent C.L. Similarity of the wind wave spectrum in finite depth water. Part 2: Statistical relation between shape and growth stage parameters. – Deutsch. Hydrog. Zeitschrift., 1987, –Vol.40, No 1.
11. Shore Protection Manual. – U.S. Army Engineering Research Centre, Washington, 1977, 1984, –Vol.1,2.
12. Лавренов И.В. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно–неоднородном океане, С–Петербург, 1997г.,–328с.
13. Строительные нормы и правила (СНиП). Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения. –М.: ,Стройиздат, 1983, –264с.
14. Лавренов И.В. и др. Выполнить исследования с целью создания усовершенствованной численной модели морского волнения применительно к условиям морей Северного Ледовитого океана. Отчет ААНИИ. С–Петербург. 1996, –32 с.
15. Зубакин Г.К. Крупномасштабная изменчивость состояния ледового покрова Северо–Европейского бассейна. – Л.: Гидрометеиздат, 1987,–160с.

ГРНТИ 78.21.43.15.15

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРОТКОВОЛНОВЫХ РЛС В ИНТЕРЕСАХ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТ  
ПО ДОБЫЧЕ НЕФТИ НА ШЕЛЬФЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

**В.Д. РЕГИНСКИЙ,  
М.А. ЛАТЫШЕВ**  
(в/ч 10729)  
**В.М. КУТУЗОВ,  
А.В. БЕЗУГЛОВ**  
(СПб ГЭГУ)

*Рассмотрена взаимосвязь гидрометеорологических параметров морской поверхности и радиолокационных отражений от нее радиоволн КВ-диапазона. Охарактеризованы принципы использования метео КВ РЛС для дистанционного контроля параметров волнения моря. Показано состояние мировых разработок в этой области. Разработаны предложения по использованию метео КВ РЛС в интересах ГМО работ по добыче нефти на шельфе Баренцева моря, произведена оценка их технико-экономической эффективности.*

Интенсивное освоение шельфа Баренцева моря требует создания систем дистанционного мониторинга его акватории. В последнее десятилетие в мировой практике наряду с системами аэрокосмического базирования широкое применение для решения этой задачи находят загоризонтные (ЗГ) радиолокационные средства коротковолнового (КВ) диапазона земной волны, обладающие уникальным свойством устойчивого загоризонтного обзора обширных акваторий и высокой информативностью.

Работа этих радиолокаторов, в отличие от СВЧ РЛС, основана на использовании способности КВ радиоволн распространяться вдоль электропроводной морской поверхности на расстояние 350 - 400 км за счет дифракции (рис. 1).

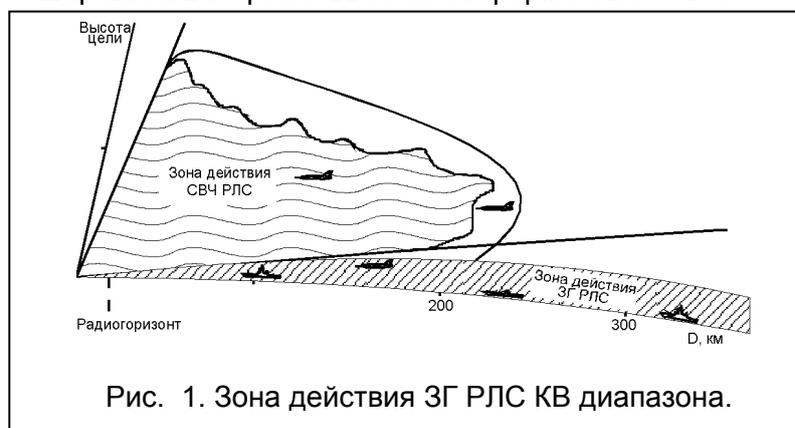


Рис. 1. Зона действия ЗГ РЛС КВ диапазона.

Морская поверхность не является идеально ровной. Ветровое волнение, а также зыбь имеют пространственный спектр длин гравитационных волн, максимум которого лежит в дециметровом диапазоне. Большая часть морских волн имеет длину в несколько десятков метров.

С точки зрения работы ЗГ РЛС, морское волнение рассматривается как совокупность движущихся дифракционных решеток с размерами элементов, близкими к длине волны радиоизлучения. Резонансный характер взаимодействия радиоволн КВ-диапазона и морских волн, обусловленный их соизмеримостью, приводит к специфическому виду доплеровского спектра отраженного поверхностью моря сигнала, содержащего информацию о состоянии моря (рис. 2).

Теория взаимодействия радио и морских волн описывает возникновение наиболее интенсивных пиков первого порядка в доплеровском спектре отраженного морем сигнала (так называемые бреговские линии). Соотношение амплитуд этих линий для "приближающейся" и "удаляющейся" систем волн (т.е. около  $-f_b$  и  $+f_b$ , см. рис.2) несет информацию о генеральном направлении распространения морских волн и ветра у поверхности моря относительно угла визирования (параметра А на рис. 2).

Ширина бреговских линий на уровне 10 дБ несет информацию о скорости ветра, действующего на морскую поверхность (параметр G на рис.2). Кроме того, так как положение бреговских линий по частоте детерминировано, любое их одновременное смещение вправо или влево позволяет делать вывод о наличии поверхностных течений, их направлении и скорости (параметр В на рис.2).

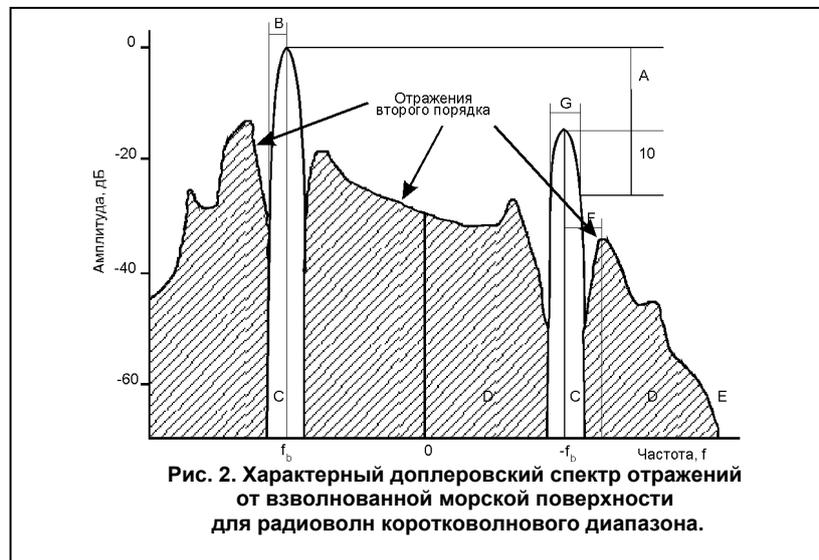


Рис. 2. Характерный доплеровский спектр отражений от взволнованной морской поверхности для радиоволн коротковолнового диапазона.

Теория резонансного взаимодействия второго порядка описывает континуальный доплеровский спектр рассеянного морем сигнала, сосредоточенный вокруг бреговских линий. Этот спектр содержит основную информацию о морском волнении. Огибающая спектра справа и слева от бреговских линий (параметр Е на рис.2) описывает с учетом масштабирующей поправки скалярный спектр морского волнения, из которого выделяются параметры морской волны доминирующей длины и оценка ее средней высоты (параметр F на рис.2). При наличии зыби в скалярном спектре морского волнения возможно не только определение ее длины волны, но и направление ее прихода [1]. Для получения обобщенной оценки средней высоты морских волн (балльности волнения) используется соотношение площадей, заключенных под огибающими спектра первого и второго порядков (параметр D/C на рис.2).

Специфический характер спектра отраженного морем сигнала, в котором всегда присутствуют бреговские линии, обеспечивает надежную фиксацию границы типа "земля-море" и "лед-море". Это позволяет обнаруживать с помощью КВ РЛС свободные от льда участки моря, определять границы ледовых полей, на больших дистанциях обнаруживать и сопровождать отдельные льдины и айсберги.

Учитывая, что лед является более стабильной отражающей поверхностью, чем море, измерение скорости дрейфа ледовых полей и отдельных льдин и айсбергов

возможно с точностью до единиц см/с и менее. Экспериментальные измерения показали, что тонкий лед имеет примерно ту же отражательную способность, что и морская вода, а торосистый и толстый лед, а также айсберги примерно на 10÷13 дБ выше, что обеспечивает надежное их выделение на фоне моря [2]. Однако задача оценки характера и толщины льда представляет собой достаточно сложную проблему, поскольку отражательная способность льда зависит от его структуры, возраста. Сильное влияние на характеристики льда оказывают пустоты, заполненные соленой водой.

Считается возможным отличить резкую границу в толщине льда путем сравнения интенсивности отраженных сигналов. При этом высокодостоверная гидрофизическая и метеорологическая информация получается из рассеянного морем сигнала посредством усреднения результатов нескольких зондирований. Последнее обусловлено как погрешностями, вносимыми трассой распространения, так и пространственно-временной неоднородностью случайного поля морского волнения. Для получения 15÷20%-ных доверительных интервалов при контроле и измерении перечисленных выше параметров окружающей среды необходимо, как показывают выполненные теоретические расчеты [3], порядка 9-15 независимых зондирований морской поверхности.

Примерами практического использования метео КВ РЛС земной волны могут служить системы радиолокационных станций Marconi OSCR (Великобритания), предназначенные для контроля за поверхностными течениями и сеть береговых станций для наблюдений за динамикой океанских процессов CODAR, созданная NOAA – Национальным управлением океана и атмосферы (США), которые измеряют направление и силу ветра, среднюю высоту волн, скалярный и угловой спектры морского волнения. Два таких стационарных локатора или один мобильный, выполняющий измерения в различных точках, позволяют снять карту поверхностных течений с точностью до 0,1 м/с.

Имеются сведения об исследованиях в данной области, проводимых и другими странами. В частности, по заказу Управления оборонных исследований Канады, канадским отделением фирмы Raytheon создан и установлен на мысе Рейс острова Ньюфаундленд экспериментальный макет ЗГ РЛС [4] Предполагается, что данная РЛС будет контролировать надводную и ледовую обстановку на дальностях до 400 км и, используя методы азимутального сверхразрешения для антенных систем с цифровым формированием диаграммы направленности, определять координаты целей с точностью до 0.3 – 0.5 град [5].

Следует отметить, что КВ РЛС имеют двойное назначение: помимо сбора гидрофизической и метеорологической информации они также могут использоваться для управления движением надводных и воздушных объектов

Таким образом, при использовании метео КВ РЛС земной волны в любом районе на морском побережье в пределах их зоны обнаружения возможен контроль в реальном масштабе времени следующих гидрометеорологических параметров:

- \* направление и скорость ветра у поверхности моря;
- \* степень волнения моря;
- \* оценка границ и вектора скорости дрейфа ледовых полей и отдельных льдин.
- \* направление распространения и средняя высота морских волн;
- \* вектор скорости поверхностных течений;
- \* обнаружение и оценка параметров длинноволновых компонент морского волнения.

Экспериментальная проверка возможностей данных радиоэлектронных средств по контролю гидрометеорологических параметров производилась с помощью экспериментального макета метео КВ РЛС, установленного в северо-западной части Финского залива.

Для обеспечения высокоточного контроля характеристик морского волнения необходимо обеспечить весьма высокое доплеровское разрешение КВ РЛС (порядка

нескольких сотых долей Гц), поэтому в метео ЗГ РЛС используется ПЭВМ со спецпроцессорами серии TMS для первичной обработки радиолокационных сигналов и отображения результатов.

Для метео РЛС нет необходимости в высоком азимутальном разрешении. Более того, снижение азимутального разрешения в определенных пределах приводит к улучшению качества оценки метеопараметров. Вследствие этого для метео РЛС значительно понижены требования к размерам антенных систем и потребляемой мощности.

В метео РЛС КВ-диапазона нет необходимости также контролировать широкий интервал частот доплеровского спектра. Достаточно наблюдать только несколько заранее известных участков этого спектра, что позволяет в несколько раз уменьшить число каналов параллельной обработки радиолокационной информации.

Более чем годовая опытная эксплуатация данного макета подтвердила возможности высококачественной оценки таких параметров как волнение моря, поверхностные течения, местоположение кромки льда и зон торосов. Кроме того, проработан конструктивный облик промышленного образца метео КВ РЛС для использования в Баренцевом море.

Конкретно для использования в районе Приразломного месторождения проработаны два варианта комплектации метео КВ РЛС:

\* комплекс минимального состава дальность действия 150 км, предназначенный для развертывания, в первую очередь, на необорудованных площадках побережья, в районах с неразвитой инфраструктурой, не обеспеченных электроснабжением .

\* комплекс дальнего действия с суммарным энергопотреблением 25 кВт, обеспечивающий контроль гидрометеопараметров на дальностях до 300 км.

Антенная система единая на передачу и прием. Для метео КВ РЛС с дальностью действия 150 км использована 16 - элементная антенная решетка (АР), состоящая из укороченных штыревых антенн. Шаг решетки  $\lambda/2$  (25 м). Коэффициент усиления +12 дБ. На каждый антенный элемент подается сигнал от своего усилителя мощностью 100 Вт с отдельным источником питания. Суммарная импульсная мощность 1.6 кВт.

Сигнал: сложный, скважность  $Q = 3$ , ширина спектра 25 кГц, время когерентного накопления 100 с. Согласованная обработка обеспечивает разрешение по дальности 10 км, по частоте 0.02 Гц.

Приемник одноканальный, с кодовым разделением откликов от каждого элемента АР.

Устройство первичной обработки выполнено на ПЭВМ со спецпроцессором серии TMS. Отдельная ПЭВМ используется для расчета гидрометеоинформации, подготовки данных для передачи потребителям, встроенного функционального контроля комплекса.

Для увеличения дальности действия РЛС до 300 км необходимо увеличение числа элементов АР до 32-х и увеличение мощности усилителей до 500 Вт.

Метео КВ РЛС с указанными характеристиками позволяет получить значения контролируемых параметров с ошибками не хуже:

- \* ..... скорость поверхностных течений ..... 4–6 см/с;
- \* ..... направление поверхностных течений ..... 12–14 град.;
- \* ..... высота морских волн ..... 15%;
- \* ..... направление ветра ..... 12-14 град.;
- \* ..... скорость ветра ..... 20 %;
- \* ..... положение кромки ледяного покрова .....  $\pm 5$  км.

Аппаратура метео КВ РЛС может быть размещена в передвижной кабине с кондиционером или в стационарном отапливаемом помещении. Весьма низкое энергопотребление комплекса минимального состава – около 2,5 кВт – обеспечивает широкий выбор источников электроснабжения, включая портативные дизельгенераторы.

Антенная система РЛС должна быть расположена не далее 10 – 50 м от моря.

Эффективность применения метео КВ РЛС для использования в районе Приразломного месторождения можно рассмотреть на примере использования двух комплектов с дальностью действия до 300 км, расположенных в районе г. Нарьян Мар и на северной оконечности полуострова Канин Нос.

Оценка производилась по критерию отношения эффективности решения задачи контроля метеообстановки к стоимости системы в сравнении с использованием для тех же целей авиации или кораблей ГМС, эксплуатируемых в течение десяти лет (таблица). Исходные данные стоимостных оценок этих сил и средств использованы в соответствии с [6].

#### Результаты численных оценок

Средство контроля метеообстановки	Вероятность знания метеообстановки (ветрового волнения моря) в реальном масштабе времени	Стоимость решения задачи, млн.дол.	Отношение эффективности / стоимость
НК ГМС	0.8	3.5	0.22
Самолет или вертолет ГМС	0.2	0.56	0.36
Береговая метео КВ РЛС	0.9	1.1	0.82

Из приведенных данных следует, что оптимальными системами для контроля метеообстановки в районе ПНМ являются метео КВ РЛС, обеспечивающие, кроме того, контроль ледовой обстановки (также как и метеообстановки в реальном масштабе времени).

**Выводы.** Использование метео КВ РЛС для контроля гидрометеообстановки на акватории Баренцева моря обеспечивает непрерывное получение информации о состоянии моря и ледяного покрова в прибрежной полосе (159 - 300 км) с точностями, позволяющими принимать оперативные решения для предотвращения навигационных и других аварийных происшествий, связанных с аномальными погодными условиями.

Подобные метео ЗГ РЛС, размещаемые на побережье, в перспективе должны составить основу системы контроля гидрометеорологической обстановки в приповерхностном слое атмосферы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. Trizna, J. Moore, J. Headrik, R. Bogle. Directional Sea Spectrum determination using HF dopler Radar Techniques. IEEE Trans. V.AR-25, № 1, 1977.
2. В. М. Кутузов. Загоризонтные РЛС декаметрового диапазона: области применения и принципы построения. Судостроение за рубежом. № 11, 1989.
3. D. E. Barrick, J. Smider. The statistic of HF seaecho Doppler spektra. IEEE Trans. V.AR-25, № 1, 1977.
4. Труды конференции "Океан-93", 1993 г. -1/61 - 1/66.
5. B. J. Dawe, R. H. Walsh, A long range ground wave radar system for off-shore surveillance, JGARSS'89 p. 2950 - 2952, 1989. В 1.10.95.
6. Dan Boyle. Radar with its feet in the sea. International Defense Review, 4, 1989.



## ABSTRACTS OF PUBLISHED ARTICLES

**Problems of Navigation Support of the Oil and Gas Fields Development and Exploitation on the Arctic Shelf.** Alekseev S.P., Gerasimov V.M., Dobrotvorsky A.N., Dertsakyan A.K. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 9-28.

Main results of design of navigational support system for Priraziomnoye oil field are analyzed. Organizational, scientific and technical ways of solving the problem, which were found in the course of designing, can be employed as a basis for setting up the navigational support system to be used in the process of development of Russian Arctic continental shelf.

**Comparison of Environmental Conditions of Arctic Seas.** Loset S., Shkhinek K.N, Gudmes-tad O.T., Strass P., Michalenko E.B., Frederking R., Kama T. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 29-49.

The Environmental Factors of the Beaufort Sea and Russian Arctic seas: The Barents, Pechora (south-east part of the Barents Sea) and Kara Sea are compared. It is shown that air temperature, wind velocity and waves in regions situated on the same latitude are approximately the same. But ice conditions of the Beaufort Sea are heavier because of currents peculiarity. Based on this comparison, the conclusion about the possible use of western experience in design, construction, development and operation of Arctic (the Beaufort Sea) offshore structures for similar Russian objects is drawn.

**Problems of the Choice of Stochastic Hydrometeorological Model In Engineering Calculations.** Boukhanovsky A.V., Rozhkov V.A. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 50-60.

The problem of interval estimation of the distribution functions, moments and quantiles of hydrometeorological data is considered. It is shown, "that the range of confidence interval for such characteristics substantially depends on the type of distribution and sample coherence. The results of interval estimation for the natural and model data are represented.

**The Baltic Sea In the System "Ocean-Atmosphere-Uthosphere".** Bogdanov V.I., Medvedev M.Yu., Neronov N.N. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 60-64.

This article gives factual evidence of the presence in the data of the Baltic Sea level measuring stations of "system" signals bearing information on interaction of oceanic, atmospheric and lithospheric factors during formation of its hydrological regime.

In this connection the principal importance of adequate organisational provision of complex geophysical research based on the instrumental measurements of the level is mentioned.

A supposition is made on the possibility of utilization of the Baltic Sea level net as a tool for studies of macroprocesses in the system "ocean-atmosphere-lithosphere" in the North Atlantic region as well as in a number of Arctic regions.

**MfO Activities Directed at Development of Maintenance Requirements for Systems and Aids to Navigation Providing Maritime Safety.** Peresyppkin V.I. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 65-69.

IMO activities directed at development of maintenance requirements for technical aids to navigation are characterized. The essence of recent documents adopted on this question is given.

**ICAO Activities Directed at Standardizing the Air Navigation Accuracy.** Saraisky Yu.N. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 69-73.

Some results of the work of the International Civil Aviation Organization (estab. in 1947) carried out to substantiate the requirements to the characteristics and organization of navigation support systems and air traffic control are presented.'

**Planning the Navigation-Hydrograph<sup>^</sup>c and Hydrometeorological Support for Towing the Offshore Ice-Resistant Platform.** Bobkov S.A., Demin S.P. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 73-78.

The provision of navigation-hydrographic and hydrometeorological support for towing the offshore ice-resistant platform is considered. Based on the analysis of the suggested towing route, the minimum list of the main measures providing the platform safety navigationally and hydrometeorologically has been determined; the necessary number of support means and service personnel has been validated by means of computations: the safe towing route has been chosen; the problem issues of support have been pointed out.

**PC-Based Raster-scan Colour Radar Display "Baltica" for Vessel Traffic Control Systems.** Zimin N.S., Li R.V. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 79-84.

Main characteristics of the complex for collection, processing, display and registration of radar information, PC-based rasterscan colour radar display "Baltica", which is the central element of Vessel Traffic Control Systems are given. The complex is based on multipurpose personal computers. Most of its functions are provided using the programming method, which gave the complex great flexibility in adaptation to local navigational conditions and greatly reduced the cost of production and service maintenance. The complex was designed by Joint-Stock Company "Marine Complexes and System Plus" and certified by the RP Marine Service as independent complex.

**Numerical Calculations and Forecasts of the Level Oscillations, Currents and Ice Drift on the Shelf of the Western Arctic Seas.** Ashik I.M. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 85-94.

The description of numerical model for ice and water dynamics is given. The model is adapted to the Arctic Ocean conditions. The comparison of the resulting calculations with the data of observations is presented. The estimation for forecast calculations of level oscillations is carried out.

**Computation Model of Currents In the White Sea.** Mastryukov S.I. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 94-99.

Aerodynamic model of computing the summary currents and sea level variations is suggested. Results of modelling the tidal currents in the White Sea are presented. Based on comparative analysis of tidal currents characteristics which were obtained using the numerical model and harmonic analysis method, the conclusion on suitability of the numerical model for long-term, and on-line information support of towing operations of offshore platforms in the White Sea is drawn.

**Satellite Monitoring of the Ice Cover In the Region of the Piraziomnoye Oil Field.** Smirnov V.G., Devyatayev O.S., Bushuev A.V. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 100-107.

The questions of organizing the ice cover satellite monitoring in the region of Piraziomnoye oil field are examined. Capabilities of existing satellite observation systems to support the oil field exploitation are analyzed. Evaluation of the accuracy of ice cover features determination using satellite images in different spectral bands is presented. The software and formats for ice information are described. The ideology of design for the monitoring system is suggested.

**Maximum Depths Determined from Aerial and Space Photographs Using Photometric Technique.** Zoubtchenko E.S., Kondyurin V.D. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 107-112.

The expression for determination of maximum depths of water using aerial and space photographs has been obtained. The results of experimental determination of the least discernible optical density stage of water area picture and evaluation of maximum depths and their actual values determined from the materials of aerial and space photography are given.

**Navigation Hydrographic Support Tasks for Offshore Ice-Resistant Platform Installation In the Area of Piraxiomnoye Oil Field.** Barinov S.P., Panov A.G. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 113-116.

Principal navigation / hydrographic requirements for towing and installation of offshore ice-resistant platform on the sea shelf are formulated. Set of aids and content of main actions to coordinate this platform during its installation on the bottom and checking its location are offered.

**Evaluation of Bottom Relief Surveying Quality by Swath Sounding Systems.** Avdonyushkin V.A., A.A. Lakunin. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 116-120.

The technique for the evaluation of the swath survey quality, using the data of adjacent overlapping areas of survey strips without running special check lines of sounding is suggested.

**Composition and Structure of the Means Used to Transfer the Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Data to the Administration of Piraziomnoye Oil Field.** Bobkov S.A. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 121-125.

The system consisting of the main and zonal centres as well as subscriber stations is described. The suggested structure of means takes into consideration the remoteness of the offshore ice-resistant platform from information sources, high accuracy requirements, effectiveness of navigational, and hydrometeorological data transfer to the user, as well as the fact that the platforms are managed by different departments. The software and hardware has been chosen bearing in mind the possibility

of modernization without changing the principal layout as a whole.

***On-Line Employment of SaMIHa Data for Hydrometeorological Support of Priraziomnoye OH Field Exploitation.*** Lupyay E.A., V.M.Veselov, M.Y.Zakharov, A.A.Mazurov, E.V.Flitman. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 126-135.

Results of preliminary design of on-line employment system of satellite data to provide hydrometeorological support for Priraziomnoye oil field exploitation are presented.

***Specialized Ice Forecasts and Organization of Hydrometeorological Support of Marina Operations in the Region of the Priraziomnoye Oil Field in the Pechora Sea.*** Mironov E.U., Brovin A.I. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 135-139.

Specialized ice forecasts with different forecast periods for planning and operational management of marine operations, as well as storm warnings about dangerous ice phenomena are identified. Feasibility study for creating a common center for data collection, processing, analysis and forecasting of ice conditions in the region of the Priraziomnoye oil field and dangerous ice phenomena for offshore structures is performed. A scheme for dissemination of ice data to potential users is prepared.

***The Concept for Ice Cover Monitoring In the Region of the Priraziomnoye Oil Field.*** Brovin A.I., Mironov E.U. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 140-143.

The concept for ice cover monitoring in the region of the Priraziomnoye oil field is formulated. It allows to provide the safe exploitation of the Priraziomnoye oil field. Means for the ice cover state observations which are carried out on stationary platform, sea terminal and its tankers are identified.

***Estimation of Extreme Heights of Wind Waves In the Pechora Sea.*** Lavrenov I.V., Davidan I.N., Bokov V.N., Dymov V.I., Pasechnik T.A., Yakovleva N.P. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 144-152.

Estimations of wave heights with 20, 50 and 100 years return periods at the Priraziomnoye oil field in the Pechora Sea is given. Complex approach based both on the analysis of ship observation data and computation on numerical model, using the synoptic information for long historical period is used. For the first time, continuous computations of the wind waves for the period of 35 years have been carried out. For this aim, atmospheric pressure fields for 24158 principal synoptic periods have been used, which allowed the most representative estimates of the wave elements to be obtained. In the computations an advanced version of spectral-parametric model was used, which underwent detailed tests and verification, using the on-site observations. The most extreme situations were also computed using the recent version of the west model WAM. Comparison of the computation results on different models has shown their good agreement.

***Employment of Short-Wave Radars In the Interests of Hydrometeorological Support of the Barents Sea Shelf Oil Production.*** Reginsky V.D. Latyshev M.A., Kutuzov V.M., Bezuglov A.V. Navigation and Hydrography, 1997, N4, p. 152-156.

The relationship of sea surface hydrometeorological parameters and radar reflections of high-frequency waves from the sea surface is considered. Principles of using the meteo short-wave radars for remote monitoring of sea state parameters are presented. World-Wide development state in this area is shown. Proposals for the employment of meteo short-wave radars in the interests of hydrometeorological support for the oil production work on the Barents Sea shelf have been worked out; evaluation of their technical and economic efficiency has been made.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**АВДОНОШКИН ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ**, зам. начальника Управления Гос. Н ИНГИ, капитан 1 ранга. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1975) и Военно-Морскую Академию (ВМА, 1991). До 1989 г. 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 обустройству новых портов на Балтике.

**АЛЕКСЕЕВ СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ**, зам. начальника Гос.НИНГИ, председатель СПб регионального отделения Российского общества гидрографического института (РОИ Н), руководитель НИОКР по навигационно-гидрографическому обеспечению работ по освоению Приразломного нефтяного месторождения, капитан 1 ранга, к.т.н. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1972) и ВМА (1983). Автор 40 печатных трудов.

**АШИК ИГОРЬ МИХАЙЛОВИЧ**, ведущий инженер Арктического и Антарктического (АА) НИИ. Окончил ГМА им. адм.С.О.Макарова (1981). До 1987 г. работал в Тиксинском УГМС. Основное направление работ - использование численного моделирования динамики льда и океана в целях оперативного ГМО мореплавания по трассе СМП и работ на шельфе арктических морей. Имеет 5 печатных трудов.

**БАРИНОВ СЕРГЕЙ ПРОКОПЬЕВИЧ**, начальник отдела Гос.НИНГИ, капитан 2 ранга, к.т.н. Окончил ВВМУ им. Фрунзе (1978). Специализация - радионавигация. Автор более 20 печатных трудов.

**БЕЗУГЛОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ**, инженер СПб Государственного электротехнического университета (ГЭТУ). Окончил ГЭТУ в 1989 г. по специальности "радиотехника". Область научных интересов: радиолокация и радионавигация.

**БОБКОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**, зам. начальника Гидрометеослужбы ВМФ, капитан 1 ранга. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1980) и ВМА (1990). Специализация - гидрометеорология. **БОГДАНОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ**, старший научный сотрудник Государственной астрономической обсерватории РАН, к.ф.-м.н. Окончил Горный институт (1963). Специализация - геодинамика. Автор более 10 печатных трудов.

**БОКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ**, начальник отдела АА НИИ. Окончил СПб Гидрометеорологический институт (ГМИ, 1981). Автор около 30 печатных трудов.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**VICTOR A. AVDONYUSHKIN**, Gos.NINGI deputy chief of department, 1-st rank captain. Graduated from Frunze's High Naval School (FHNS, 1975), Naval Academy (NA, 1991). Up to 1989 he had served in the North Fleet Hydrography Service and had participated in the survey works in the White and Barents Seas. Scientific direction: hydrography and cartography, particularly in Stockman oil/gas field project and new Baltic ports development.

**SERGEI P. ALEKSEEV**, Gos.NINGI deputy chief, regional chief of Russian Public Institute 'of Navigation (RPIN St-Petersburg department), R&D chief of navigation-hydrography support of Prirazlomnoye oil field deployment, 1-st rank captain, PhD. Graduated from FHNE (1972), NA (1983). He has 40 publications.

**IGOR M. ASHIK**, The Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) leading engineer. Graduated from Makarov's State Marine Academy (SMA, 1981). Worked in Hydrometeorological department of Tiksi up to 1987. Scientific direction - numerical modeling of ice and ocean dynamics for operative hydrometeorological providing arctic navigation and work on the arctic shelf. He has 5 publications.

**SERGEI P. BARINOV**, Gos.NINGI chief of section, 2nd rank captain, PhD. Graduated from FHNS (1978). Specialty - radionavigation. He has more than 20 publications.

**ALEXANDR V. BEZUGLOV**, SPb State Electrical Engineering University (SEEU) engineer. Graduated from SEEU (1989), specialty "radioengineering". Area of scientific interests: radiolocation and radionavigation.

**SERGEI A. BOBKOV**, Naval Hydrometeorological Service deputy chief, 1-st rank captain. Graduated from FHNS (1980), NA (1990). Specialty - hydrometeorology. **VLADIMIR I. BOGDANOV**, RAS State Astronomical Observatory senior scientist, PhD. Graduated from the Mountain Institute (1963). Specialty - geodynamics. He has more than 10 publications.

**VICTOR N. BOKOV**, AARI chief of section, PhD. Graduated from SPb Hydrometeorological Institute (HMI, 1981). Specialty - radionavigation. He has about 30 publications.

**БРОВИН АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ**, заведующий лабораторией ДА НИИ, к-г.н. Окончил СПб ГМИ (1976). Автор 35 печатных работ, в том числе трудов международных форумов.

**БУХАНОВСКИЙ АЛЕКСАНДР ВАЛЕРЬЕВИЧ**, научный сотрудник Института высокопроизводительных вычислений и банка данных. Окончил Сибирский морской технический университет (1995). Специализация океанология. Автор 20 печатных работ.

**БУШУЕВ АНДРЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**, главный научный сотрудник ААНИИ, д.г.н. Окончил НИИГАиК (1951). Автор более 60 печатных трудов, в т.ч. 12 монографий.

**ГЕРАСИМОВ ВИКТОР МАКАРОВИЧ**, зам. начальника отдела Гос. Н ИНГИ, капитан 1 ранга, К.Т.Н. Окончил СПб ГЭТУ (1970). Специализация системное проектирование. Автор около 60 печатных трудов.

**ГУДМЕСТАД УВЕ Т.**, консультант норвежской компании Статойл по морским технологиям, профессор Ставангерского Университетского колледжа, д.т.н. Окончил Массачусетский технологический институт (США). Области научных интересов: гидродинамические нагрузки на офшорные конструкции, сейсмические нагрузки, анализ риска, освоение шельфа, арктическая и трубопроводная техника.

**ДАВИДАН ИЗРАИЛЬ НАУМОВИЧ**, зав. лабораторией СПО ГОИН, профессор, д.г.н. Специализация -> океанология. Автор 170 печатных трудов.

**ДЕВЯТАЕВ ОЛЕГ СЕМЕНОВИЧ**, главный специалист ААНИИ. Окончил ЛВМУ им. адм. С. О. Макарова (1974). Автор около 20 печатных трудов.

**ДЕМИН СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ**, доцент ВМА, к.в.н. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1976) и ВМА (1989). Специализация гидрология. Имеет печатные труды.

**ДЕРЦАКЯН АШОТ КИРИЛЛОВИЧ**, генеральный инженер проекта ДАОО "Гипроспецгаз", к.т.н. Окончил СПб Государственный технический университет (ГЭТУ, 1954). Специализация проектирование магистральных трубопроводов. Автор более 50 печатных трудов.

**ДОБРОТВОРСКИЙ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ**, начальник отдела Гос.НИНГИ, капитан 1 ранга, д.т.н. Окончил ВИКА им. А. Ф. Можайского (1973). Специализация системное проектирование. Автор 80 печатных трудов.

**ALEXANDR I. BROVIN**, AARI chief of Laboratory, PhD. Graduated from SPb HMI (1976). He has 35 publications, including proceedings of international conferences.

**ALEXANDR V. BOUKHANOVSKY**, Institute of Highproductive Calculations and Data Bank scientist. Graduated from Siberian Marine Engineering University (1995). Specialty oceanology. He has 20 publications.

**ANDREY V. BUSHUEV**. AARI Chief scientist, ScD. Graduated from Novosibirsk Engineering Institute (1951). He has more than 60 publications, including 12 monographs.

**VICTOR M. GERASIMOV**, Gos. NINGI deputy chief of section , 1-st rank captain, .PhD. Graduated from SPb SEEU (1970). Specialty system designing. He has about 60 publications.

**OVE T. GUDMESTAD**, Statoil Advisor Marine Technology, Professor of Marine Technology Stavanger University Coliege, ScD. Graduated from Massachusetts Institute of Technology (USA). Areas of scientific interest: Hydrodynamic loads on offshore structures, Seismic loading, Risk analysis, Offshore field development, Arctic Engineering, Pipeline engineering.

**ISRAEL N.DAVIDAN**, SPO GOIN (aboratory manager, professor, ScD. Specialty oceanology. He has 170 publications.

**OLEG S. DEVYATAYE**, AARI chief specialist. Graduated from Makarov's SMA (1974). He 'has more than 20 publications.

**SERGEI P. DEMIN**, NA assistant professor, PhD. Graduated from FHNS (1976) and NA (1989). Specialty hydrology. He has some publications.

**ASHOT K. DERTSAKYAN**, Joint-Stock Co. "Giprospecgas" General engineer of the project, PhD. Graduated from SPb State Engineering University (SEU, 1954). Specialty pipeline projecting. He has more than 50 publicatoins. ...

**ALEXANDR N. DOBROTVORSKY**, Gos. NINGI chief of section , 1-st rank captain, ScD. Graduated from Mozhaysky's Military Engineering Space Academy (M MESA, 1973). Specialty system designing. He has 80 pub.tications.

**ДЫМОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ**, ст. научный сотрудник ДАНИИ. Специализация океанология. Автор 10 печатных трудов.

**ЗИМИН НИКОЛАЙ СЕМЕНОВИЧ**, вице-президент ЗАО "Морские Комплексы и Системы Плюс" (МК и С+), доцент, к.т.н. Окончил ГМА им. адм. С. О. Макарова (1971). Специализация радиотехника. Автор монографии и ряда печатных трудов.

**ЗУБЧЕНКО ЭДУАРД СЕМЕНОВИЧ**, ст. научный сотрудник Гос. Н ИНГИ, капитан 1 ранга (в запасе), к.т.н. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1961). Специализация гидрография, аэрокосмические методы картографирования Мирового океана. Автор 15 печатных трудов.

**КАРНА ТУОМО**, главный научный сотрудник института строительных технологий VTT (Финляндия), д.т.н. Окончил Хельсинкский технологический университет (1971). Специалист по вопросам вибрации, вызываемой волновыми и ледовыми нагрузками. Автор ряда докладов на международных конференциях по Арктике.

**КОНДЮРИН ВИКТОР ДИМИТРИЕВИЧ**, научный сотрудник Гос. НИНГИ, подполковник (в отставке). Окончил ВИКА им. А. Ф. Можайского (1955). Специализация аэрокосмические методы картографирования. Имеет печатные труды.

**КУТУЗОВ ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ**, доцент СПб ГЭТУ, к.т.н. Окончил ГЭТУ (1976). Специализация радиолокация и радионавигация. Автор 25 печатных трудов.

**ЛАВРЕНОВ ИГОРЬ ВИКТОРОВИЧ**, зав. лабораторией ААНИИ, д.ф.-м.н. Специализация океанология. Автор более 70 печатных трудов.

**ЛАКУНИН АНДРЕЙ АЛЬБЕРТОВИЧ**, зам. начальника отдела Гос. НИНГИ, капитан (1 ранга). Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1981 г.), Высшие специальные офицерские курсы (ВСОК, 1987). Специализация гидрография. Автор около 10 печатных трудов.

**ЛАТЫШЕВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ**, начальник лаборатории в/ч 10729, к.т.н. Окончил СПб ГТУ (1980). Область научных интересов радиолокация. Имеет около 50 научных трудов.

**ЛИ РОМАН ВЛАДИМИРОВИЧ**, начальник отдела ЗАО "МК и С+". Окончил ГААП (1993). Специализация-системотехника.

**VLADIMIR I. DYMOV**, AARI senior scientist. Specialty oceanology. He has 10 publications.

**NIKOLAY S. ZIMIN**, Joint-Stock Co. "Marine Complexes & Systems+" vice-president, assistant professor, PhD. Graduated from Makarov's SMA (1971). Specialty radioengineering. He has one monography and some other publications.

**EDUARD S. ZOUBTCHENKO**, Gos.NING) senior scientist, 1-st rank captain (res.), PhD. Graduated from PHNS (1961). Specialty hydrography, methods of World ocean cartography from satellite. He has 15 publications.

**KARNA TUOMO**, VTT Building Technology Institute chief research scientist, ScD. Graduated from Helsinki University of Technology (1971). Specialty vibration problems (with main scientist interests in the areas in wind and ice engineering). He has some reports at international conferences on Arctic.

**VICTOR D. KONDYURIN**, Gos.NINGI scientist, lieutenant-colonel (ret.). Graduated from MMESA (1955). Specialty airspace techniques of cartography. He has some publications.

**VLADIMIR M. KUTUZOV**, SPb SEEU assistant professor, PhD. Graduated from SEEU. Specialty radiolocation and radionavigation. He has 25 publications.

**IGOR V. LAVRENOV**, AARI (aboratory chief, ScD. Specialty oceanology. He has more than 70 publications.

**ANDREY A. LAKUNIN**, Gos.NINGI deputy chief of section, I(-d rank captain. Graduated from FHNS (1981), Naval High Officer Courses (NHOC, 1987). Specialty hydrography. He has about 10 publications.

**MIKHAIL A. LATISHEV**. Chief of laboratory, PhD. Graduated from SPb STU (1980). Area of scientific interests -radiolocatidh. He has 'about 50 publications.

**ROMAN V. LI**, Joint-Stock Co. "MC&S+". Graduated from SAAP (1993). Specialty systemly engineering.

**ЛОСЕТ СВЕЙНУНГ**, Норвежский Университет науки и техники (НУНиТ), д.т.н. Окончил НУНиТ (по курсу теоретической физики). Специализация физико-механические процессы в ледовых образованиях, влияние ледовых нагрузок на офшорные конструкции.

**МАСТРЮКОВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ**, начальник лаборатории Гос.НИНГИ, подполковник, К.Т.Н. Окончил СПб гидрометеорологический институт (ГМИ, 1978). Специализация океанология. Автор 10 печатных трудов.

**МЕДВЕДЕВ МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ**, старший научный сотрудник Института физики Земли РАН, к.ф.-м.н. Окончил СПб Государственный университет (ГУ, 1959). Специализация геофизика. Автор более 40 печатных трудов.

**МИРОНОВ ЕВГЕНИЙ УАРОВИЧ**, заведующий отделом ААНИИ, к.г.н. Окончил СПб ГМИ (1975). Автор 50 печатных трудов.

**МИХАЛЕНКО ЕВГЕНИЙ БОРИСОВИЧ**, доцент СПб ГТУ, к.т.н. Окончил ГТУ. Специализация волновые процессы, течения, офшорные конструкции. Автор 10 печатных трудов.

**НЕРОНОВ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ**, главный научный сотрудник Гос.НИНГИ, президент СПб Гидрографического общества, д.т.н., профессор. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1950). Специализация гидрография. Автор более 40 печатных трудов.

**ПАНОВ АЛЕКСАНДР ГУРЬЕВИЧ**, начальник отдела Гос.НИНГИ, капитан 1 ранга, «т.н. Окончил ВВМУ им. Фрунзе (1973). Специализация навигация, электронные навигационные информационные системы. Автор более 30 печатных трудов.

**ПАСЕЧНИК ТАМАРА АНАНЬЕВНА**, ст. научный сотрудник ААНИИ. Окончила СПб ГУ (1966). Специализация математик. Автор 25 печатных трудов. **ПЕРЕСЫПКИН ВСЕВОЛОД ИЛЬИЧ**, Генеральный директор ЗАО "ЦНИИ МФ", вице-президент РОИН, зам председателя подкомитета ИМО по безопасности мореплавания. Автор 70 печатных трудов.

**РЕГИНСКИЙ ВЛАДИМИР ДМИТРИЕВИЧ**, начальник отдела в/ч 10729, к.т.н. Окончил ВМА (1984). Область научных интересов радиолокация. Имеет 40 научных трудов.

**SVEINUNG LOSET**, Norwegian University of Science and Technology (NU SAT), ScD. Graduated from NUS&D. Specialty ice physics and mechanics, estimation of ice loads on offshore structures.

**SERGEI I. MASTRYUKOV**, Gos.NINGI laboratory chief, lieutenant-conet, PhD. Graduated from SPb Hydrometeorological Institute (HMI, 1978). Specialty oceanology. He has 10 publications.

**YUIRI M. MEDVEDEV**, Institute of the Earth Physics senior scientist, PhD. Graduated from SPb State University (SU, 1959). Specialty geophysics. He has more than 40 publications.

**EVGENY U. MIRINOV**, AARI chief of section, PhD. Graduated from SPb HMI (1975). He has 50 publications.

**EVGENY B. MICHALENKO**, SPb STU assistant professor, PhD. Graduated from STU. Specialty water waves, currents, offshore structures. He has 10 publications.

**NIKOLAI N. NERONOV**, Gos.NINGI chief scientist, SPb Hydrographic Society President, ScD. Graduated from FHNS (1950). Specialty hydrography. He has more than 40 publications.

**ALEXANDR G. PANOV**, Gos.NINGI chief of section, 1-st rank captain, PhD. Graduated from FHNS (1973). Specialty navigation, electronic navigational information systems. He has more than 30 publications.

**TAMARA A. PASECHNIK**, AARI senior scientist. Graduated from SPb SU (1966). Specialty mathematics. She has 25 publications. **VSEVOLOD I. PERESYPKIN**, Joint-Stock Co. "Central Research Institute of the Merchant Fleet" General director, RPIN vice-president, IMO subcommite on navigation safety vice-chairmain, ScD. He has 70 publications.

**VLADIMIR D. REGINSKY**, chief of section, PhD. Graduated from NA (1984). Area of scientific interests radiolocation. He has 40 publications.

**РОЖКОВ ВАЛЕНТИН АЛЕКСЕЕВИЧ**, директор СПб ГОИН, профессор, д.ф.-м.н. Окончил СПб ГУ (1954). Специализация методы обработки гидрометеоинформации. Автор более 200 печатных трудов, в том числе 10 монографий.

**САРАЙСКИЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ**, заведующий кафедрой Академии ГА, доцент, к.т.н. Окончил Академию ГА (1975). Специализация аэронавигация. Автор 6 печатных трудов.

**СМИРНОВ ВЛАДИМИР ГРИГОРЬЕВИЧ**, зав. отделом ААНИИ, к.ф.-м.н. Окончил ГМА им.адм. С.О.Макарова (1973). Автор 30 печатных трудов.

**СТРАСС ПЕР**, гидрометеоролог норвежской компании Статойл, магистр наук. Окончил Бергенский университет.

**ФРЕДЕРКИНГ РОБЕРТ М.У.**, менеджер Канадского Гидравлического Центра (Канадский национальный исследовательский Совет). Окончил университет провинции Альберта (Канада). Специализируется в области ледовой техники и механики. Автор более 100 научных трудов.

**ШХИНЕК КАРЛ НАТАНОВИЧ**, профессор СПб ГТУ, д.ф.-м.н. Окончил СПб Морской технический университет (МТУ, 1956). Специализация механика грунтов, льда, офшорных конструкций. Автор более 100 научных трудов (включая монографии).

**ЯКОВЛЕВА НИНА ПАВЛОВНА**, научный сотрудник ААНИИ. Окончила СПб ГМИ (1960). Специализация океанология. Автор 10 научных трудов.

**VALENTIN A. ROZHKOV**, SPb Division of the State Oceanography Institute Director, professor, ScD. Graduated from SPb SU (1954). Specialty methods of hydrometeorology information processing. He has more than 200 publications, including 10 monographs.

**YURI N. SARAIISKY**, Civil Aviation Academy (CAA) head of the chair, assistant professor, PhD. Graduated from CAA (1975). Specialty aeronavigation. He has 6 publications.

**VLADIMIR G. SMIRNOV**, AARI head of section, PhD. Graduated from Makarov's SMA (1973). He has 30 publications.

**PER STRASS**, Statoil meteorology specialist, M.Sc. in Meteorology. Graduated from University of Bergen.

**ROBERT M.W. FREDERKING**, Canadian Hydraulics Centre (National Research Council of Canada) Manager (Business Development), PhD. Graduated from University of Alberta. Specialty ice engineering and mechanics. He has more than 100 publications.

**KARL N. SHKHINEK**, SPb STU professor, ScD. Graduated from Spb Marine Engineering University (MEU, 1956). Specialty rock and ice mechanics, offshore structures. He has more than 100 publications, including monographs.

**NINA P. YAKOVLEVA**, AARI scientist. Graduated from SPb HMI (1960). Specialty oceanology. She has 10 publications.



**ПАМЯТКА АВТОРУ**  
**ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, НА-**  
**ПРАВЛЯЕМЫХ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ**  
**«Навигация и гидрография»**

1. Объем статьи не должен превышать 8 стр., для статьи обзорно-аналитического характера - до 15 стр. 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.
4. Все рисунки или фотографии должны иметь порядковый номер, 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 6.0 for Windows**, а также других систем, для которых имеются стандартные конвертеры Word 6.0. При оформлении использовать только стандартные шрифты, поставляемые с системой Windows.
8. Для диаграмм и графиков предпочтительно использование **векторных форматов**, импортируемых в MS Word 6.0 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 в 1 экз. (дискета возвращается автору).
10. Материалы, отправляемые посредством электронной почты, направлять на адрес **E-mail: editor@nhi.spb.ru** в виде предварительно сжатых архиваторами **ARJ**, или **RKZIP**, присоединенных к письму файлов, закодированных **UUENCODE**.

**Адрес редакции: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.**

**Телефон: (812) 217-97-60, Факс: (812) 217-33-19 (в рабочее время)**

**E-mail: edHor@nhi.spb.ru**

Условия подписки на журнал  
"Навигация и гидрография на 1999  
год

Для оформления годовой подписки на 2 выпуска журнала необходимо перевести до 1 февраля 1999 г. 40000 руб. + НДС.

Наши реквизиты: ИНН 7801020940, войсковая часть 62728, ПУ ЦБ РФ Набережное, БИК 044080002, расчетный счет 000340856 Санкт-Петербург, указав в квитанции об оплате – За подписку на журнал".

## Навигация и гидрография, 1997. №4

Редакторы : А.И.Баранов, С.А.Рудас

Компьютерное оформление : В.И.Скалон

Подписано в печать 18.09.97

Заказ M264

Рег.№013267 от 26.01.95

Комитет РФ по печати

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