ISSN 2220-0983

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

45/2016

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

Санкт-Петербург

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

45
2016

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

Главный редактор
А. Ф. Зеньков

Редакционная коллегия:

д. в. н., проф. П. Г. Бродский (заместитель главного редактора),
д. т. н. П. И. Малеев (научный редактор); к. г.-м. н. И. Ю. Бугрова (редактор);
к. в. н. В. Ю. Бахмутов (ответственный за выпуск);
д. т. н., профессор Э. С. Зубченко, д. в. н., проф. А. И. Исмаилов;
д. в. н., проф. В. А. Катенин; к. т. н. Н. И. Леденёв; д. т. н. С. И. Мастрюков;
д. т. н., проф. Н. Н. Неронов; акад. РАН В. Г. Пешехонов;
к. в. н. Ю. В. Румянцев; чл.-кор. РАН А. И. Сорокин;
д. т. н., профессор К. Г. Ставров; к. т. н. В. А. Титлянов,
к. т. н. А. М. Шарков, д. ф.-м. н., профессор Г. Г. Щукин

Журнал «Навигация и гидрография» включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук»

Электронная версия журнала размещена на сайте www.gningi.ru

© Открытое акционерное общество
«Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт»
2016

THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC INSTITUTE

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

PUBLISHED SINCE 1995

45
2016

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint-Petersburg

Editor-in-chief
A. Zenkov

Editorial board

P. Brodsky, DSc, professor (vice-editor-in-chief);
P. Maleyev, DSc (science editor); I. Bugrova (editor), CandSc;
V. Bakhmutov (the issue manager), CandSc;
E. Zubchenko, DSc, professor; A. Ismailov, DSc, professor;
V. Katenin, DSc, professor; N. Ledenev, CandSc; S. Mastryukov, DSc;
N. Neronov, DSc, professor; V. Peshekhonov, DSc, Acad. RAS;
Yu. Rumyantsev, CandSc; A. Sorokin, DSc, CM RAS; K. Stavrov, DSc, professor;
V. Titlyanov, CandSc; A. Sharkov, CandSc; G. Shchukin, DSc, professor

© Open Joint Stock Company
«The State Research Navigation-Hydrographic Institute»
2016

СОДЕРЖАНИЕ

О роли и месте ОАО «ГНИНГИ» в решении научных задач обеспечения безопасности морской деятельности Российской Федерации. В. П. Кеонджан, А. Ф. Зеньков 7

НАВИГАЦИЯ

Модель ошибок бесплатформенной инерциальной навигационной системы летательного аппарата. Д. С. Силантьев 17

Проектирование путей движения кораблей и судов в современных условиях. П. Г. Бродский, Ю. В. Румянцев, А. Н. Лукин 24

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

Вероятностно-комбинаторная модель имитации турбулентной диффузии примеси в океане для обеспечения задач ВМФ. Ю. Н. Жуков 37

О стандартных моделях океаносферы, океанов и больших озёр. А. И. Сорокин, Н. Г. Зеленкова, Е. Г. Маркова 45

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Перемежаемость в гидрометеорологии и ее роль в гидрометеорологическом обеспечении Военно-Морского Флота. Ю. Н. Жуков. 51

Возможность рассеяния волнистообразной и слоистообразной облачности в северных районах европейской территории России в интересах гидрометеорологического обеспечения. А. П. Доронин, Г. Г. Щукин, О. И. Дидык, В. М. Петроченко, С. А. Шмалько 60

Состояние и тенденции развития систем оперативной океанологии в ВМС зарубежных стран. А. Ф. Зеньков, С. И. Мастрюков. 69

Климатические особенности метеорологической дальности видимости на территории России и на акватории северных частей Мирового океана. С. И. Мастрюков, И. В. Лаврова. 77

К вопросу оценивания эффективности гидрометеорологического обеспечения деятельности Вооруженных Сил РФ в Арктике. А. А. Борисов, А. Б. Маков, С. В. Чернышев 84

Памяти Юрия Владимировича Румянцева 90

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 93

РЕФЕРАТЫ 97

C O N T E N T S

On the Role and Place of «GNINGI» OJSC in Solving the Scientific Problems of Support for the Maritime Activities Safety of the Russian Federation. V. P. Keondjian, A. F. Zenkov 7

NAVIGATION

Model of Errors for Strapdown Inertial Navigation System of a Flight Vehicle. D. S. Silantyev 17

Specific Features of Designing the Sailing Routes of Ships and Vessels under the Present-Day Conditions. P. G. Brodsky, Y. V. Rumyantsev, A. N. Lukin 24

HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY

The Probabilistic-Combinatorial Model of Imitating the Turbulent Diffusion of Admixture in the Ocean to Carry out the Navy Tasks. Y. N. Zhukov 37

On Standard Models of Oceanosphere, Oceans and Large Lakes. A. I. Sorokin, N. G. Zelenkova, E. G. Markova 45

HYDROMETEOROLOGY

The Alternating Ability in Hydrometeorology and its Role in Hydrometeorological Support for the Navy. Y. N. Zhukov. 51

Assessment the Possibility of Dissipation of Undulatus and Stratiform Clouds in Interests of Hydrometeorological Support. A. P. Doronin, G. G. Shchukin, V. M. Petrochenko, O. I. Didyk, S. A. Shmalko 60

State and Development Tendencies of Operational Oceanology Systems in the Navies of the Foreign Countries. A. F. Zenkov, S. I. Mastryukov. 69

Climatic Specific Features of Meteorologic Visibility Range on the Territory of Russia and on the Water Area of the Northern Parts of the World Ocean. S. I. Mastryukov, I. V. Lavrova. 77

On Evaluation of Effectiveness of Hydrometeorological Support for the RF Armed Forces Activities in the Arctic. A. A. Borisov, A. B. Makov, S. V. Chernishev 84

In memory of Yury Vladimirovich Rumyantsev. 90

INFORMATION ABOUT AUTHORS 93

ABSTRACTS 97

УДК 656.6:551.48

О РОЛИ И МЕСТЕ ОАО «ГНИНГИ» В РЕШЕНИИ НАУЧНЫХ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В. П. КЕОНДЖАН,
А. Ф. ЗЕНЬКОВ
(ОАО «ГНИНГИ»)

Приводятся результаты деятельности ОАО «ГНИНГИ» с учетом его статуса и сферы ведения. Представлена оценка состояния и основные приоритетные направления научной деятельности Института в настоящее время и в ближайшей перспективе.

Роль и место ОАО «ГНИНГИ» (Институт) в навигационно-гидрографическом и гидрометеорологическом обеспечении (НГО и ГМО) морской деятельности, результаты его научных исследований и разработок были предметом обсуждения на научно-технических советах, отражены в трудах семи российских научно-технических конференций, проведенных Институтом, опубликованы в 44 выпусках журнала «Навигация и гидрография», в 37 закрытых научно-технических сборниках Института, а также в ряде номеров журнала «Морской Вестник».

Представляется актуальным оценить роль и место ОАО «ГНИНГИ» по основным направлениям приоритетных научных исследований в настоящее время и в ближайшей перспективе.

Работа ОАО «ГНИНГИ», входящего в перечень стратегических предприятий и федеральных органов исполнительной власти, которые обеспечивают реализацию единой государственной политики в отраслях экономики [1], была направлена на реализацию основных положений нормативных правовых и программных документов в сфере НГО морской деятельности, а также на научную поддержку Министерства обороны при осуществлении морской политики Российской Федерации в части НГО и ГМО [2–6]. Одним из таких направлений государственной политики РФ является «обеспечение безопасного функционирования морских коммуникаций и морской экономической деятельности….» как основного элемента создания условий безопасности на море [7].

Основными направлениями работы ОАО «ГНИНГИ» как подведомственной организации МО РФ, входящей в структуру АО «Ремвооружение» холдинга АО «Гарнизон», является:

– обеспечение безопасности и обороноспособности государства на морских направлениях;

– обеспечение строительства и эксплуатации морских объектов в интересах Вооруженных Сил Российской Федерации, государственных и иных заказчиков, включая иностранных, а также внедрение новых технологий и разработок в данной области;

– обеспечение навигационной безопасности плавания на подходах и на акваториях пунктов базирования сил флота;

– обеспечение навигационной безопасности судоходства на подходах и акватории портов;

– аварийно-спасательное обеспечение морской деятельности в интересах нефтегазовых компаний.

При непосредственном участии ОАО «ГНИНГИ» выполняются работы в области обеспечения безопасности морской деятельности, включая разработку соответствующих нормативных документов, выполнение морских инженерных изысканий, проектирование морских путей движения и средств навигационного оборудования морских портов, портовых пунктов, морских гидротехнических сооружений, подходных каналов, разработку информационно-справочных систем по гидрометеорологическим и навигационно-гидрографическим условиям на районы лицензионных участков.

Среди наиболее крупных работ и проектов, выполненных за прошедшие два года можно выделить следующие, имеющие наибольшее значение:

1. **Научно-техническая поддержка деятельности органов государственного и военного управления в сфере полномочий Министерства обороны по реализации национальной морской политики** (в рамках выполнения ОАО ГНИНГИ» работ, направленных на совершенствование нормативной правовой основы морской деятельности).

К настоящему времени на основе результатов «Системных исследований морской деятельности Российской Федерации, разработки проектов Морской доктрины Российской Федерации на период до 2030 года и разработки нормативного правового акта о государственном управлении морской деятельностью Российской Федерации» ведутся исследования проблем нормативного правового обеспечения морской деятельности Российской Федерации и научного сопровождения подготовки и реализации законопроекта «О государственном управлении морской деятельностью Российской Федерации».

В 2016 году ОАО «ГНИНГИ» начал выполнение научных исследований по «Научному обоснованию совершенствования нормативной базы и документов стратегического планирования морской деятельности Российской Федерации на период до 2030 года». Результатами обоснования нормативной базы и документов стратегического планирования должны быть проекты новых редакций:

– Основ государственной политики в области военно-морской деятельности на период до 2030 года;

– Стратегии развития морской деятельности до 2030 года (третий этап реализации Стратегии);

– концепции федерального закона «О навигационно-гидрографическом обеспечении морской деятельности Российской Федерации»

– Федерального закона «О поиске и спасании на море».

2. **Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на разработку средств и методов навигации, гидрографии, морской картографии и гидрометеорологии, проведение их испытаний и научно-техническое сопровождение ОКР по созданию новых и модернизации существующих технических средств.**

2.1 Потенциал, научно-технический задел Института востребован в работах, проводимых Фондом перспективных исследований. Отсутствие согласованного подхода к развитию навигации и НГО и единого и четкого понимания перспектив созда-

ния морских средств навигации и океанографии для морской робототехники привело к возникновению проблемы навигации роботизированных средств и комплексов и их НГО в интересах ВМФ.

В этом направлении специалистами Института осуществлена выработка путей развития навигации и НГО указанных средств на основе обоснования методов и разработки принципиальных решений подводной навигации автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) с учетом реализации перспективных технологий их НГО.

2.2 С учетом актуальности развития Арктической зоны для РФ в рамках Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 годы (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 21 февраля 2008 г. № 103) завершена разработка отчетных материалов составной части ОКР «Разработка технического проекта комплексной технологии поиска, идентификации, подъема и передачи на утилизацию подводных потенциально опасных объектов».

В результате выполнения работы разработаны меры по реабилитации арктических морей от подводных потенциально опасных объектов, включающие:

– предложения в проект концепции реабилитации арктических морей от ППОО по ГМО и НГО, а также безопасности мореплавания;

– технико-экономическое обоснование разработки технических средств для поиска и идентификации подводных объектов;

– технический проект комплексной технологии поиска, идентификации, подъема и передачи на утилизацию ППОО.

3. **Навигационно-гидрографические и океанографические исследования, морские инженерные изыскания**

Среди этих работ можно отметить морскую экспедицию в районе острова Буве на НЭС «Академик Федоров», проведенную под руководством ОАО «ГНИНГИ» в район хребта Шака, с участием ФГБУ «ААНИИ», ФГБУ «ВНИИОкеангеология» и ООО «Гидро-Си» по заказу Norwegian Petroleum Directorate (рис. 1).

В результате экспедиции с 8 по 31 марта 2016 г. в сложных погодных условиях было выполнено:

– 3172 линейных километров батиметрической съемки в районе работ, суммарная протяженность съемки рельефа дна – 4938 линейных километров;

– 3 станции драгирования, 6 отборов проб донного грунта, получено 662 кг образцов горных пород;

– 14 гидрологических станций в малоизученном районе южной части Атлантического океана.

В ходе выполнения работ также отработаны технологии выполнения батиметрической съемки многолучевым эхолотом Kongsberg EM-122 в сложных метеорологических условиях и взятия проб донного грунта (глубоководного драгирования скальной драгой).

Впервые 12 гидрологических станций выполнены обрывными зондами прямого измерения профиля распределения скорости звука в воде. Материалы работ переданы заказчику и получили высокую оценку.

В настоящее время на акватории морей Баренцева, Карского и Лаптевых специалисты ОАО «ГНИНГИ» на НЭС «Академик Трешников» выполняют работы по определению параметров подводной части айсбергов, гидролокационной съемке дна

в районе установки притопленных автономных буйковых станций и камеральной обработке полученных материалов.

Рис. 1. Экспедиционные работы в районе острова Буве

Оценка размеров подводной части айсбергов будет выполняться в ходе проведения натурных экспериментов по буксировке айсбергов и иных видов физического воздействия судном на айсберг. Она включает в себя:

– оперативную оценку геометрических характеристик айсбергов перед началом буксировки методом гидролокационной съемки многолучевым эхолотом;

– обработку полученных данных с помощью специального программного обеспечения;

– построение 3D моделей подводных частей айсбергов.

По результатам выполненных работ планируется разработка регламентов по управлению ледовой обстановкой в районах проведения буровых работ на шельфе.

4. **Проектирование комплексных систем навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания. Проектирование путей движения судов и средств навигационного оборудования акваторий**

Используя разработанную в ОАО «ГНИНГИ» оригинальную технологию проектирования морских систем обеспечения безопасности объектов, за последнее время в рамках гособоронзаказа выполнен ряд проектных работ для модернизации и строительства военно-морских баз и пунктов базирования кораблей ВМФ. В частности, в рамках работ с ОАО «23 ГМПИ – филиал ОАО «31 ГПИСС» выполнены проектные работы по безопасности мореплавания на акватории и на подходных фарватерах к объектам МО РФ на Камчатке, Кольском полуострове и в пунктах базирования кораблей на Чёрном море (рис. 2, 3).

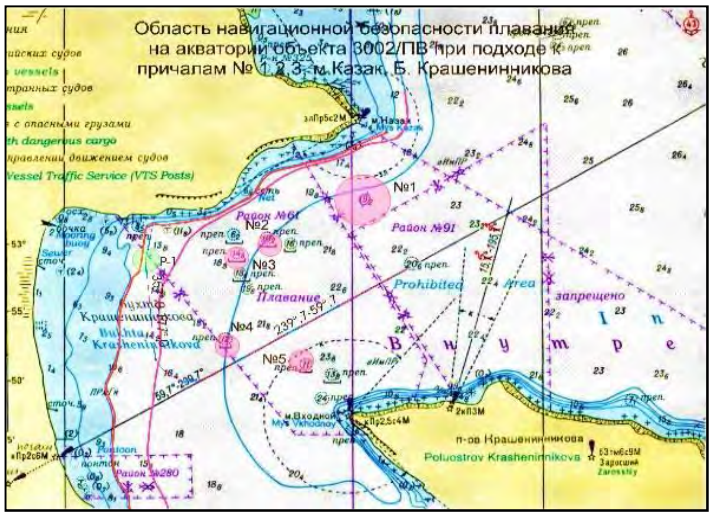


Рис. 2. Строительство и реконструкция объектов причального фронта бухты Крашенинникова (Камчатский край)

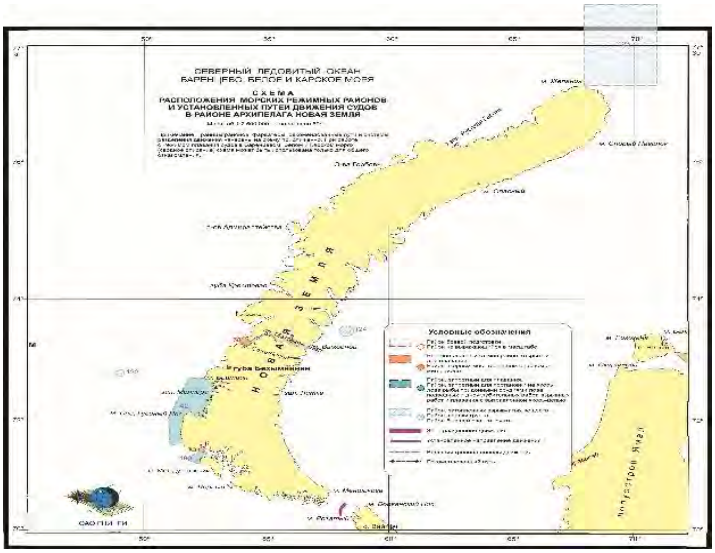


Рис. 3. Строительство морского причала в пос. Белушья губа, арх. Новая Земля

В рамках работ с АО «Гипроспецгаз» и АО «ЛЕНМОРНИИПРЕКТ» выполнены работы на подходах и акватории регазификационного терминала в Калининградской области и по объекту «Магистральный газопровод Краснодарский край – Крым» (рис. 4, 5).

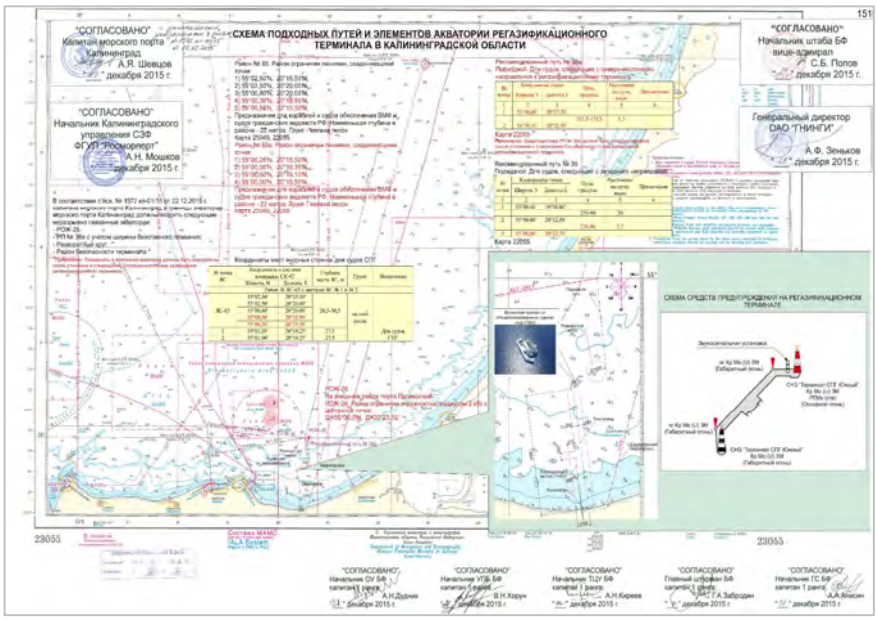


Рис. 4. Навигационная безопасность судоходства на подходах и акватории регазификационного терминала в Калининградской области

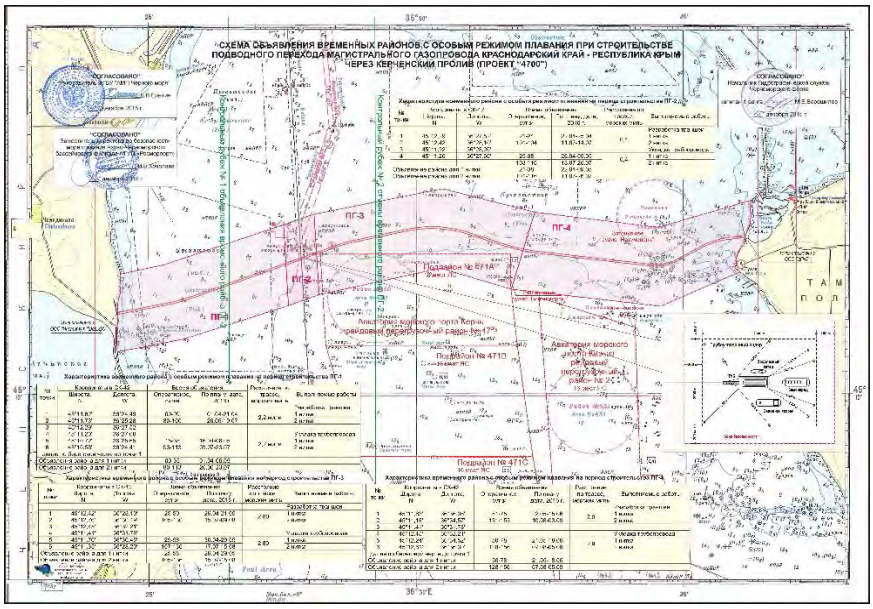


Рис. 5. Раздел проектной документации по установлению особого режима плавания на период строительства магистрального газопровода

Разработан раздел проектной документации, предусмотренной Федеральными законами, который содержит конструкторские решения и установление режима плавания на соответствующий период.

5. **Работы по демпфированию рисков, обусловленных опасностями техногенного происхождения**

В рамках решения задачи создания ВМФ условий безопасности морской экономической деятельности и реализации положений энергетической политики Российской Федерации ОАО «ГНИНГИ» выполнен ряд работ по проектам безопасности освоения морских нефтегазовых месторождений и развития морской системы транспортировки углеводородов, в их числе – работы по демпфированию рисков, обусловленных опасностями техногенного происхождения.

Комплексный анализ опасностей техногенного происхождения (ОТП) в районах обустройства объектов морских нефтегазовых месторождений в морях Арктики показывает, что степень риска в процессе деятельности персонала по освоению углеводородных ресурсов шельфа достаточно велика и поэтому остается актуальной.

С целью обеспечения требуемого (минимально допустимого) уровня обеспечения безопасности морских инженерных изысканий в случае реализации опасных факторов, обусловленных ОТП, проводятся мероприятия по предотвращению и ликвидации последствий воздействия от опасностей техногенного происхождения при производстве морских инженерно-изыскательских работ в районах обустройства объектов морских нефтегазовых месторождений и в районах прохождения трасс морских трубопроводов.

В связи с этим в рамках соответствующей работы ОАО «ГНИНГИ» осуществлена разработка и согласование со Штабом БФ «Программы работ по обследованию района строительства терминала по приему, хранению и регазификации сжиженного природного газа (СПГ) в Калининградской области на предмет обнаружения опасностей техногенного происхождения (ОТП) и мероприятий по их ликвидации» (рис. 6).

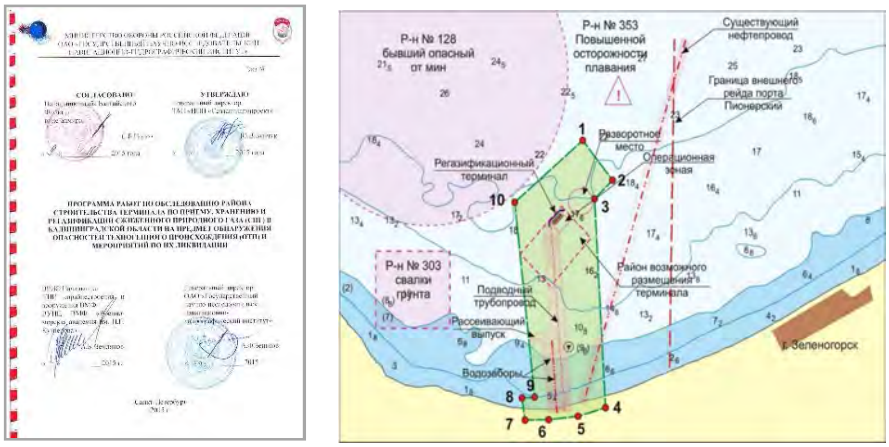


Рис. 6. Программа работ по обследованию района строительства терминала по приему, хранению и регазификации СПГ в Калининградской области на предмет обнаружения ОТП

Кроме того, по данному направлению в 2016 году завершено выполнение работы по «Обследованию заданной части района № 98 акватории морского порта Находка на предмет обнаружения опасностей техногенного происхождения и мероприятий по их ликвидации в соответствии с Директивой Командующего Тихоокеанским флотом от 05.08.2009 г. Д-48».

На основании проведенных работ командованием флота принято решение об открытии района с объявлением в Извещениях мореплавателям.

6. **Работы по обеспечению безопасности освоения морских нефтегазовых месторождений – разработке системы аварийно-спасательного обеспечения.**

Существование потенциальных рисков возникновения морских аварий различного характера диктует необходимость создания адекватной системы аварийно-спасательного обеспечения (АСО) морских объектов нефтегазовых компаний. В целях создания условий по недопущению развития аварийных ситуаций на объектах нефтегазового комплекса, своевременной локализации и ликвидации их последствий с минимальным экономическим и экологическим ущербом, недопущения гибели персонала ОАО «ГНИНГИ» ведет работы, направленные на разработку нормативно-методической документации в области аварийно-спасательного обеспечения морских месторождений углеводородов и привязку проектных решений применительно к конкретному объекту (например, «Система аварийно-спасательного обеспечения» в составе проекта «Терминал по приему, хранению и регазификации сжиженного природного газа (СПГ) в Калининградской области» шифр «Калининград-АСО»).

В интересах ПАО «Газпром» завершены работы по «Разработке требований к организации авиационного поиска и спасания» и «Разработке предложений по перечню и содержанию аварийно-спасательных работ, необходимых при поиске и спасании, оказании помощи, ликвидации розливов нефтепродуктов, требований к организации обеспечения аварийно-спасательных работ в ОАО «Газпром» и его дочерних обществах». Результатами указанных работ являются нормативные документы системы стандартизации и проектные документы ПАО «Газпром» в области АСО объектов обустройства морских нефтегазовых месторождений.

7. **Работы по обеспечению бесперебойного (круглогодичного) доступа к инфраструктуре снабжения и поддержки морских объектов освоения нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе**

Мировой опыт проведения буровых работ на морском шельфе показывает, что в их бюджете затраты на фрахт морского флота и морскую логистику достигают 50 %, а удалённость лицензионных участков, недостаточная береговая инфраструктура и арктические условия приводят к ещё большему удорожанию этой части проектов, а также к возникновению финансовых, логистических и экологических рисков.

Обзор расположения арктических лицензионных участков ведущих российских нефтегазовых компаний и анализ состояния ледяного покрова на этих участках указывают на серьезные проблемы, которые могут возникнуть при их освоении и, прежде всего, при выполнении буровых разведочных работ. Эти проблемы связаны с двумя основными факторами – сложной ледовой обстановкой и большим удалением мест проведения буровых работ от возможных портов базирования морских буровых установок (МБУ) и существующих и/или потенциально возможных береговых баз обеспечения (ББО) буровых работ. Существующие логистические схемы (схемы морской логистики) из-за больших расстояний и сложной ледовой обстановки не в состоянии полноценно, стабильно и круглогодично осуществлять необходимое обеспечение. Это требует разработки и создания более эффективной логистической системы.

ОАО «ГНИНГИ» совместно с ООО «АМТ» (Чугунов В. В.) вышло с инициативой выполнения соответствующей НИР в интересах обеспечения синхронизации мероприятий Минобороны, ФСБ (ФПС), МЧС, Минтранса и других ведомств, а также

ПАО «НК «Роснефть» и ПАО «Газпром», в том числе при организации морских логистических схем и заказе необходимого флота. Данное предложение поддержано совместным решением Госкомиссией по Арктике и Морской коллегией от 07.12.2015 г., согласно которому оно учитывается Минэкономразвития в государственной программе РФ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ на период до 2020 года».

Наиболее эффективной и, пожалуй, единственной приемлемой в складывающейся ситуации логистической схемой обеспечения буровых работ на шельфе Арктики и Охотского моря на ближайшую и среднесрочную перспективу, по нашему мнению, является схема с использованием плавучей базы обеспечения (ПБО) или создание более эффективной логистической системы, основанной на использовании плавучих автономных комплексов обеспечения (АКО) (рис. 7).

Рис. 7. Примерный состав предлагаемого автономного комплекса обеспечения (АКО) – плавучая база обеспечения и многофункциональные ледокольные суда

Предлагается разработка концептуального проекта создания плавучей базы обеспечения морских объектов освоения нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе.

Накопленный сотрудниками института научный и практический опыт реализуются в одном из видов инновационной деятельности – изобретательстве. В рамках выполненных работ запатентован ряд оригинальных технических решений. Патентная база, удостоверяющая новизну технических и технологических решений при выполнении работ по основному предназначению института, представлена на официальном сайте ОАО «ГНИНГИ»: www.gningi.ru в каталоге изобретений.

Таким образом, приведенные результаты работ, выполненных в 2015–2016 г. ОАО «ГНИНГИ», позволяют сделать заключение о том, что его деятельность:

– осуществляется в соответствии с основными положениями нормативных правовых и программных документов в сфере НГО морской деятельности;

– направлена на решение приоритетных научно-технических проблем и важных практических задач в области НГО и ГМО морской деятельности, являясь эффективной формой комплексного решения задач безопасности, обеспечивая создание условий для снижения рисков происшествий с объектами морской деятельности;

– позволяет определять и учитывать специфические особенности обеспечения морской деятельности с учетов возможности организации взаимодействия с ВМФ;

– востребована соответствующими потребителями, обеспечивая научную поддержку полномочий Министерства обороны (ВМФ) при осуществлении морской политики Российской Федерации в части НГО и ГМО.

К сожалению, впервые за годы существования Института в рамках ГОЗ на 2016 г. не предусмотрено выполнение научных исследований по вопросам НГО и ГМО ВМФ – профильного направления деятельности ОАО «ГНИНГИ» в интересах УНиО МО. В результате сложилась ситуация, при которой прерывается практика преемственности научных исследований, что ведет к отставанию от передовых технологий в данной области и опасности оттока узкопрофильных специалистов, восполнение которых впоследствии будет крайне затруднительно.

Выводы

Учитывая результаты деятельности ОАО «ГНИНГИ» и ключевую роль Института в реализации полномочий Министерства обороны РФ в сфере национальной морской деятельности в части научно-технической поддержки ее НГО, а также отсутствие в Министерстве обороны документа, реализующего положения Распоряжения Правительства РФ от 2 июля 2014 года № 1205-р в данной области, целесообразно разработать нормативный документ МО РФ, который бы определял статус ОАО «ГНИНГИ» как системообразующей научной организации, ответственной за разработку сбалансированной научно-технической политики в рассматриваемой области и за проведение научно-технической поддержки деятельности органов государственного и военного управления.

Таким образом, статус и уровень компетенции Института в Министерстве обороны может быть приведен в соответствие со сферой его ведения в проведении сбалансированной научно-технической политики в рассматриваемой области и в научно-технической поддержке деятельности органов государственного и военного управления в Министерстве обороны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 02.07.2014 г. № 1205-р «О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 20.08.2009 N 1226-р» (изменения, которые вносятся в перечень стратегических организаций, а также федеральных органов исполнительной власти, обеспечивающих реализацию единой государственной политики в отраслях экономики, в которых осуществляют деятельность эти организации) // Consultant.ru›document/cons_doc_LAW_165358/
2. ФЗ от 31.07.1998 г. № 155-ФЗ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации».
3. ФЗ от 30.04.1999 г. № 81-ФЗ «Кодекс торгового мореплавания».
4. Основы политики РФ в области военно-морской деятельности (Утверждены Указом Президента РФ от 4.03.2000 г.).
5. Указ Президента РФ «Вопросы Министерства обороны РФ» от 16.08.2004 г.
6. Военная доктрина Российской Федерации (Утверждена Указом Президента РФ от 25.12.2014 г.).
7. «Основы государственной политики Российской Федерации в области военно-морской деятельности на период до 2020 года».

ON THE ROLE AND PLACE OF «GNINGI» OJSC IN SOLVING THE SCIENTIFIC PROBLEMS OF SUPPORT FOR THE MARITIME ACTIVITIES SAFETY OF THE RUSSIAN FEDERATION

V. P. Keondjian, A. F. Zenkov («GNINGI» OJSC)

The information about the results of the «GNINGI» OJSC activities, taking into consideration its status and sphere of activities at present is presented. The state and main priority directions of the scientific activities are evaluated for the nearest time in prospect.

НАВИГАЦИЯ

УДК 629.05

МОДЕЛЬ ОШИБОК БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Д. С. СИЛАНТЬЕВ
(НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА»)

В статье представлена разработанная модель ошибок бесплатформенной инерциальной навигационной системы летательного аппарата на основе трех акселерометров и трех датчиков угловых скоростей, а также изложен алгоритм ее формирования. Представлена структурная схема такой системы. Приведен пример решения практической задачи с использованием разработанной модели.

В процессе полета летательного аппарата (ЛА) необходимо определять в инерциальной (неподвижной в инерциальном пространстве) системе координат (СК) шесть параметров движения его центра масс: три координаты и три составляющие вектора скорости. Во многих случаях требуется решать эту задачу автономно посредством инерциальной навигационной системы. Несмотря на известные достоинства инерциальных навигационных систем с гиростабилизированной платформой, их использование зачастую невозможно из-за больших массы и габаритов, а также большого энергопотребления. Поэтому в последнее время все большее распространение получают бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС). От точности решения задачи навигации зависит точность решения и других задач управления движением ЛА, в частности, задачи наведения. Влияние различных ошибок БИНС на точность определения параметров движения центра масс ЛА может быть успешно оценено при наличии соответствующей модели. Известные модели [1, 2] не позволяют оценить ошибки БИНС при определении параметров движения ЛА, полет которого рассматривается в неподвижной в инерциальном пространстве СК.

Значения параметров движения центра масс ЛА могут быть получены путем решения основного уравнения инерциальной навигации:

$$\dot{\boldsymbol{V}}_{\text{инерц}} = \dot{\boldsymbol{W}}_{\text{инерц}} + \boldsymbol{g}_{\text{инерц}}(\boldsymbol{R}_{\text{инерц}}), \qquad (1)$$

где $\dot{\boldsymbol{V}}_{\text{инерц}}$ – вектор истинного ускорения ЛА, проецируемый на оси инерциальной системы координат;

$\dot{\boldsymbol{W}}_{\text{инерц}}$ – вектор кажущегося ускорения ЛА, проецируемый на оси инерциальной СК;

$\boldsymbol{g}_{\text{инерц}}(\boldsymbol{R}_{\text{инерц}})$ – вектор ускорения силы тяготения, который зависит от радиуса-вектора $\boldsymbol{R}_{\text{инерц}}$ и проецируется на оси инерциальной СК;

$\boldsymbol{R}_{\text{инерц}}$ – радиус-вектор положения ЛА, проецируемый на оси инерциальной СК.

При определении $\boldsymbol{R}_{\text{инерц}}$ считается, что его начало расположено в центре Земли.

Уравнение (1) можно записать в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{V}}_{\text{инерц}} = \dot{\boldsymbol{W}}_{\text{инерц}} + \boldsymbol{g}_{\text{инерц}}(\boldsymbol{R}_{\text{инерц}}), \\ \dot{\boldsymbol{R}}_{\text{инерц}} = \boldsymbol{V}_{\text{инерц}}, \end{cases} \tag{2}$$

интегрирование которой дает искомые параметры движения ЛА – $\boldsymbol{R}_{\text{инерц}}$ и $\boldsymbol{V}_{\text{инерц}}$.

В БИНС исходная информации о линейных и угловых параметрах движения ЛА поступает с трех акселерометров и трех датчиков угловых скоростей (ДУС), которые жестко крепятся на корпусе ЛА [1]. Так как информация о составляющих вектора кажущегося ускорения ЛА формируется в связанной СК, то необходимо пересчитать значения этих составляющих из связанной в инерциальную СК. Математически это можно записать в следующей форме:

$$\dot{\boldsymbol{W}}_{\text{инерц}} = \boldsymbol{A} \cdot \dot{\boldsymbol{W}}, \tag{3}$$

где $\boldsymbol{A}$ – матрица перехода от связанной СК к инерциальной СК;

$\dot{\boldsymbol{W}}$ – вектор кажущегося ускорения ЛА с проекциями на оси связанной СК.

Матрица $\boldsymbol{A}$ имеет вид:

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{13} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \tag{4}$$

где a_{ij} – значения направляющих косинусов.

Искомая матрица направляющих косинусов (4) удовлетворяет дифференциальному уравнению [3]:

$$\dot{\boldsymbol{A}} = \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{\Omega}, \tag{5}$$

где $\boldsymbol{\Omega}$ – матрица вида:

$$\boldsymbol{\Omega} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix}. \tag{6}$$

Элементами матрицы (6) являются проекции $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ вектора угловой скорости ЛА $\boldsymbol{\omega}$ на оси связанной СК. Решение уравнения (5) можно представить следующим образом:

$$\boldsymbol{A}(t) = \boldsymbol{A}(0) + \int_0^t \boldsymbol{A}(t)\boldsymbol{\Omega}(t)dt\,. \tag{7}$$

Учитывая особенности снятия исходной информации в БИНС и необходимость ее преобразования в соответствии с выражением (3), система (2) может быть записана в виде:

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{V}}_{\text{инерц}} = \boldsymbol{A}\cdot\dot{\boldsymbol{W}} + \boldsymbol{g}_{\text{инерц}}(\boldsymbol{R}_{\text{инерц}}), \\ \dot{\boldsymbol{R}}_{\text{инерц}} = \boldsymbol{V}_{\text{инерц}}, \\ \dot{\boldsymbol{A}} = \boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{\Omega}. \end{cases} \tag{8}$$

На рис. 1 приведена структурная схема, поясняющая принцип функционирования БИНС.

Погрешность определения значений текущих параметров движения центра масс ЛА зависит от погрешностей измерителей, методических погрешностей и погрешностей вычислений. С учетом наличия указанных погрешностей система (8) имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{V}}_{\text{инерц}} + \Delta\dot{\boldsymbol{V}}_{\text{инерц}} = (\boldsymbol{A} + \Delta\boldsymbol{A})\cdot(\dot{\boldsymbol{W}} + \Delta\dot{\boldsymbol{W}}) + (\boldsymbol{g}_{\text{инерц}}(\boldsymbol{R}_{\text{инерц}}) + \Delta\boldsymbol{g}_{\text{инерц}}(\Delta\boldsymbol{R}_{\text{инерц}})), \\ \dot{\boldsymbol{R}}_{\text{инерц}} + \Delta\dot{\boldsymbol{R}}_{\text{инерц}} = \boldsymbol{V}_{\text{инерц}} + \Delta\boldsymbol{V}_{\text{инерц}}, \\ \dot{\boldsymbol{A}} + \Delta\dot{\boldsymbol{A}} = (\boldsymbol{A} + \Delta\boldsymbol{A})\cdot(\boldsymbol{\Omega} + \Delta\boldsymbol{\Omega}), \end{cases} \tag{9}$$

где знак «Δ» обозначает ошибку определения значения соответствующего параметра, $\Delta\boldsymbol{A}$ и $\Delta\boldsymbol{\Omega}$ – матрицы вида:

$$\Delta\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} \Delta a_{11} & \Delta a_{12} & \Delta a_{13} \\ \Delta a_{21} & \Delta a_{22} & \Delta a_{23} \\ \Delta a_{13} & \Delta a_{32} & \Delta a_{33} \end{bmatrix}, \qquad \Delta\boldsymbol{\Omega} = \begin{bmatrix} 0 & -\Delta\omega_z & \Delta\omega_y \\ \Delta\omega_z & 0 & -\Delta\omega_x \\ -\Delta\omega_y & \Delta\omega_x & 0 \end{bmatrix}.$$

Погрешности акселерометров и датчиков угловых скоростей (ДУС), являющиеся элементами вектора $\Delta\dot{\boldsymbol{W}}$ и матрицы $\Delta\boldsymbol{\Omega}$ соответственно, зависят от многих факторов, включая смещение «нуля» и нелинейность характеристики, неортогональность установки, небаланс.

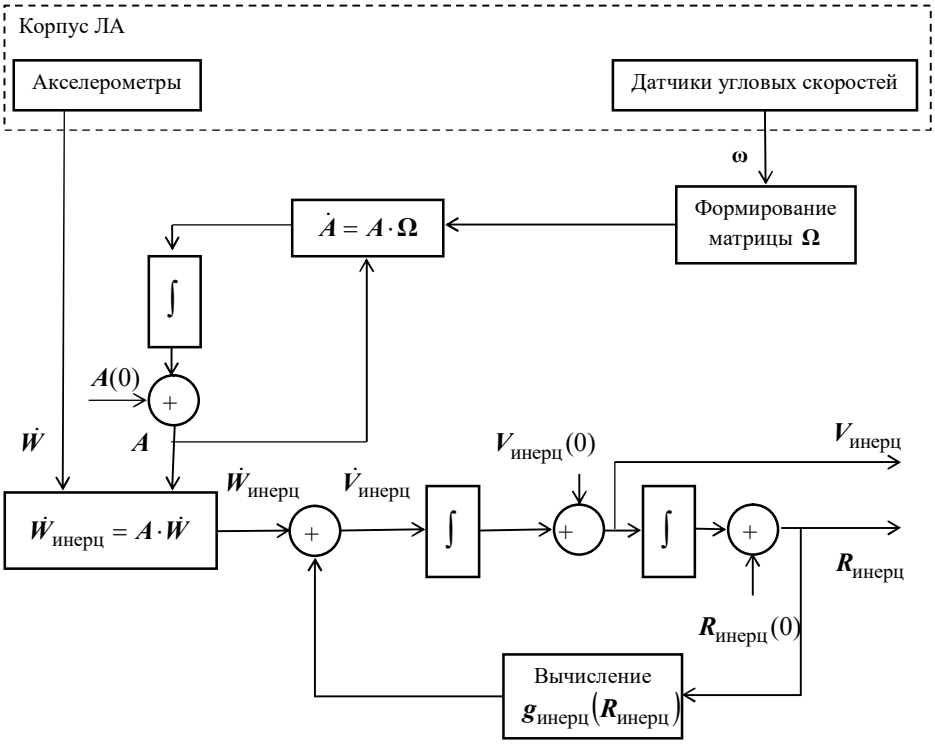


Рис. 1. Структурная схема БИНС

Если в системе (9) раскрыть скобки и из каждого уравнения этой системы вычесть соответствующее уравнение системы (8), то получим систему, определяющую зависимости погрешностей решения навигационной задачи от погрешностей измерителей и вычислений:

$$\begin{cases} \Delta\dot{V}_{инерц} = A \cdot \Delta\dot{W} + \Delta A \cdot \dot{W} + \Delta A \cdot \Delta\dot{W} + \Delta g_{инерц}(\Delta R_{инерц}), \\ \Delta\dot{R}_{инерц} = \Delta V_{инерц}, \\ \Delta\dot{A} = A \cdot \Delta\Omega + \Delta A \cdot \Omega + \Delta A \cdot \Delta\Omega. \end{cases} \tag{10}$$

Поскольку погрешности достаточно малы, то их произведения имеют второй порядок малости. Поэтому можно полагать, что справедливы равенства:

$$\begin{aligned} \Delta A \cdot \Delta\dot{W} &= 0, \\ \Delta A \cdot \Delta\Omega &= 0. \end{aligned} \tag{11}$$

Используя выражения (5), (10) и (11), получим модель ошибок БИНС, которая имеет вид:

$$\begin{cases} \Delta\dot{\boldsymbol{V}}_{\text{инерц}} = \boldsymbol{A}\cdot\Delta\dot{\boldsymbol{W}} + \Delta\boldsymbol{A}\cdot\dot{\boldsymbol{W}} + \Delta\boldsymbol{g}_{\text{инерц}}(\Delta\boldsymbol{R}_{\text{инерц}}), \\ \Delta\dot{\boldsymbol{R}}_{\text{инерц}} = \Delta\boldsymbol{V}_{\text{инерц}}, \\ \Delta\dot{\boldsymbol{A}} = \boldsymbol{A}\cdot\Delta\boldsymbol{\Omega} + \Delta\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{\Omega}, \\ \dot{\boldsymbol{A}} = \boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{\Omega}. \end{cases} \tag{12}$$

В скалярном виде система (12) содержит 24 дифференциальных уравнения.

На основе полученной модели оценим ошибки БИНС для ЛА, совершающего полет в плоскости *XY* инерциальной СК при составляющих погрешностях измерителей, представленных в таблице. При этом будем полагать, что в начальный момент времени ось *X* связанной СК совпадает с осью *Y* инерциальной СК, а ось *Y* связанной СК направлена в сторону, противоположную направлению оси *X* инерциальной СК.

Погрешности измерителей

Тип ошибки измерителя	Значение ошибки	
	акселерометра	ДУС
Смещение «нуля»	$5\cdot10^{-2}$ м/с^2	5 град/час.
Коэффициент нелинейности, %	0,5	0,5
Коэффициент неортогональности, угл. мин.	5	5
Коэффициент небаланса, град/час/*g*	–	5

Изменения кажущихся ускорений ЛА по осям *X* и *Y* связанной СК и его угловой скорости относительно оси *Z* связанной СК от времени полета показаны на рис. 2 и рис. 3 соответственно и являются исходными данными для модели ошибок БИНС (12). Единицы измерения ускорений – м/с^2, времени – с, угловой скорости – град/с. Эти данные получены путем моделирования полета ЛА.

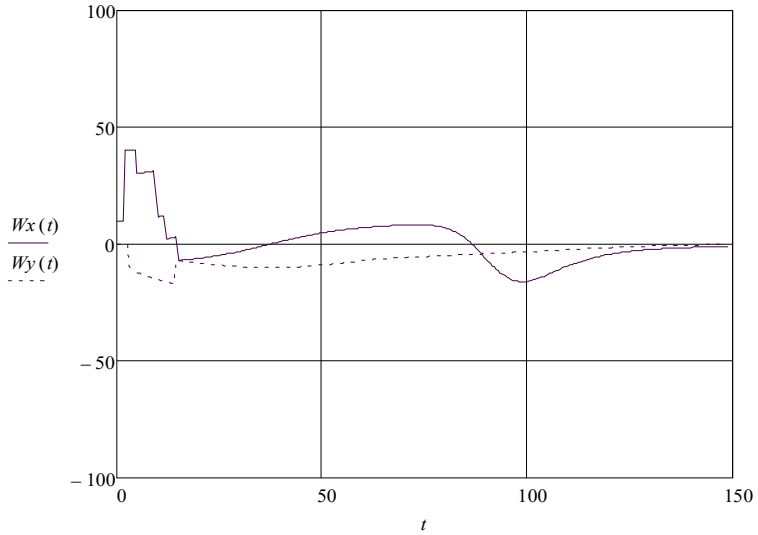


Рис. 2. Графики изменения кажущихся ускорений ЛА по осям *X* и *Y* связанной СК

Результаты моделирования приведены на рис. 4, 5. На рис. 4. представлены графики изменения ошибок определения координат ЛА по осям *X* и *Y* инерциальной СК от времени полета. На рис. 5. – графики изменения ошибок определения проекций вектора скорости ЛА на оси *X* и *Y* инерциальной СК от времени полета. Единицы измерения ошибок определения координат ЛА – м, ошибок определения проекций вектора скорости ЛА – м/с^2, времени – с.

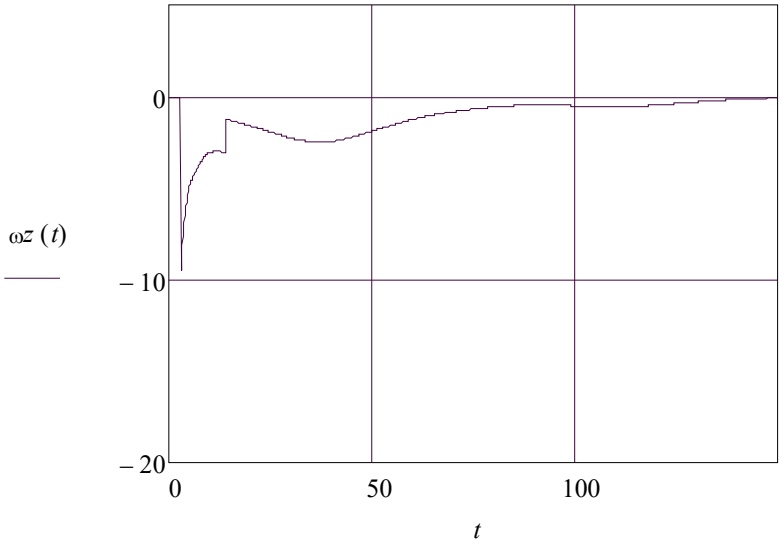


Рис. 3. График изменения угловой скорости ЛА относительно оси *Z* связанной СК

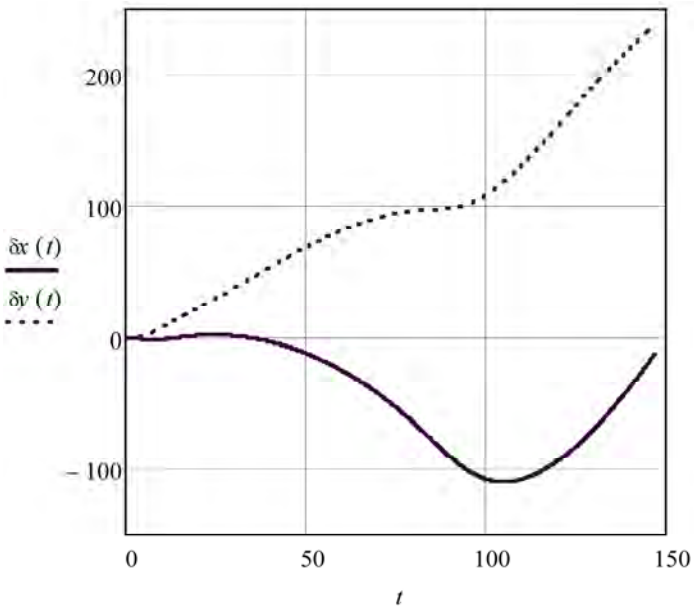


Рис. 4. Графики изменения ошибок определения координат ЛА по осям *X* и *Y* связанной СК

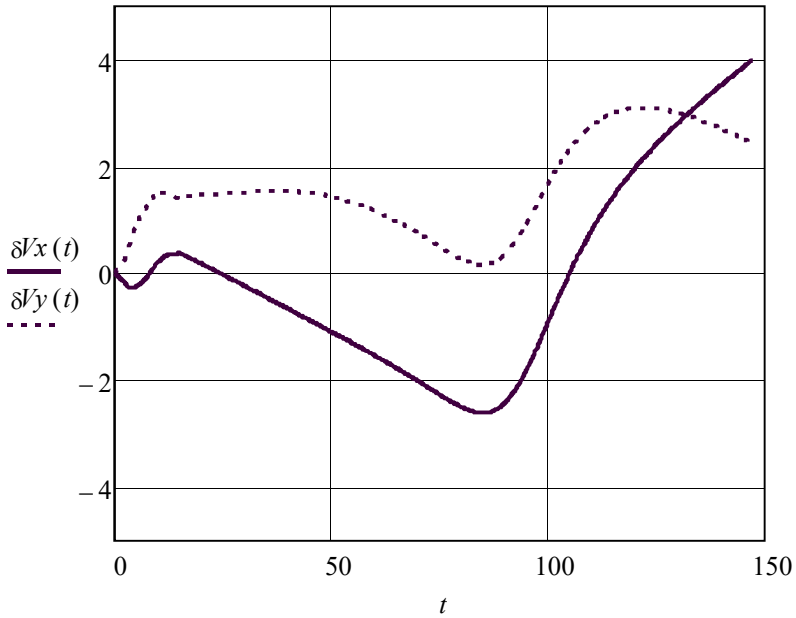


Рис. 5. Графики изменения ошибок определения проекций вектора скорости ЛА на оси *X* и *Y* связанной СК

Таким образом, разработанная модель ошибок БИНС позволяет проводить оценивание погрешностей определения параметров движения центра масс ЛА в инерциальной СК для различных исходных данных: при использовании акселерометров и ДУС различного класса точности, а также при реализации различных траекторий полета ЛА. Результаты оценивания позволяют принять решение об использовании той или иной комплектации БИНС в различных условиях применения по назначению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / В. В. Матвеев, В. Я. Распопов / Под общ. ред. В. Я. Распопова. – СПб: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор», 2009. – 280 с.
2. Доронин Д. В., Донченко А. А., Шевцов С. Н. Функционирование математической модели ошибок бесплатформенной инерциальной навигационной системы при одновременной навигации, динамическом построении и обработке данных многоструктурных систем управления в рамках разработки алгоритмов интегрированной системы навигации летательного аппарата с использованием GPS/ГЛОНАСС технологий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 4(5). – С. 1363–1367.
3. Системы управления ракет-носителей. Часть 1: учебное пособие / В. В. Бурмистров, А. И. Вайнтрауб, А. А. Лукашевский, С. Б. Силантьев, С. С. Скрябин, В. А. Хорошилов. – СПб: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2014. – 143 с.

MODEL OF ERRORS FOR STRAPDOWN INERTIAL NAVIGATION SYSTEM OF A FLIGHT VEHICLE

D. S. Silantyev (The Research Institute of Shipbuilding and Armament of the Navy, The Navy Educational-Scientific Center «The Naval Academy»)

The developed model of errors for the strapdown inertial navigation system of a flight vehicle, based on three accelerometers and three angular velocity sensors is described. The algorithm of its formation as well as the structural scheme of such a system are presented. An example of solving the practical task using the developed model is given.

УДК 656.6.08

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПУТЕЙ ДВИЖЕНИЯ КОРАБЛЕЙ И СУДОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

П. Г. БРОДСКИЙ, Ю. В. РУМЯНЦЕВ,
А. Н. ЛУКИН (ОАО «ГНИНГИ»)

В статье рассмотрены особенности проектирования путей движения кораблей и судов, связанные с изменением Международной морской организацией (ИМО) стандартов точности судовождения и необходимостью учета требований руководящих документов ВМФ по обеспечению навигационной безопасности плавания в экстремальных гидрометеорологических условиях. Изложены предложения по совершенствованию нормативной базы по проектированию мер обеспечения навигационной безопасности.

Существующая система установления путей движения морских судов в современной трактовке сформировалась во второй половине XX века. Она представляет собой совокупность организационно-нормативных и технико-технологических мер, осуществляемых в интересах обеспечения безопасности мореплавания.

Установление путей движения органически связано с понятием «безопасность мореплавания», которое является весьма широким, поскольку включает:

– профессиональную подготовку судоводителей;
– техническую исправность технических средств навигации и связи;
– наличие откорректированных карт и пособий;
– квалифицированный учет навигационно-гидрографических и гидрометеорологических условий района плавания;
– четкую организацию штурманской службы и несения вахты;
– строгое выполнение требований МППСС-72 и других нормативных документов.

В состав систем, обеспечивающих безопасность мореплавания, входит значительное число технических систем, требования к которым определяются положениями как международной, так и отечественной нормативных баз, которые имеют свои различия. Поэтому представляется актуальным рассмотрение сформировавшихся особенностей решения задач проектирования путей движения кораблей и судов.

Прежде всего, необходимо остановиться на отличиях в трактовке понятия *навигационная аварийность* для кораблей ВМФ и коммерческого флота.

В силу особенностей управления и организации несения вахты на коммерческих судах в понятие их навигационной аварийности включаются такие происшествия, которые на кораблях ВМФ трактуются как происшествия, связанные с *ошибками управления* кораблем или судном. В связи с этим для дальнейшего рассмотрения отметим некоторые отличия в трактовке понятия *навигационная аварийность* для кораблей ВМФ и коммерческого флота, исходя из положений и требований существующей в данной области нормативной базы, обобщения опыта и статистической информации.

Одним из основных методов обеспечения навигационной безопасности является установление путей движения судов. При этом под *навигационной безопасностью* при отсутствии гостированного понятия условимся понимать *гарантированную степень исключения навигационных аварий и происшествий*.

Требованиями существующей нормативной базы регламентация действий субъектов, занятых в этом процессе, трактуется следующим образом.

В соответствии с принятыми положениями [1] и имплементированными российскими законами и нормативными документами целью «установления путей движения судов является повышение безопасности плавания в районах, где сходятся потоки движения судов, и в районах с большой интенсивностью движения или где свобода движения судов затруднена ограниченным морским пространством, наличием препятствий, ограниченными глубинами или неблагоприятными метеорологическими условиями». При этом в соответствии с п. 3.7 этого документа «выбор и разработка систем установленных путей является обязанностью в первую очередь заинтересованного правительства». Согласно Федеральному закону [2] морские коридоры и схемы разделения движения в территориальном море разрабатываются федеральным органом исполнительной власти по обороне, утверждаются Правительством Российской Федерации и публикуются в «Извещениях мореплавателям».

Несмотря на это, мировая статистика свидетельствует, что наибольшее число аварий и происшествий происходит именно в территориальном море, в условиях интенсивного судопотока, ограничения в свободе маневрирования, в районах с большим количеством опасностей, на подходах к портам и их акватории и пр. Информация о характере аварий, базирующаяся на анализе навигационных происшествий со всеми категориями судов за период с 1995 г. по 2005 г., представлена на рис. 1, 2.

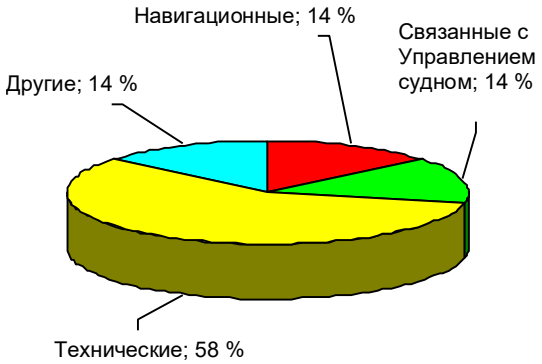


Рис. 1. Распределение аварийности морского флота по характеру аварий

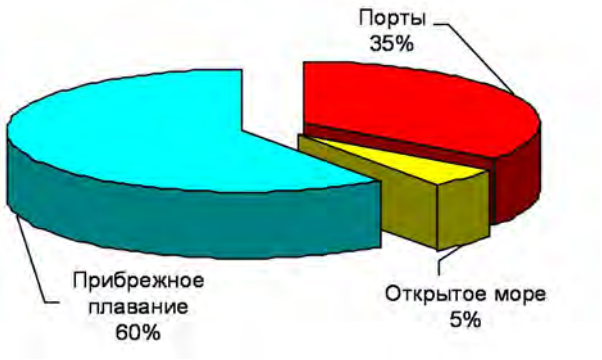


Рис. 2. Распределение аварий по районам плавания судов

Из диаграммы на рис. 1 видно, что практически половина аварий и катастроф является следствием причин именно «технологического» характера, т. е. связанных с управлением судном в стесненных условиях и на акватории порта. К такого рода авариям относятся навигационные аварии (14 %), а также аварии, связанные с управлением судами (14 %), и другие (14 %) (всего около 42 % случаев). Технические аварии, составляющие 58 % всех случаев, как правило, тоже можно отнести к «технологическим», поскольку в основе их лежит несоблюдение правил и регламентов эксплуатации или неучтенный естественный износ оборудования.

Приведенные данные аварийности показывают необходимость определения безопасных в навигационном отношении условий для проектируемых путей движения судов, вызванных значительным развитием в последние годы инфраструктуры морского коммерческого флота и системы базирования кораблей ВМФ, что и привело к резкой интенсификации проектных работ на подходах к портам и их акватории. При этом проектирование новых путей движения объясняется необходимостью учета изменений конфигураций причального фронта, строительством или реконструкцией существующих гидротехнических сооружений, появлением кораблей и судов новых типов и проектов, изменением компоновки акватории и пр.

В общем случае проектирование новых путей движения включает три основных этапа:

– оценку навигационной безопасности расчетных судов в изменившихся условиях, разработку вариантов предлагаемых путей движения;

– разработку проектов средств навигационного оборудования (при необходимости) или их реконструкцию в целях обеспечения гарантированной навигационной безопасности на проектируемых путях движения;

– разработку или корректировку действующих правил или режимов плавания кораблей и судов на подходах и акватории, согласование предложений с органами военного управления или администрацией портов.

Каждый из этапов определяет самостоятельный элемент безопасных в навигационном отношении условий на проектируемых путях движения судов, что осуществляется с учетом следующих положений.

В рамках *первого* этапа проектирования путей движения обязательно выполняется оценка степени навигационно-гидрографической изученности района, оценка гидрометеофакторов, влияющих на навигационную безопасность плавания (НБП), а также их учет при проектировании. Кроме того, согласно требованиям Международ-

ной гидрографической организации (МГО) при подготовке спроектированных путей движения должны быть выполнены работы в соответствии со стандартами, приведенными в Специальной публикации № 44 МГО. Выполнение этих работ гарантирует «обеспечение точности картографируемых глубин в полосах движения предполагаемой или изменяемой системы разделения движения, на глубоководном пути или в других системах установленных путей».

Необходимость учёта требований международных документов по обеспечению НБП авторы выделяют как «первую» особенность проектирования в современных условиях.

С декабря 2011 г. действуют новые стандарты точности судовождения, установленные резолюцией ИМО А.1046(27) от 20 декабря 2011 г. – «Всемирная радионавигационная система» (ВРНС) [3]. Эта резолюция отменила действующую с 2003 г. резолюцию ИМО А.953(23), которая в свою очередь отменила «Стандарты точности судовождения», установленные резолюцией ИМО А.529(13) от 17 ноября 1983 г.

Основные эксплуатационные требования к ВРНС описаны в документе [3]. ВРНС обеспечивает точность судовождения 100 м и 10 м соответственно при плавании в океанских водах и на входах в порты, подходах к портам и в прибрежных водах с вероятностью $P = 0{,}95$, что не обеспечивается визуальными и радиолокационными способами определения места.

Однако отказываться от визуальных средств навигационного оборудования (СНО) в настоящее время преждевременно по причинам, изложенным в работе [4]. Кроме того, действующий нормативный документ по проектированию СНО в РФ – ИНО-2000 [5] – содержит прежние стандарты точности судовождения.

Таким образом, первостепенным при обеспечении НБП является определение безопасных в навигационном отношении условий на проектируемых путях движения судов. Для этого в работе [6] предлагается ввести понятие «область навигационной безопасности плавания» (ОНБП), а также тесно связанное с ним понятие «навигационная опасность».

В методических документах ВМФ по оценке навигационной безопасности плавания кораблей и судов ВМФ ИНО-2000, а также в международных документах [7] приведено следующее определение понятия навигационной опасности: *«навигационной опасностью считается всякий признанный или нанесенный на карту элемент, либо граница, которые могут представлять или очерчивать опасность для судна, либо ограничивать район плавания»*. Таким образом, под ОНБП будем понимать *акваторию, свободную от навигационной опасности.*

Проектирование путей движения и определение основных параметров НБП для расчета ОНБП производится на базе имеющих статус ГОСТов нормативных документов [8, 9], которые содержат методики расчета навигационной (безопасной) глубины и навигационной (безопасной) ширины. Так, в соответствии с документом [8] производится компоновка акватории пункта базирования (предпортовая зона, операционная акватория, конфигурация причальной линии, входной рейд, разворотное место, подходные каналы и пр.), где главным показателем являются расчеты навигационной глубины.

Расчет навигационной глубины производится по формуле:

$$H_{н} = T + Z_{б} + Z_{в} + Z_{с} + Z_{о},$$

где T – осадка расчетного судна, м;

$Z_{б}$ – минимальный навигационный запас (обеспечивающий безопасность и управляемость судна при движении), м;

$Z_{в}$ – волновой запас (на погружение оконечности судна при волнении), м;

$Z_{с}$ – скоростной запас (на изменение посадки судна на ходу по сравнению с посадкой судна на стоянке при спокойной воде), м;

$Z_{о}$ – запас на крен и дифферент судна вследствие неправильной его загрузки, перемещения груза, а также при циркуляции судна, м.

Поправки к осадке расчётного судна учитывают:

- габаритные размерения расчетного судна;
- расчетное значение волны 3 %-ой обеспеченности;
- направление волнения;
- скорость расчетного судна при движении по каналу;
- характеристику грунта;
- курс судна;
- скорость судна;
- крен и дифферент расчетного судна;
- заносимость проектируемого пункта, плотность и соленость морской воды.

Расчетное значение навигационной глубины позволяет определить ОНБП (рис. 3).

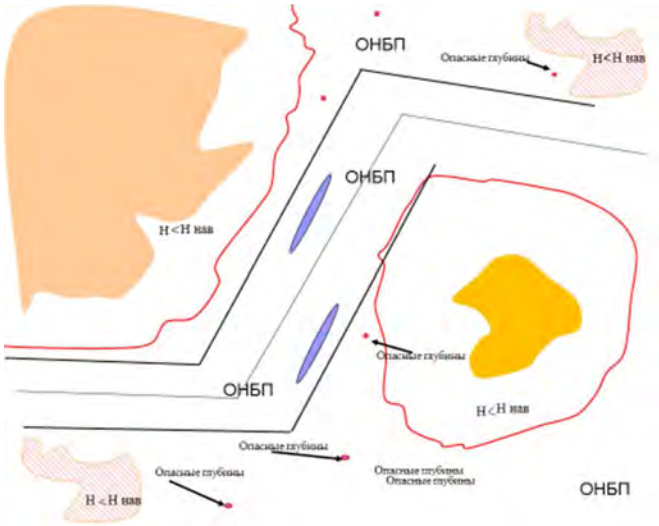


Рис. 3. Общий вид области навигационной безопасности плавания

На рис. 3 показан фрагмент двустороннего движения судов, представляющего наиболее распространенный вариант системы разделения движения линейного типа.

В Резолюции А.572(14) *система разделения движения* (*traffic separation scheme*) определяется как «система, разделяющая потоки судов, следующих в проти-

воположенных или почти противоположенных направлениях при помощи зоны или линии разделения, полос движения и других мер» [1]. При этом под *полосой движения* (*traffic lane*) понимается зона, в пределах которой установлено одностороннее движение. *Зона или линия разделения* (*Separation zone or line*) – это зона или линия, разделяющая движение судопотоков, следующих в противоположенных направлениях.

Учитывая состояние вопроса навигационной аварийности на коммерческом флоте, и, в частности, при движении в зонах разделения движения, вопросам безопасности посвящено достаточно много публикаций. К ним можно отнести работу [10].

Для анализа безопасности судоходства в узкостях и на подходах к портам, где пространство для маневрирования ограничено, предпочтительнее использовать критерий, разработанный специалистами ДВВИУ [11]. Он основан на учете соотношения величины критической дистанции со средним интервалом между судами, входящими в состав судопотока.

Величина критического интервала рассчитывается по формуле:

$$D_{\text{Кр}} = 2M_{\text{пр}} + d \ ,$$

где $M_{\text{пр}}$ – предельная погрешность определения места судна (утроенная средняя квадратическая погрешность), а d – радиус зоны опасного сближения судна в условиях пониженной видимости.

Предлагается разделение движения в таких районах считать целесообразным, если $D_{\text{Кр}} > R$, где R – средний интервал между судами.

Всестороннее исследование проблемы выбора ширины зоны разделения было выполнено во второй половине XX века группой японских ученых, которые опубликовали полученные ими результаты в 1979 г. [12].

На этапе выбора ширины зоны разделения было определено распределение траекторий судов в пределах полос движения. Установлено, что при коэффициенте множественной корреляции $r = 0{,}992$ распределение траекторий судов по ширине полосы движения следует нормальному закону при стандартном отклонении σ:

$$\sigma = -9{,}485 + 0{,}106W + 3{,}329\,\lambda,$$

где W – ширина пути, м;

λ – интенсивность судопотока, судов/час.

При этом среднее значение величины отклонения X от центра двустороннего пути составляло около 10 % от ширины пути, однако если осевая линия была обозначена буями, то это значение возрастет до 20 % от ширины пути.

Из условия отсутствия наложения друг на друга траекторий встречных судопотоков ширина зоны разделения W_e определяется выражением:

$$W_e = 2(3\sigma - kW),$$

где $k = 0{,}1$, если осевая линия не ограждена буями, и $k = 0{,}2$, если ограждена.

Подставив в эту формулу приведенное выше выражение для σ, можно получить формулу для расчета ширины зоны разделения в зависимости от ширины двустороннего пути и интенсивности движения. На рис. 4 показаны графики этой зависимости для ряда значений интенсивности движения.

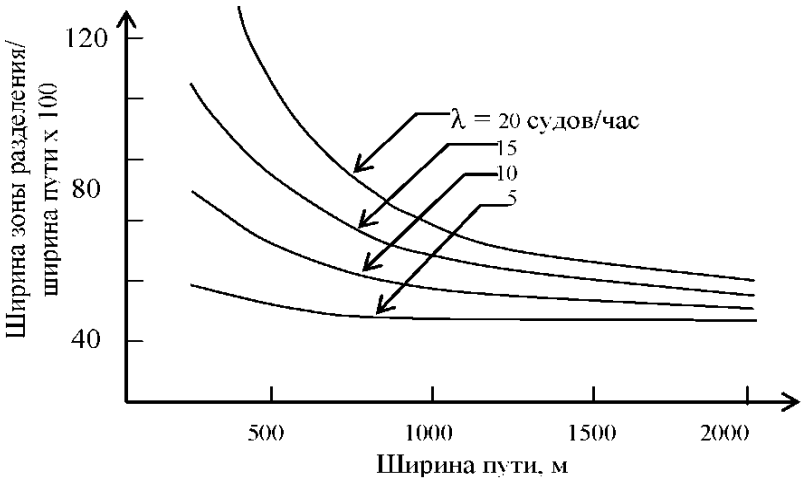


Рис. 4. Результаты расчета ширины зоны разделения в зависимости от ширины двустороннего пути и интенсивности движения судов

В настоящее время руководящими документами ВМФ установлено, что допустимая точность плавания не должна превышать половины ширины *B* фарватера (рис. 5).

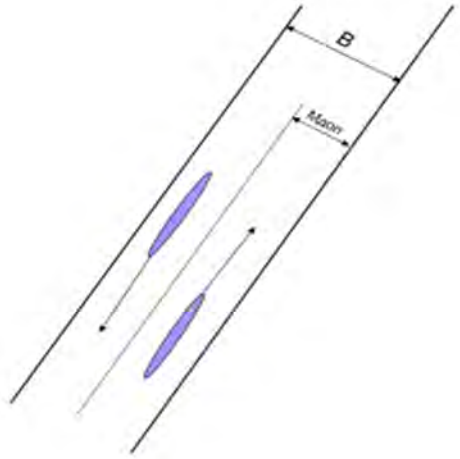


Рис. 5. К вопросу о допустимой точности плавания при двустороннем движении

Суда должны двигаться по своей (правой) стороне движения (по правой половине фарватера) и иметь погрешность счислимого места ($P = 0{,}95$), не превышающую половину ширины фарватера *B*.

Несколько сложнее обстоят дела при проектировании канала, но производство расчетов можно осуществить следующим образом.

В этом случае в соответствии с нормами проектирования [9] производится расчет как навигационной глубины $H_{нав}$, так и навигационной ширины канала $B_{нав}$. Принцип расчета $H_{нав}$ в целом соответствует ранее представленному, однако в расчет включаются дополнительные параметры и факторы, указанные ниже. Отсчетный уровень глубины проектируемого канала назначается с обеспеченностью от 98 до 99,5 %.

В отличие от ранее приведенной методики [8] для портовой акватории расчет навигационной глубины канала $d_н$ (рис. 6) производится по формуле:

$$d_н = (T + \Delta T) + \sum Z_{0-3}\text{, м,}$$

где T – осадка расчетного судна, м;

ΔT – поправка на изменение осадки расчетного судна при плотности ρ (солености, +) воды в районе проектируемого канала, отличающейся от стандартной $\rho = 1025$=1025 кг/м^3, величина ΔT определяется по таблицам в документе [9];

$\sum Z_{0-3}$ – суммарный навигационный запас глубины, м.

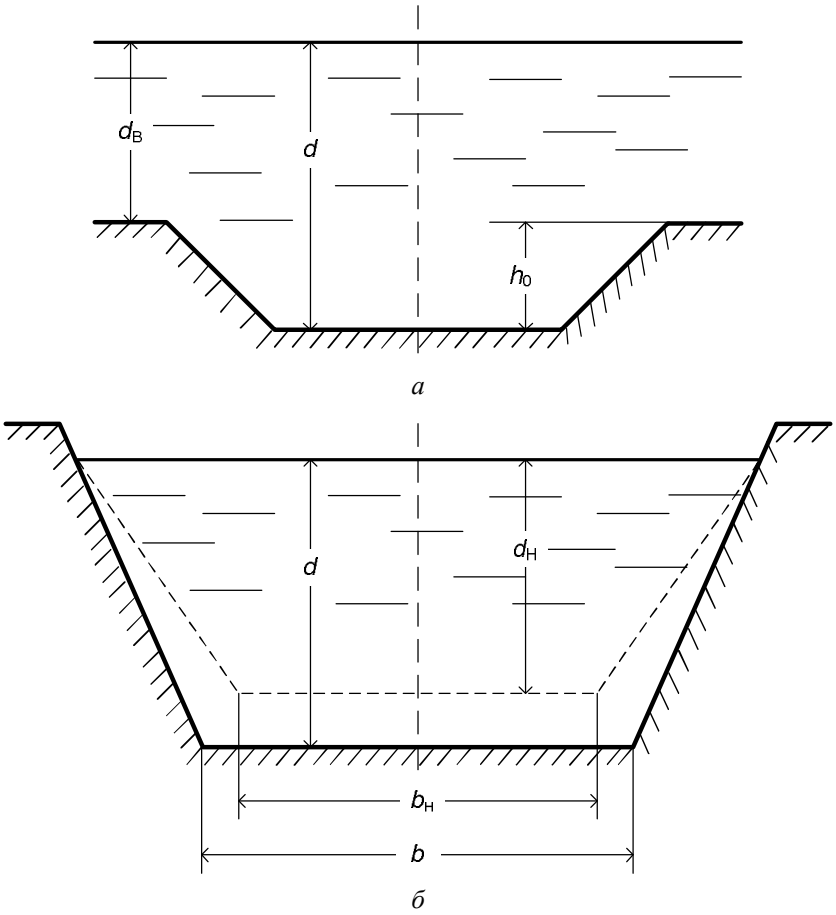


Рис. 6. Навигационная глубина для канала полного (*а*) и неполного (*б*) профиля

Суммарный навигационный запас глубины определяется по формуле

$$\sum Z_{0-3} = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_0 ,$$

где Z_1 – минимальный навигационный запас, необходимый для обеспечения управляемости судна, м;

Z_2 – волновой запас на погружение оконечности судна при волнении, м;

Z_3 – запас на изменение осадки судна на ходу на тихой воде по сравнению с осадкой без хода, м;

Z_0 – запас на крен судна, возникающий от воздействия расчетного ветра и гидродинамических сил на повороте, м.

Запас Z_3 для одиночного и расходящихся судов определяется по специальным графикам в зависимости от длины расчетного судна L , м, числа Фруда $Fr = \frac{\upsilon}{\sqrt{gL}}$, где υ, уз. – скорость расчетного судна (определяется по специальным номограммам).

Важнейшим является параметр $h_{3\%}$ – высоты волны 3 % обеспеченности в системе волн наиболее опасного направления в районе судового хода при действии расчетного ветра.

Скорость ветра принимается из условий управляемости судна и равняется 5υ.

Для каналов, расположенных севернее параллели 66°30′, а также для Берингова, Охотского морей и Татарского пролива при расчетных судах водоизмещением не более 20 тыс. т необходимо вводить поправку на увеличение осадки судна при обледенении, равную 0,1 м.

Расчет навигационной ширины канала $b_н$ выполняется в соответствии с формулой:

$$b_н = b_м + 2C \text{, м},$$

где $b_м$ – ширина маневровой полосы на уровне навигационной глубины, м;

$C = \frac{1}{2}B$ – навигационный запас ширины канала, учитывающий гидродинамическое взаимодействие судна с бровкой канала, м;

B – ширина расчетного судна по миделю, м.

Ширина маневровой полосы определяется по формуле:

$$b_м = B\bar{b}_0 K_\upsilon K_\omega K_A K_{\upsilon d} \text{, м},$$

где $\bar{b}_0$ (относительная ширина маневровой полосы) определяется в зависимости от курсового угла истинного ветра q_ω относительно оси канала и проекции вектора скорости течения на направление нормали к оси канала υ_q;

$K_\upsilon, K_\omega, K_A, K_{\upsilon d}$ – безразмерные коэффициенты, определяются по таблицам и специальным графикам [9].

При расчете $b_н$ производится учет точности определения места судна с использованием Приложения 3 в нормах проектирования [9], которое учитывает чувствительность створа или достижимую точность определения места.

Второй особенностью проектирования при обеспечении НБП в современных условиях является необходимость учитывать требования руководящих документов ВМФ по данному вопросу (т. е. обеспечению НБП). Обязательность этого условия объясняется следующим.

Рассмотрим вариант движения корабля по каналу с расчетной навигационной шириной $B_{расч}$ для одностороннего режима движения. Предположим наличие высокочувствительного створа по оси канала с ходовой частью в несколько километров и наличие зрительных СНО и хорошо очерченными берегами. Возможное положение корабля (судна) в этом случае представлено на рис. 7.

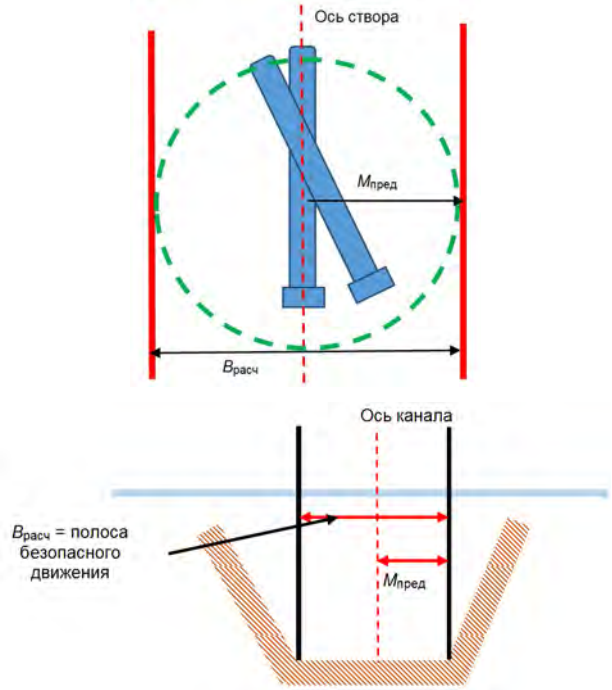


Рис. 7. Возможное положение судна на канале

Как следует из рисунка, предполагается, что методика расчета $B_{расч}$ [9] учитывает наличие определенного угла сноса от ветра и течения. Очевидно, что для этих условий полоса безопасного движения $B_{расч} = 2M_{пред}$.

Предполагается также наличие угла сноса при нахождении центра тяжести корабля или судна на оси створа. Кроме того, видно, что движение центра тяжести корабля производится строго по линии створов. Фактическое движение корабля отличается от расчетного.

В сложных метеоусловиях, ухудшении видимости или при других неблагоприятных условиях створ может не наблюдаться. Действия штурмана в этих случаях определяются руководящими документами по организации штурманской службы, в соответствии с которыми определение места в узкости проводится практически непрерывно и в основном – с использованием визуальных средств и радиолокации.

При плавании вблизи навигационных опасностей периодичность обсерваций сокращают до промежутков времени, позволяющих измерить навигационные параметры и проложить на карте не менее трех линий положения, нанести на карту и проанализировать обсервацию, оценить безопасность дальнейшего движения прежним курсом, выработать и доложить командиру корабля предложения по заблаговременному изменению курса (скорости) в целях безопасности, откорректировать курс, произвести запись в навигационном журнале (черновом навигационном журнале, записной книжке штурмана). Как видно из этих требований, при плавании в узкости необходимо учитывать время, необходимое для их физической реализации, причем за этот период текущая погрешность места не должна превысить допустимую.

Это условие обеспечения навигационной безопасности руководящими документами по проектированию каналов не предусмотрено.

Местоположение центра корабля, как определяют документы по обеспечению НБП, определяется не точкой, а *площадью круга* радиуса $M_{\text{тек}}$, описанного вокруг счислимого места корабля и определяемого по известной формуле [13]:

$$M_{\text{тек}} = \sqrt{M_{\text{о}}^2 + M_{\text{с}}^2},$$

где $M_{\text{о}}$ – радиальная средняя квадратическая погрешность последнего определения места;

$M_{\text{с}} = 0{,}7K_{\text{с}}\sqrt{t}$ – накопленная с момента последнего определения места погрешность счисления (при плавании менее 2 часов); в нашем случае для условий плавания корабля по каналу время t между обсервациями обозначим $\Delta t_{\text{обс}}$.

Расчет $\Delta t_{\text{обс}}$ при известном $M_{\text{д}}$ определяется по формуле [13]:

$$\Delta t_{\text{обс}} = \frac{\sqrt{M_{\text{д}}^2 - M_{\text{о}}^2}}{0{,}7K_{\text{с}}}.$$

Современные документы международного уровня предписывают выполнять оценку точности текущего места на уровне вероятности $P = 0{,}95$. Приведенные же выше требования российских документов используют как радиальные средние квадратические погрешности, так и предельные. Для нормирования вероятностных оценок может быть использована известная таблица [13].

Нормирование вероятностных оценок погрешностей места

P	0,950	0,99	0,993	0,997
$k_{\rho 2}$	1,73	2,15	2,23	2,41

Примечание. $k_{\rho 2}$ – коэффициент перевода средних квадратических погрешностей определения места на уровень вероятности, представленный в верхней строке таблицы.

Условием навигационной безопасности при прохождении кораблем канала является

$$M_{\text{тек}} < M_{\text{д}} = \frac{B_{\text{расч}}}{2}.$$

Данное условие может быть не всегда выполнимым по причинам, описанным выше, или из-за резкого изменения гидрометеоусловий, неисправности створов и пр. В экстремальных ситуациях ($\Delta t_{\text{обс факт}} \geq \Delta t_{\text{обс расч}}$) может сложиться ситуация, представленная на рис. 8.

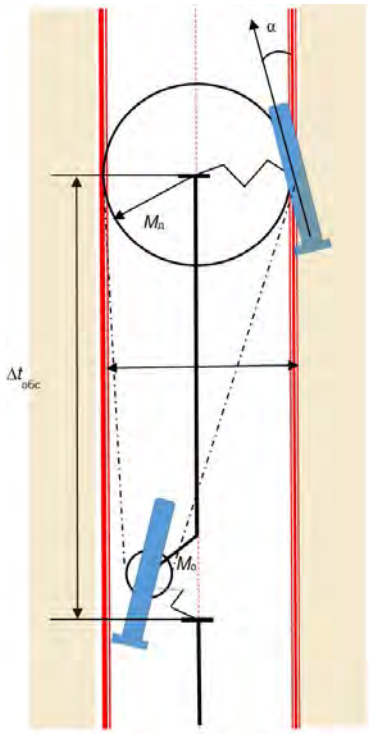


Рис. 8. Положение корабля на канале с $B_{расч}$ в экстремальных условиях

В связи с этим при проектировании каналов необходима консультация с практиками ВМФ, органами военного управления района и разумный обоснованный компромисс со строительными организациями с учетом реальных углов сноса α.

Третьей особенностью проектирования путей движения и обеспечения НБП в современных условиях является существующая межведомственная разобщенность и отсутствие нормативного (методического) межведомственного документа по проектированию путей движения судов.

Таким образом, с учетом описанных особенностей современной законодательной и нормативной базы при проектировании путей движения кораблей и судов изменились условия обеспечения навигационной безопасности как в открытом море, так и на подходах к портам и в узкостях. Это вызывает необходимость их учета при проведении проектных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общие положения об установлении путей движения судов, адм. № 9036. – ГУНиО МО СССР. – 1987. – 32 с.
2. Федеральный закон от 31 июля 1998 г. № 155-ФЗ «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации» (с изменениями от 22 апреля, 30 июня, 11 ноября 2003 г., 22 августа, 29 декабря 2004 г.), ст. 13, п. 5.
3. International Maritime Organization (IMO) Resolution A. 1046(27) Adopted on 30 November 2011 (Agenda item 9). – London, December 2011. – 5 p.
4. Бродский П. Г., Румянцев Ю. В., Лукин А. Н. Современные подходы к решению проблем обеспечения безопасности плавания судов и кораблей в Арктике // Навигация и гидрография. – 2015. – № 42. – С. 12–19.
5. Инструкция по навигационному оборудованию (ИНО-2000). – СПб.: ГУНиО, 2001. – 328 с.
6. Таратынов В. П. Судовождение в стесненных районах. – М.: Транспорт, 1980. – 128 с.
7. Стандарты точности судовождения. Резолюция ИМО А-529 (13) от 12.11.83 г. – Лондон, декабрь 1983. – 5 с.
8. Нормы технологического проектирования морских портов РД 31.3.05-97. – М.: Минтранс РФ, 1998. – 175 с.
9. Нормы проектирования морских каналов РД 31.31.47-88. – М.: В/О «МОРТЕХИНФОРМРЕКЛАМА», 1988. – 39 с.
10. Таратынов В. В. Целесообразность разделения морских путей // Морской флот. – 1969. – № 9. – С. 19–20.
11. Лентарев А. А. Морские районы систем обеспечения безопасности мореплавания. – Владивосток: Изд. ГМУ, 2004. – 119 с.
12. Hara K., Kiratani H., Inoue K. A Statistical Model for Determining the Width of a Separation Zone at Encounter Routes with Crossing Traffic Int. Congr. // Man and Navigation. – 1979. – Vo. 2. – P. 85–91.
13. Груздев Н. М. Навигационная безопасность плавания. СПб.: ГУНИО, 2002. – 224 с.

SPECIFIC FEATURES OF DESIGNING THE SAILING ROUTES SHIPS AND VESSELS UNDER THE PRESENT-DAY CONDITIONS.

P. G. Brodsky, Y. V. Rumyantsev,
A. N. Lukin («GNINGI», OJSC)

The specific features of designing the sailing routes of ships and vessels connected with the change of IMO standards for ship navigation accuracy and the necessity to take into consideration the Navy guiding documents for provision of navigation safety under the extreme hydrometeorological conditions , are considered. The suggestions for improvement of the normative base during the design process are presented. The organizational-logical scheme for their development is shown.

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

УДК 528.92

ВЕРОЯТНОСТНО-КОМБИНАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ИМИТАЦИИ ТУРБУЛЕНТНОЙ ДИФФУЗИИ ПРИМЕСИ В ОКЕАНЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАЧ ВМФ

Ю. Н. ЖУКОВ
(ОАО «ГНИНГИ)

Приведена модель имитации турбулентной диффузии примеси в океане, включающая имитацию двух механизмов турбулентной диффузии: размывания облака примеси и его кластеризацию.

В деятельности ВМФ встречаются многочисленные задачи, в которых требуется оценка влияния динамики океанских вод на находящиеся в них предметы. К ним относятся, например, задачи рассеивания свободно плавающих гидроакустических буев и мин, задачи оценки скорости рассеивания кильватерного следа ПЛ или оценки вероятности обнаружения ПЛ по кильватерному следу. К ним же следует отнести и разнообразные экологические задачи, определяемые «Правилами охраны природной среды в Военно-Морском Флоте» (ПОПС-90) [1]. Выработка тактических схем и оценка эффективности решения этих задач требует включения в гидрометеорологическое обеспечение (ГМО) ВМФ методов и характеристик описания изменчивости динамики океана. Одним из возможных способов ГМО таких задач ВМФ могут служить методы имитации турбулентной диффузии океанских вод.

Задачи ВМФ указанного типа связаны с необходимостью учета перемещения под действием динамики водных масс либо множества индивидуальных объектов, либо перемещения массы примеси. Одним из подходов к их решению может служить имитация перемещения примеси и/или объектов при разработке тактических схем и планирования их применения. Далее будем ради единообразия писать «примесь», полагая под этим как непрерывную примесь, например, пятно нефти, так и множество объектов, например, гидроакустических буев.

Динамика водных океанских масс представляет собой чрезвычайно хаотическое явление – турбулентное движение, которое является суперпозицией вихревых движений различного пространственно-временного масштаба. «Таким образом, турбулентным называется завихренное течение с очень большим числом возбужденных степеней свободы и с хаотическим распределением дисперсионных соотношений и фазовых сдвигов» [2]. Ярким визуальным примером вихревой, турбулентной структуры морских водных масс могут служить спутниковые радиолокационные изображения (РЛИ). Пример РЛИ представлен на рис. 1. Исходная структура из частиц, находящихся в воде, под действием таких вихревых образований разрушается, ча-

стицы рассеиваются хаотическим образом. Этот процесс называется турбулентной диффузией.

Проблеме диффузии примеси в турбулентной морской среде посвящено огромное число исследований. До 1980-х годов рассеивание пятна примеси в морской среде рассматривалось в виде гладкой функции (на поперечном сечении) – гауссова закона распределения (например, в работах [2, 3]). Механизм размытия пятна примеси сводился к тривиальному равномерному растеканию, т. е. предполагалось, что турбулентная диффузия приводит к равномерному расширению пятна примеси с постепенным уменьшением концентрации до нулевых значений.

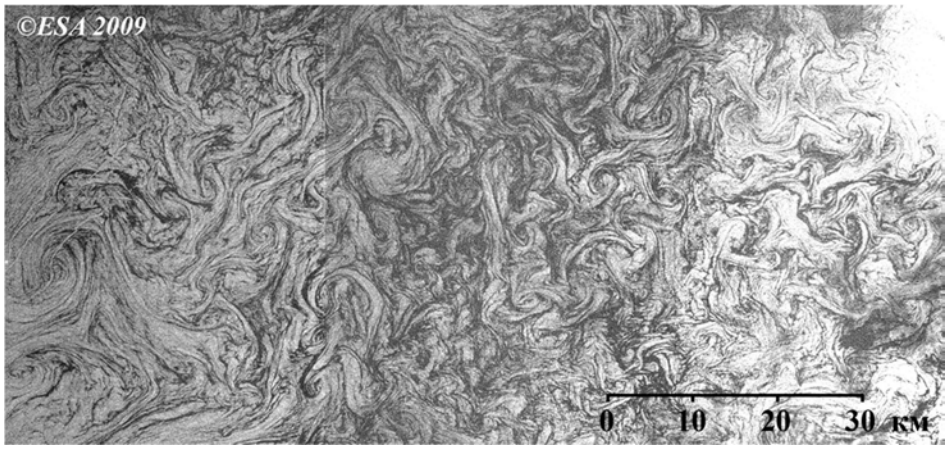


Рис. 1. Визуализация вихревых структур в юго-восточной части Балтийского моря на РЛИ Envisat ASAR, полученном 25.04.2009 г. в 09:09 UTC [3]

Однако в настоящее время турбулентную диффузию рассматривают с точки зрения характерного для турбулентности явления перемежаемости, которое визуально проявляется в хаотической структуре чередующихся областей с разной степенью концентрации свойств турбулизированной среды [4, 5]. Сейчас принята парадигма механизма турбулентной диффузии в океане, отличная от гауссова закона. Она сводится к следующему [4]. С одной стороны, вихри растаскивают пятно примеси хаотическим образом, а с другой – они концентрируют примесь в узких струях, что приводит к резкому повышению концентрации в них по сравнению со средним значением концентрации по расширяющейся площади. Области с интенсивной диссипацией энергии как бы выталкивают инородные объекты в зоны с менее интенсивной турбулентностью. Процесс концентрации примеси называется кластеризацией. Другими словами, турбулентная диффузия со временем, с одной стороны, увеличивает общую площадь, занимаемую «облаком» примеси, а с другой – сосредоточивает практически всю массу в кластерах малой площади. Под «облаком» примеси понимается площадь, занятая выпуклой оболочкой примеси. Схема такого механизма турбулентной диффузии представлена на рис. 2. Здесь и далее будем пренебрегать перемещением облака частиц как целого образования под действием вихрей масштаба большего, чем масштаб самого облака. Кроме того, не будем учитывать молекулярную диффузию, поскольку ее скорость пренебрежимо меньше турбулентной.

Рис. 2. Изменение со временем формы площади, занятой примесью, в результате турбулентной диффузии [6]

Из рис. 1, 2 следует, что турбулентность образует хаотическую структуру чередующихся областей с разной степенью концентрации. Такая пространственная (и временная) структура диффузии называется перемежаемостью. Она характерна для океанской динамики вод.

Разработано несколько моделей, имитирующих турбулентную диффузию на основе теории перемежаемости. К лагранжевым типам моделей можно отнести фрактальные модели (см., например, работу [7]), и модели случайных процессов, например, броуновского движения, а к эйлеровым типам – ультраметрические [8] и так называемые модели «свертывания» [9].

Для наших целей желательно выбрать схему, позволяющую описать турбулентную диффузию как для отдельных частиц, так и для примеси. Заметим, что ультраметрические и лагранжевы модели случайных процессов неприемлемы, поскольку первые требуют для своей реализации параметров, которые сложно оценить (например, «вероятность переходов»), а вторые предназначены для имитации движения отдельных объектов, и их затруднительно адаптировать для задач распространения непрерывной примеси.

Приведенный выше механизм турбулентной диффузии состоит из двух дополняющих друг друга процессов: увеличения площади «облака» и кластеризации примеси внутри «облака». Увеличение площади «облака» примеси будем описывать с помощью фрактальной модели, а кластеризацию – с применением модели «свертывания». Вначале опишем схему имитации этих двух процессов независимо, а затем покажем, как их объединить. Здесь мы опишем только принципиальную схему имитации, поскольку изложить в короткой статье все детали ее невозможно.

Формализуем постановку задачи. Пусть в первоначальный момент $t = 0$ заданы: линейный размер (диаметр) «облака» примеси $-L$ и общая масса примеси – $M(L)$. Будем считать, что примесь состоит из малоинерционных частиц (объектов). Определим нормированные значения общей массы m и линейного масштаба l в виде $m = 1$, $l = 1$ и зададимся требуемым минимальным масштабом разбиения l_{end}.

Опишем процесс имитирования центробежного расширения начального «облака». Известно, что для малоинерционных частиц справедлив степенной закон расширения под действием турбулентной диффузии [10]. Запишем этот закон в виде:

$$l(t) \sim t^H, \tag{1}$$

где знак «тильда» указывает на пропорциональность величин, расположенных слева и справа от знака (сами значения коэффициента пропорциональности не заданы), $l(t)$ – линейный размер «облака» примеси в момент времени t, H ($0 < H < 1$) – действительное число, которое параметризует энергию турбулентных движений. Параметр H определяется, например, по натурным измерениям. Так, на рис. 3б, он соответствует углу наклона прямой, соответствующей среднему смещению во времени буя в двойном логарифмическом масштабе, и, следовательно, значение l_0 будет соответствовать точке пересечения прямой с осью абсцисс.

Сложный характер движения частиц в океане и справедливость выражения (1) для него проиллюстрированы на рис. 3, где представлены результаты работы [11].

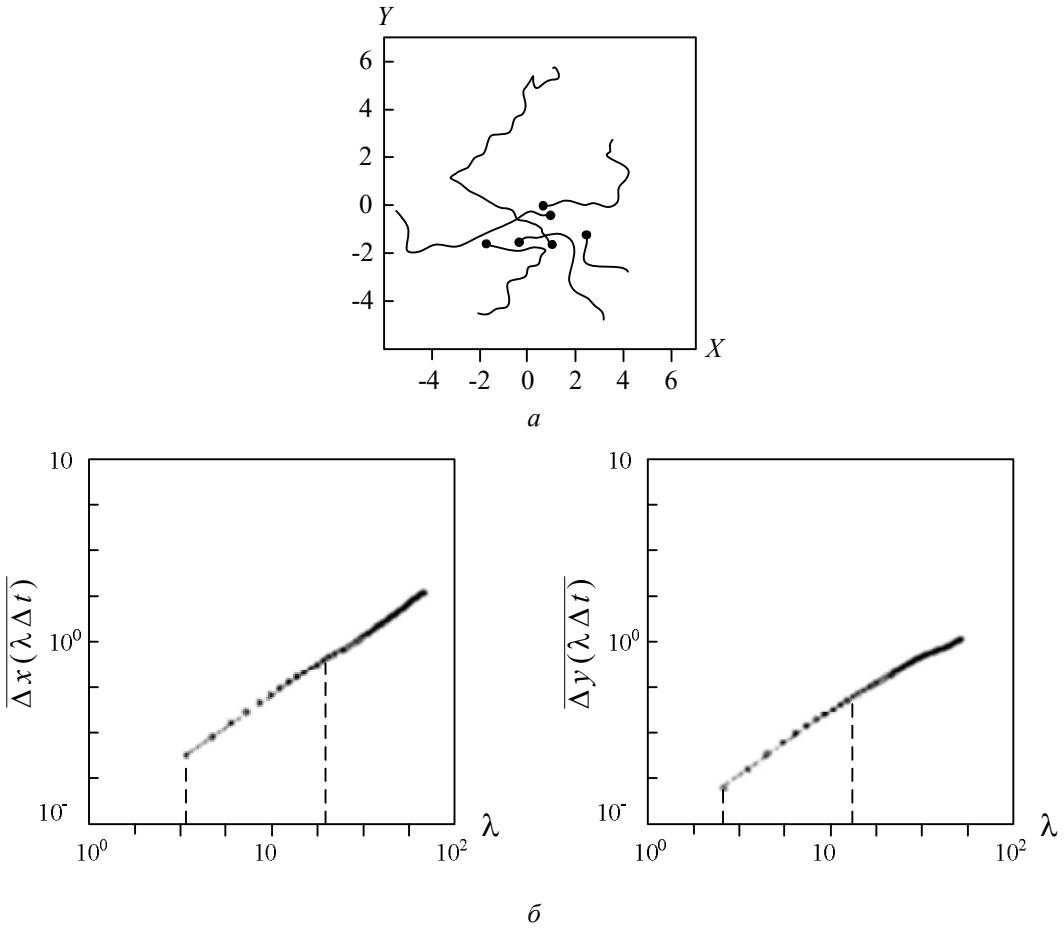


Рис. 3. Иллюстрация турбулентной диффузии свободно плавающих буёв

а – графики траекторий свободно дрейфующих буев; *б* – графики зависимости среднего смещения буев по параллели $\Delta x(\lambda\Delta t)$ и меридиану $\Delta y(\lambda\Delta t)$ от начальной точки за интервал времени $\lambda\Delta t$ как функции от $\lambda = 1,2,3,...$. Здесь Δt = 30 мин. Данные приведены в двойном логарифмическом масштабе

На рис. 3а приведены траектории движения свободно плавающих буев, полученные в экваториальных районах Атлантического океана по наблюдениям, проводимым за координатами местоположения нескольких одновременно выпущенных буев на глубине 50 м, которые в начальный момент времени были распределены на площади в 1 кв. км. Координаты буев измерялись с дискретностью 30 мин. Из полученных графиков следует, что траектории представляют собой запутанные кривые, а «близкие» буи движутся независимо и даже в противоположных направлениях.

Приведем схему имитации кластеризации внутри «облака» примеси. В основу схемы положена Колмогоровская модель однородной турбулентности, которая подразумевает равномерное заполнение пространства вихрями каждого масштаба и дробления вихрей большего масштаба в вихри непосредственно меньшего масштаба.

Для конкретной имитации процесса кластеризации используем комбинаторную схему, имитирующую механизм каскада дробления турбулентных вихрей жидкости от наибольшего масштаба к меньшему. Положим, что в начальный момент времени вся масса равномерно распределена в области «облака». Затем с течением времени вихревые образования жидкости, находящиеся внутри и на границе «облака», будут разрушать равномерное распределение и размывать «облако». Этот процесс будем описывать с помощью случайного комбинаторного алгоритма – случайного биномиального мультипликативного процесса Безиковича [9]. Здесь опишем этот процесс схематически для одномерного случая, оставляя в стороне математические детали, которые подробно опубликованы в литературе, например, в работе [12].

Процесс имитирования включает следующую основную процедуру. Пусть задан интервал δ. Разделим его на две части равной длины $\delta = 2^{-1}$. Сопоставим случайно выбранную (левую или правую) часть с долей p $(0 < p < 1)$ массы m и тем самым наделим эту часть мерой $\mu_0 = p$. На другой части поместим оставшуюся долю и наделим эту часть мерой $\mu_1 = 1 - p$. Назовем эту процедуру основной. Используя эту основную процедуру, приведем схему рекурсивного дробления интервала l на $N = 2^K$ частей и вычисления массы примеси для каждой из них. Здесь $K = \lfloor \ln l_{end} / \ln 2 \rfloor$.

Процедура состоит в следующем.

Шаг инициации. Положим, что $\delta = l$ и применим основную процедуру. Получим два интервала с заданной на них массой.

На каждом из следующих шагов последовательно для каждого из интервалов, полученных на предыдущем шаге, выполняется основная процедура, а затем полученные массы для двух половин умножаются на массу, соответствующую интервалу, который дробился.

На рис. 4 приведен пример вычислений распределения массы примеси. Доля массы примеси – это сумма (интеграл) массы на интервале разбиения. Из этого следует, что доля массы примеси с уменьшением длины интервала уменьшается. Однако сумма долей массы равна единице, что соответствует закону сохранения массы.

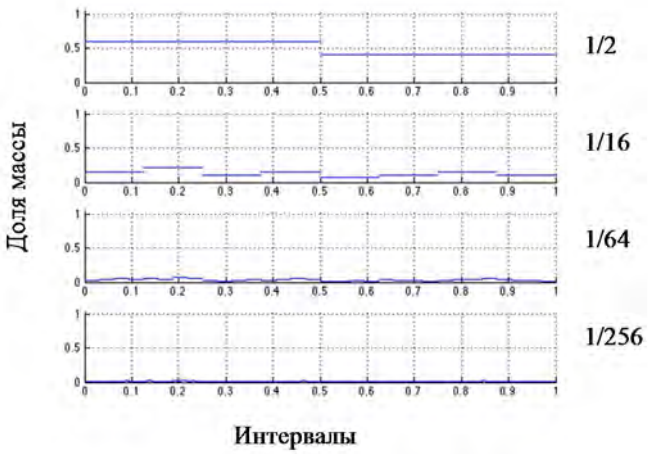


Рис. 4. Иллюстрация изменения распределения массы примеси на интервалах разбиения при дроблении единичного интервала. Результаты приведены в нормированном виде. Справа показаны величины длины интервалов разбиения

Теперь соберем вместе процедуры, имитирующие расширение и кластеризацию примеси. Предварительно определим единицу масштаба времени, чтобы перейти к безразмерному времени. Воспользуемся следующей операцией. Явная степенная зависимость увеличения L за интервал времени t выражается в виде [3]:

$$L = l_0 t^H . \tag{2}$$

Найдем «естественную единицу» времени l_0 из условия равенства величины l_{end} и выражения (2). Она равна:

$$t_0 = \left(l_{end} / l_0\right)^{\alpha} , \ \alpha = 1/H . \tag{3}$$

Далее вместо времени t будем везде использовать безразмерное время, равное $t' = t/t_0$.

Вероятностно-комбинаторный метод имитации турбулентной диффузии примеси в океане состоит в следующем. В начальный момент времени во всех ячейках разбиений задается значение массы примеси, равное обратной величине размера ячейки. Затем для каждого момента времени $t' = 1,2,...,K$ распределение масс вычисляется с помощью рекурсивной процедуры, применяемой для разбиений начиная с уровня $2^{K-t'}$. Эта процедура периодически повторяется для моментов времени $t' > K$, где $t' = \mathrm{mod}(t', K)$.

Для имитации двумерного распределения примеси следует производить еще одну независимую имитацию одномерной турбулентной диффузии и вычислять прямое произведение полученных двух независимых распределений масс примеси. От декартовых координат следует перейти к полярным. При этом учитывается следующее обстоятельство. Если в декартовой системе координат элементарная площадка

$dxdy$ содержит каждую переменную в первой степени, то элементарная площадка в полярной системе координат равна $rdrd\varphi$, поэтому в качестве независимой переменной надо брать $r^{1/2}$, а не r.

Для определения окончательного распределение массы примеси следует рассчитанные массы $\{\mu_i\}$ умножить на исходное ненормированное значение M. Этим соблюдается закон сохранения примеси при диффузии частиц в турбулентной жидкости. Очевидно, что для определения концентрации примеси в элементарной площадке следует вычисленные значения массы разделить на соответствующую величину площади.

Адекватность схемы имитирования косвенно подтверждается тем, что ее математические закономерности соответствуют наблюдаемым свойствам перемежаемости природной турбулентности [4, 9]. Покажем, что предложенная схема имитации удовлетворяет утверждению о сосредоточении с течением времени практически всей массы примеси в малых по площади областях [4]. На рис. 5 приведены результаты вычислений распределения концентрации примеси по предложенной схеме для одномерного случая. Из рисунка следует, что значения концентрации существенно зависят от масштаба осреднения, и значения на некоторых участках превышают начальное единичное. Это свидетельствует о том, что процесс кластеризации примеси преобладает над процессом расширения «облака» примеси, что соответствует выводам [4].

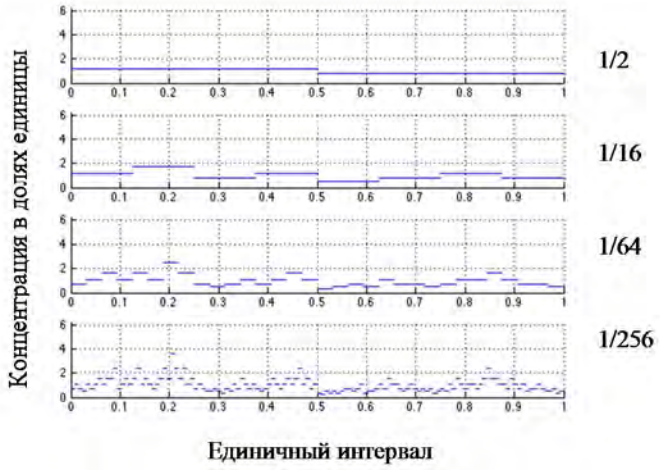


Рис. 5. Иллюстрация изменения концентрации примеси на интервалах разбиения. Результаты приведены в нормированном виде. Справа приведены величины длины интервалов разбиения

Таким образом, представлена схема имитации распространения примеси в океане под действием турбулентной диффузии, построенная с учетом принятого механизма последней. На достоверность схемы указывают предварительные вычисления, демонстрирующие согласованность вычислительных свойств схемы и наблюдаемых в турбулентных средах свойств перемежаемости примеси.

Представляется, что для повышения эффективности гидрометеорологического обеспечения задач ВМФ, указанных в начале статьи, целесообразно описать географическое распределение количественных характеристик, описывающих механизм турбулентной диффузии в океане (например, параметр H), и осуществить реализацию предложенной вычислительной схемы имитации турбулентной диффузии примеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила охраны природной среды в военно-морском флоте (ПОПС-90). МО РФ. – М.: ВИ, 1993. – 180 с.
2. Монин А. С., Озмидов Р. В. Океанская турбулентность. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 320 с.
3. Озмидов Р. В. Диффузия примесей в океане. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 279 с.
4. Кляцкин В. И. Диффузия и кластеризация пассивной примеси в случайных гидродинамических потоках. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 160 с.
5. Зельдович Я. Б., Молчанов С. А., Рузмайкин А. А., Соколов Д. Д. Перемежаемость в случайной среде // Успехи физических наук. – 1987, май. – Т. 152. – Вып. 1. – С. 3–32.
6. Монин А. С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика. Том 1. – СПб: Гидрометеоиздат, 1992. – 696 с.
7. Паладин Дж., Вульпиани А. Фрактальные модели двух- и трехмерной турбулентности. // Фракталы в физике: Труды VI международного симпозиума по фракталам в физике. – М.: Мир, 1988. – С. 624–631.
8. Хренников А. Ю., Шелкович В. М. Современный радический анализ и математическая физика: Теория и приложения. – М.: Физматлит, 2012. – 452 с.
9. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
10. Монин А. С. Турбулентность и микроструктура в океане // Успехи физических наук, 1973, февраль. – Т. 109. – Вып. 2. – С. 333–354.
11. Fahrbach E., Brockmann C., Meincke J. Hoisontal mixing in Atlantic Equatorial Undercurrent estimated from drifting buoy clusters // Jornal of Geophysical Research. – C9, 91. – PP. 10557–10565.
12. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.

THE PROBABILISTIC-COMBINATORIAL MODEL OF IMITATING THE TURBULENT DIFFUSION OF ADMIXTURE IN THE OCEAN TO CARRY OUT THE NAVY TASKS

Y. N. Zhukov («GNINGI» OJSC)

The model of imitating the turbulent diffusion of admixtures in the ocean is presented. The model includes the imitation of two mechanisms of turbulent diffusion: the washout of admixture cloud and its clusterisation.

УДК 91.21.3

О СТАНДАРТНЫХ МОДЕЛЯХ ОКЕАНОСФЕРЫ, ОКЕАНОВ И БОЛЬШИХ ОЗЁР

А. И. СОРОКИН, Н. Г. ЗЕЛЕНКОВА,
Е. Г. МАРКОВА
(ФГБУН «Институт озероведения РАН»)

Рассмотрены существующие концепции стандартных и справочных моделей различных географических объектов. Приведены примеры термической составляющей стандартных моделей океаносферы и её частей. Предложен для обсуждения порядок определения сроков климатических эпох. Намечены подходы к построению системы стандартных моделей крупных озёр с целью изучения динамики глобального климата.

Настоящая статья является отчасти продолжением и некоторым развитием другой работы, опубликованной ранее в том же журнале [1]. Поскольку это было довольно давно, представляется целесообразным для лучшего понимания дальнейшего изложения напомнить некоторые ее положения, связанные, в первую очередь, с терминологией.

Так, в середине прошлого века началось интенсивное изучение Мирового океана ведущими странами, накопление банков океанографических данных, развитие методов их хранения и обработки. Появилась и новая, не всегда удачная, терминология, в том числе, широкое распространение получили такие термины, как «стандартные и справочные модели Земли, атмосферы и океана». Позднее добавились термины «стандартная гидросфера» и «стандартная океаносфера», причем применяемый при этом термин «стандартный» не соответствовал ни одному из существовавших тогда понятий ни в русском, ни в английском, откуда он был заимствован, языках. Как известно, термин *стандарт* происходит от английского слова standard, обозначающего такие понятия как образец, мерило, уровень (жизненный), норма. По-русски под стандартом обычно понимают типовой образец, которому должно следовать изделие, шаблон, обладающий характерными особенностями, или мерило, основу чего-либо [2]. Пришедшие к нам также из английского языка понятия «стандартная Земля» [3], «стандартная атмосфера» [4], «стандартный океан» [5] не соответствуют приведенным выше значениям и нуждаются поэтому в отдельном пояснении.

Заметим, что все перечисленные выше прилагательные «стандартный» имеют различный смысл. В первом случае (применительно к Земле) имеется в виду постоянно уточняемая модель практически стационарного твердого тела, во втором – осредненная во времени и пространстве статистическая модель атмосферы, в третьем («стандартный океан») – искусственно огрубленная модель океана (с постоянной глубиной и температурой воды), примененная её автором для решения поставленной им задачи. Известны и иные подобные модели, иногда называемые нормальными (например, магнитного или гравитационного полей), где отсеиваются случайные составляющие квазистационарного поля.

Использование слова «стандарт» в приведённых выше новых значениях появилось во второй половине прошлого века и, как можно полагать, уже завоевало права

гражданства. Авторы статьи не считают, что выбор терминов «стандартных» и «справочных» моделей является удачным, однако не предлагают иных вариантов, дабы не вносить дополнительную путаницу.

В нашем случае – при получении Стандартной океаносферы – мы будем следовать методике расчёта, принятой ранее для вычисления Стандартной атмосферы [6] (напомним, что под океаносферой здесь и далее подразумевается Мировой океан). А именно – для нахождения её термической составляющей вычисляются многолетние средневзвешенные круглогодичные значения температуры воды в Мировом океане на различных горизонтах. Очевидно, что возникает вопрос о практической полезности столь обобщённых данных. Действительно, больше конкретных сведений содержится в так называемых справочных моделях атмосферы и океаносферы, построенных для различных сезонов и районов [7]. И те и другие модели многие десятилетия уже используются не только в теоретических исследованиях, но и при проектировании различных приборов, оружия и их носителей, причём ведется поиск тех степеней обобщения данных, которые нужны для решения каждой конкретной задачи.

Подводя итоги рассмотрению слова «стандартный» по отношению к географическому объекту, можно констатировать, что это понятие связано, вообще говоря, с генеральными его обобщением и упрощением за счет исключения деталей, несущественных для решения конкретных задач.

В качестве параметров, традиционно включаемых в «стандартную океаносферу», обычно выступают температура, солёность и плотность воды, а также скорость звука. Ниже приводится табл. 1 термической составляющей Стандартной океаносферы, источником для вычисления которой (как и в следующей таблице) явился «Справочник океанографических параметров…» [8]. Что же касается всей гидросферы в целом, то в силу разнохарактерности её частей, этот вопрос не ставится.

В табл. 1 впервые приводятся осредненные значения термической составляющей океаносферы, полученные с использованием результатов многолетних исследований, проведённых российскими и американскими океанографическими экспедициями. В известной степени эта таблица может рассматриваться как первая попытка построения Международной стандартной океаносферы, пока не обсуждённой и тем более не принятой какой-либо международной океанографической организацией.

Таблица 1

Термическая составляющая Международной стандартной океаносферы (проект)

Глубина, м	Температура, t °C
0	17,63
200	11,37
500	7,12
1000	4,05
1500	2,84
2000	2,22
2500	1,87
3000	1,64
3500	1,50
4000	1,38
4500	1,29
5000	1,31
5500	1,51

В этих максимально осреднённых данных хорошо прослеживается, например, влияние теплового потока со дна океана на глубинах более 5000 м. Первостепенный интерес, по нашему мнению, представляет сравнение приведённой таблицы с данными, которые могут быть получены для последующих периодов времени.

Ниже в качестве примера приводится таблица термической составляющей стандартных моделей отдельных океанов.

Таблица 2

Среднегодовые, максимальные и минимальные значения температуры воды в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах, t °C

z, м	Атлантический океан			Тихий океан			Индийский океан		
	$t_{ср}$	$t_{макс}$	$t_{мин}$	$t_{ср}$	$t_{макс}$	$t_{мин}$	$t_{ср}$	$t_{макс}$	$t_{мин}$
0	16,28	30,55	-1,92	21,35	30,86	-1,85	18,23	32,31	-1,91
25	15,53	29,91	-1,90	20,93	30,00	-1,86	18,01	31,80	-2,57
50	14,45	28,97	-1,90	20,11	29,90	-1,86	17,20	31,53	-1,86
100	12,55	27,40	-1,89	18,48	29,85	-1,85	15,15	29,57	-1,97
200	10,94	24,00	-1,96	14,90	28,12	-1,39	11,68	27,63	-1,94
300	9,87	21,17	-1,92	11,17	25,70	0,07	10,04	26,65	-1,99
500	7,91	18,45	-1,80	7,67	23,27	0,51	8,14	24,96	-1,95
800	5,35	17,81	-1,61	5,16	20,70	0,95	6,14	22,66	-0,46
1000	4,47	13,02	-1,76	4,22	11,79	0,80	4,93	22,99	-0,64
2000	3,23	6,66	-1,04	2,16	3,65	0,35	2,23	14,62	-0,15
3000	2,15	4,51	-1,35	1,61	2,14	0,16	1,47	10,29	-0,32
4000	2,30	3,17	-1,69	1,41	2,04	0,10	1,03	2,46	-0,43
5000	2,24	2,50	-1,74	1,22	1,75	0,32	0,89	1,39	0,40

Вычисление значений температур воды, приведенных в табл. 1, 2, выполнено в Научно-исследовательском океанографическом центре МО. Основная работа, связанная с отбором информации и программированием, выполнена Г. А. Отчаянной [6]. Сравнительный анализ приведенных данных представляет самостоятельный интерес, однако выходит за рамки настоящей статьи.

Стандартные и справочные модели природных объектов всегда бывают привязаны к определенному климатическому периоду. Говоря о климате, обычно подразумевают достаточно продолжительный промежуток времени, который может определяться с помощью различных критериев. С целью выработки единого подхода к этому вопросу согласно рекомендации Всемирной Метеорологической Организации было принято решение (1957 г.) считать продолжительность климатического периода равной 30 лет. Таким образом, можно считать, что упомянутый выше справочник охватывает период примерно от 1955 до 1984 года, т. е. от начала интенсивного изучения основными морскими державами Мирового океана [9]. Поскольку середина данного климатического (30-летнего) периода приходится на 1970-й год, то представленную в табл. 1 Стандартную океаносферу можно отнести к этому же году. Следующим таким «эпохальным» годом, относящимся к очередному климатическому периоду от 1985 до 2015 года, является порог тысячелетий – год 2000-й.

Подобные модели могут быть построены не только для океаносферы, но и для более ограниченных частей гидросферы. В качестве таких частей, помимо океаносферы, мы рассматриваем океаны, моря и крупнейшие озёра мира. В этом случае,

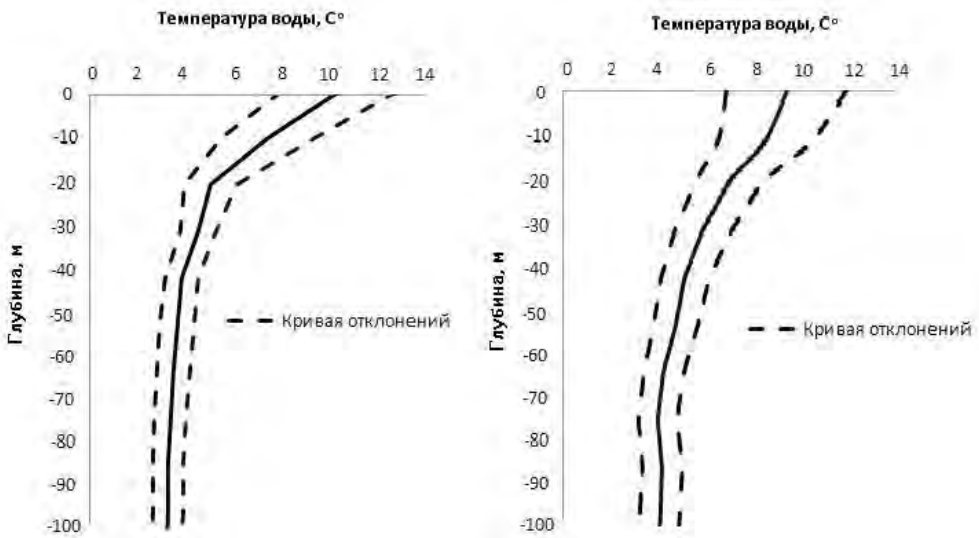
учитывая большую фрагментарность гидросферы по сравнению с атмосферой, мы сочли возможным и целесообразным термин «стандартный» сохранить для всех упомянутых круглогодичных моделей (что уже было сделано выше по отношению к океаносфере и океанам).

Ниже в качестве примера можно указать на возможность использования стандартных моделей водных объектов при изучении динамики изменений климата. В этом случае к интересующим нас частям гидросферы следует отнести океаносферу, океаны и моря, а также расположенные на суше озёра.

Последняя часть статьи как раз и посвящена распространению понятия стандартных моделей на крупные озёра с целью использования последних в качестве реперных пунктов на земной поверхности.

Далее представлены кривые термической составляющей справочной модели Ладожского озера, построенные на основании обобщения материалов, полученных в основном за семидесятилетний период работы экспедиций Института озероведения Российской академии наук (ИНОЗ РАН). За исходные данные при этом были приняты ранее опубликованные результаты, полученные сотрудниками ИНОЗ РАН докт. г. н. М. А. Науменко, канд. г. н. В. В. Гузиватым и кан. г. н. С. Г. Каретниковым [10, 11].

Объём накопленных к настоящему времени данных за зимний период не позволяет получить среднегодовые значения температур на различных глубинах озера. Поэтому приходится пока ограничиться справочными моделями на отдельные периоды (нагревания и охлаждения), приведенными на рисунке.



Период нагревания Период охлаждения

Справочные модели Ладожского озера (термическая составляющая)

Приведённые профили наглядно демонстрируют существенно отличные друг от друга режимы нагревания и охлаждения водных масс озера.

Подводя итоги, можно отметить, что накопленные за период систематических исследований гидросферы данные в принципе уже позволяют сравнивать стандарт-

ные и справочные модели природной среды для различных климатических периодов и получать тем самым представление о динамике изменений климата, отмечая и прогнозируя их направленность.

Если изменения параметров Стандартной океаносферы дают количественное представление о динамике глобального климата и ее направленности, то изменения стандартных моделей менее крупных частей гидросферы позволяют осуществлять более детальный климатический анализ и прогноз. В качестве одной из первоочередных задач в этом направлении может рассматриваться разработка, согласование и утверждение Международной Стандартной океаносферы с приглашением авторитетных мореведческих организаций различных стран мира. Подобные совместные работы могут, помимо достижения основной поставленной цели, оказывать также положительное влияние на состояние обмена данными между странами, унификацию методов их сбора и обработки и тем самым – на общее состояние глобального политического климата.

Важным вопросом является обсуждение и принятие решения по проблеме составления будущих статистических справочников океанографических параметров не в общей виде, а по предложенным выше климатическим эпохам. В последнем случае речь пойдёт уже о разработке и принятии не просто Международной Стандартной океаносферы, а двух МСО – эпохи 1970 г. и эпохи 2000 г. – с целью дальнейшего исследования влияния на них изменений глобального климата. Центральным здесь является вопрос о необходимости согласования и дальнейшего утверждении сроков климатических эпох на уровне МОК ЮНЕСКО.

И, наконец, в заключение стоит сказать несколько слов о Ладоге – главном озере России, выдающем в важнейшем районе страны в полтора раза больше пресной воды по сравнению с тем, что выносит в Ледовитый океан Ангара из Байкала, объем воды в котором превышает ладожскую в 25 раз. Ладога изучена в результате многолетних работ, выполненных Гидрографической службой ВМФ, Институтом озероведения РАН и многими другими организациями. Об этом свидетельствуют и выпущенные уже в XXI веке фундаментальные картографические атласы (2002, 2015). Однако для построения стандартной модели этого озера не хватает наблюдений, выполненных в зимний период. Подобный недостаток имел место и в период Великой Отечественной войны, когда уже во время проведения боевых действий приходилось срочно вести теоретические и экспериментальные исследования для обеспечения функционирования ледовой Дороги жизни. В настоящее время здесь недостаточно изучены термические условия и динамика водных масс озера для обеспечения зимних натурных испытаний подводной техники, включая минно-торпедное вооружение, гидроакустические и другие технические средства.

Таким образом, проблемы, связанные с построением банка стандартных моделей разномасштабных частей гидросферы, представляют, по нашему мнению, не только определённый теоретический интерес в океанологии и лимнологии, но и связаны с решением актуальных прикладных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокин А. И. Стандартная и справочные модели океаносферы // Навигация и гидрография. – 1999. – № 8. – С. 14–18.
2. Толковый словарь русского языка. Под редакцией чл.-корр. АН СССР Д. Н. Ушакова. – М.: Гос. изд. иностр. и национ. словарей. Том IV. – 1940. – С. 479.

3. Стандартная Земля: геодезические параметры Земли на 1966 г. / Под ред. К. Лунквиста и Г. Вейса. – М.: Мир, 1969. – 277 с.
4. Стандартная атмосфера. ГОСТ 4401-81- М., Госкомстат. 1981. 179 с.
5. Defant A. Physical oceanography. Vol. 1. – Pergamon Press, Oxford, 1961. – 729 с.
6. Сорокин А. И. Стандартная и справочные модели океаносферы // Записки по гидрографии. – 2003. – № 259. – С. 25–30.
7. Атмосферы справочные. Параметры. ГОСТ 24631-81. – М., Госкомстандарт. Переизд. – 1982. – 30 с.
8. Справочник океанографических параметров для обеспечения задач проектирования кораблей и технических средств флота. – Т. I. – Кн.2. – СПб: ГУНиО МО СССР, 1984. – 536 с.
9. Неронов Н. Н. Некоторые аспекты решения проблемы навигационно- гидрографического обеспечения выхода ВМФ в Мировой океан в 1954–1964 гг. // Навигация и гидрография. – 1998. – №7. – С. 92– 95.
10. Науменко М. А., Каретников С. Г., Гузиватый В. В. Среднее многолетнее распределение температуры воды и её дисперсии по глубине. Ладожское озеро. Атлас. Отв. ред. В. А. Румянцев. – СПб.: ИНОЗ РАН, 444 ВКФ, 2002. – 129 с.
11. Науменко М. А., Гузиватый В. В. Климатические вариации температурного режима Ладожского озера для периода открытой воды // Региональная экология. – 2010. – № 3. С. 104–108.

ON STANDARD MODELS OF OCEANOSPHERE, OCEANS AND LARGE LAKES

A. I. Sorokin, N. G. Zelenkova, E. G. Markova (Institute of Limnology RAS)

Concepts of standard and reference hydrospheres, as well as standard models of other geographical objects are considered. Examples of the thermal component of the standard hydrosphere and reference models of its parts are given. The variant of climatic environmental epochs regulation is suggested. Approaches to creating the standard lake models are suggested.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 528.92

ПЕРЕМЕЖАЕМОСТЬ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И ЕЕ РОЛЬ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

Ю. Н. ЖУКОВ
(ОАО «ГНИНГИ»)

Дается представление о явлении перемежаемости, математических моделях и характеристиках ее описывающих. Приведены оценки значимости явления перемежаемости для учета в действиях Военно-Морского Флота.

Перманентная задача гидрометеорологического обеспечения (ГМО) – поиск новых направлений исследований в области более детального описания изменчивости внешней среды для повышения эффективности учета ее влияния в деятельности Военно-Морского Флота. Представляется, что таким направлением может служить исследование перемежаемости гидрометеорологических элементов с последующим использованием характеристик перемежаемости в практике ГМО. В статье будет показано, что перемежаемость – это всеобщее явление пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических полей, пронизывающее все без исключения масштабы, что перемежаемость имеет характеристическое свойство и описывается специфическими характеристиками, а учет этого явления значим для действий сил флота.

Предварительно дадим определение перемежаемости. Строго говоря, этот термин не имеет канонического определения. Перемежаемость (intermittency) обычно понимают как свойство системы, в которой наблюдается чередование в пространстве и времени фаз качественно разных типов поведения, или как свойство сигнала, у которого наблюдаются резкие вариации большой амплитуды. Термин появился при изучении поля скорости и температурных пятен в турбулентной среде [1]. Сейчас это понятие широко используется в научно-технических исследованиях, так, например, оно включено в действующий ГОСТ 23281-78 «Аэродинамика летательных аппаратов. Термины, определения и буквенные обозначения». Здесь перемежаемость определена как свойство потока газа, состоящее в чередовании ламинарных и турбулентных режимов течения. Из этого становится ясно, что перемежаемость – это явление, которое связано с турбулентными процессами в сплошной среде. Но не только. Исследования последних десятилетий выявили, что перемежаемость – всеобщее свойство материи. Действительно, это явление обнаружено в природе во всех пространственно-временных масштабах: от микромира [2] до космических масштабов [3].

В гидрометеорологии явных примеров явления перемежаемости предостаточно. Это всевозможные проявления неламинарного, негладкого движения атмосферы

и океана, например, в метеорологии: облачные поля, порывы ветра, сеть метеорологических фронтов и т. п.; в океанологии: изменчивость ветровых и внутренних волн, ледовые поля, сеть гидрологических фронтов и т. д. Распределение естественных лесов и полей, равнинных и горных областей в рельефе Земли тоже представляют собой явление перемежаемости.

Явление перемежаемости проявляется визуально в виде кластеризации в пространственно-временной структуре. Примером этого может служить дробление факела вытекающей нефти под действием многомасштабной динамики океана (рис. 1).

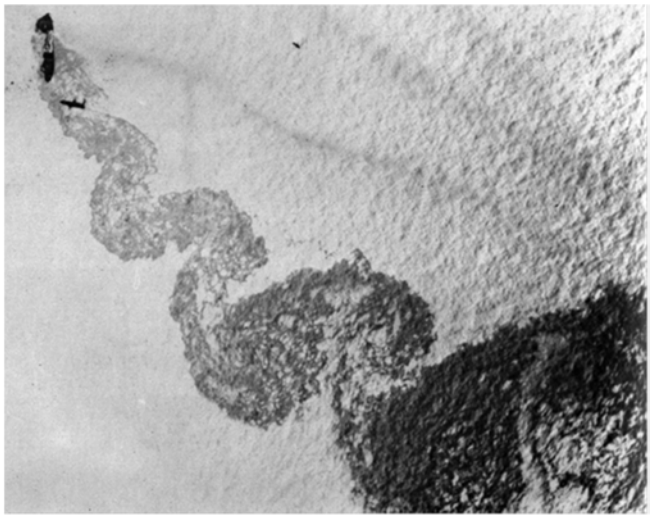


Рис. 1. Фото вытекающей из танкера сырой нефти [4].
Танкер “Agro Merchant” на мели вблизи Нантакета (1976 г.)

Заметим, что слово перемежаемость иногда используется в гидрометеорологической литературе, но не как самостоятельный термин, а только как синоним понятия пространственно-временной изменчивости. Возникает вопрос: а зачем тогда уделять столько внимания этому понятию? А суть в том, что понятие перемежаемости несет в себе набор специфических конкретных свойств изменчивости в пространстве и времени – как динамического, так и статического характера.

Традиционно пространственно-временная изменчивость представляется подчиняющейся гауссовому закону как сумма многих случайных величин. Это предположение имеет истоком как теорию статистической механики, так и теорию турбулентности Колмогорова, в которой постулируются независимость вихревых структур друг от друга. Удивительным и необъяснимым с этой точки зрения явлением кажется самопроизвольное возникновение упорядоченных структур в природе, например, ледяных узоров на стекле зимой или почти закономерно расположенных конвективных облаков.

В теории турбулентности Колмогорова движение жидкости, в конце концов, завершается рассеянием энергии: благодаря вязкости жидкости энергия видимого движения преобразуется в тепло. При этом предполагается, что рассеяние однородно в пространстве и времени. Однако надежды на то, что такая модель «гомогенной турбулентности» может иметь хоть какой-то смысл, были развеяны Л. Д. Ландау и

Е. М. Лифшицем [5], которые отмечали, что одни области характеризуются высокой степенью рассеяния, тогда как в других по сравнению с первыми рассеяние практически отсутствует.

В гидрометеорологии придерживаются традиционной точки зрения на изменчивость гидрометеорологических элементов в виде нормальности их статистических распределений. Действительно, в природе осуществляются негауссовы распределения изменчивости, например, А. С. Монин и А. М. Яглом [6] показали, что при перемежаемости все вихри связаны по масштабам. Негауссовость распределений гидрометеорологических процессов проявляется в том, что оценки их среднеквадратических значений, например, температуры воздуха в Санкт-Петербурге, непрерывно возрастают для статистических выборок возрастающего объема. Это следствие так называемых температурных рекордов, фиксируемых метеорологами. Если интерпретировать такой временной ход температуры как случайную величину, то для нее нормальный закон не справедлив [7]. Для таких случайных величин, с возрастающей во времени дисперсией, экстремальные значения убывают не по экспоненте, а значительно более медленно – по степенному закону. Это и есть основное характеристическое свойство перемежаемости.

Существует два направления исследования явления перемежаемости: теоретическое, изучающее возникновение и становление, – это динамический аспект перемежаемости, и «практическое» – разрабатывающее методы количественного описания перемежаемости, изучающее ее статический аспект.

Толчком к широкому теоретическому изучению перемежаемости в науке послужила работа американского метеоролога Э. Лоренца [8], который в 1960 г. создал упрощенную модель погоды, определяемую конвективной турбулентностью. Лоренц обнаружил, что упрощенная модель обладает удивительным свойством – с одной стороны, она одновременно полностью детерминирована (как система обыкновенных дифференциальных уравнений), а с другой – она полностью непредсказуема. Этот феномен стал широко известен в 1972 г., когда на заседании Американской ассоциации содействия развитию науки Лоренц выступил с докладом на тему: «Может ли взмах крыльев бабочки в Бразилии вызвать торнадо в Техасе?» [9]. Сейчас объекты с такими свойствами называются динамическими системами с хаотическим поведением. Модель Лоренца, называемая аттрактором Лоренца (рис. 2), является реальным физическим примером таких систем.

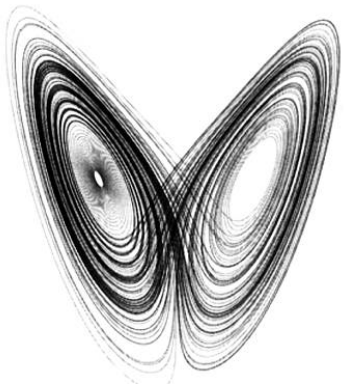


Рис. 2. Типичная траектория системы Лоренца в фазовом пространстве [9]

Следует заметить, что строго научного определения терминов «хаос» и «хаотический» не существует. Эти термины считаются синонимами систем, у которых спектр мощности содержит непрерывную часть (широкую полосу) независимо от возможного наличия пиков, или, другими словами, автокорреляционная функция временного сигнала должна иметь конечный носитель, т. е. обращаться в нуль вне конечного интервала времени. И в том и другом случае в основе лежит одно и то же понятие – потеря сигналом памяти. Это означает, что знание состояния системы в течение сколь угодно продолжительного интервала времени не позволяет предсказывать дальнейшую эволюцию системы. Именно с этим свойством модели Лоренца связано ограничение предсказуемости погоды гидродинамическими методами – предел предсказуемости. В своей книге Р. М. Вильфанд указывает, что «в настоящее время практический предел предсказуемости при прогнозе барического поля не превышает 10 дней, а для метеорологических величин и явлений погоды 5–7 дней» [10].

К настоящему времени существуют многочисленные математические модели, представляющие динамический аспект перемежаемости. Все их многообразие можно разделить как минимум на следующие пять классов: 1) детерминированного хаоса, например, аттрактор Лоренца, модель Помо-Манневиля и т. д. [11]; 2) нелинейного взаимодействия, например, теория катастроф [12]; 3) вероятностные [13, 14]; 4) голоморфной динамики [15]; 5) синхронизации [16].

Заметим, что механизм образования волн-убийц рассматривается как в детерминированной версии [12], так в вероятностной [14].

Начало изучения статического аспекта перемежаемости в отечественной литературе прослеживаются с 1920-х [17]. Однако сейчас родоначальником статического подхода к описанию перемежаемости считают Б. Мандельброта, который в 1982 г. ввел понятие «фрактал», опубликовав книгу «Фрактальная геометрия природы» [18].

Фрактал (от латинского fractus – дроблёный, сломанный, разбитый) – математический объект, обладающий свойством самоподобия. Другими словами, это объект, в точности или приближённо совпадающий с частью себя самого, то есть целое имеет ту же форму, что и одна или более частей. В математике под фракталами понимают множества точек в евклидовом пространстве, имеющие дробную метрическую размерность (в смысле Минковского или Хаусдорфа), либо метрическую размерность, отличную от топологической. В простейшем случае фрактал представляет собой непрерывную всюду недифференцируемую функцию. Примером такой функции может служить кривая Коха, рекурсивное построение которой приведено на рис. 3.

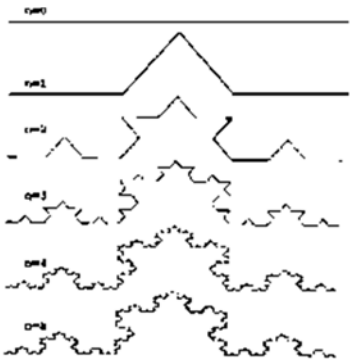


Рис. 3. Начальные шаги рекурсивного (сверху вниз) построения кривой Коха

Геометрия фракталов служит основным инструментом при статическом описании перемежаемости. Фракталы позволяют иерархически представить пространственно-временную изменчивость во всех масштабах.

Статический аспект перемежаемости состоит в описании ее пространственно-временной изменчивости с помощью многочисленных математических характеристик перемежаемости, основанных на фрактальной интерпретации этой изменчивости. Существует несколько классов математических характеристик, которыми описывается статический аспект перемежаемости: класс размерностей Реньи [19], класс итерирующих функций [20], перколяции [21] и вычислительной топологии [22].

Числовые значения характеристик перемежаемости представляют пространственно-временную изменчивость во всех масштабах.

На примере задачи измерения длины кривой линии дадим краткое описание наиболее часто используемой характеристики перемежаемости, называемой размерностью Хаусдорфа.

Из школьного курса известно, что длина гладкой кривой определяется как предел суммы длин вписанных в кривую ломаных, например, для окружности длиной L_0 это можно записать в виде:

$$L = N(\delta)\delta \underset{\delta \to 0}{\to} L_0 \delta^0, \qquad (1)$$

где $N(\delta)$ – число прямолинейных отрезков длины δ. Таким образом, процедура оценки для гладкой кривой асимптотически приводит к ее длине, и этот результат зависит от δ. Выражение (1) формально записывается в виде $L \sim \delta^{1-D}$, где $D = 1$, а знак «тильда» обозначает пропорциональность левой и правой величин.

Теперь рассмотрим аналогичную процедуру для решения картометрической задачи измерения длины береговой линии. Возьмем серию карт, упорядоченную по убыванию масштаба. Для каждого масштаба находим число $N(\delta)$ прямолинейных отрезков длины δ, необходимых для того чтобы покрыть ее. Стремится ли оценка длины береговой линии к пределу (как для гладкой кривой) при увеличении масштаба карты, то есть при $\delta \to 0$? Опытные данные показывают, что нет. Длина береговой линии увеличивается с увеличением масштаба и не стремится ни к какому пределу (рис. 4). Она описывается степенной зависимостью вида $L \sim \delta^{1-D}$, где D – действительное число, которое лежит в диапазоне $1 < D < 2$. Так, например, для побережья Великобритании $D \approx 1{,}3$. Поэтому береговая линии не является гладкой кривой, она является фракталом.

Параметр D называется размерностью Хаусдорфа. Заметим, что ее значение для всех масштабов пространственно-временной изменчивости гидрометеорологического элемента в географическом регионе – единственное и всегда дробное число.

Приведенный пример степенного изменения длины от масштаба часто называют скейлингом или стохастическим скейлингом. Скейлинг – это масштабная инвариантность. Явления, имеющие такие свойства пространственно-временной изменчивости, называют, соответственно, самоафинными или стохастическими фракталами. При этом в различных масштабах перемежаемость может иметь различные характеристики (свойство мультифрактальности), но в первом приближении традиционно полагают, что перемежаемость однородна.

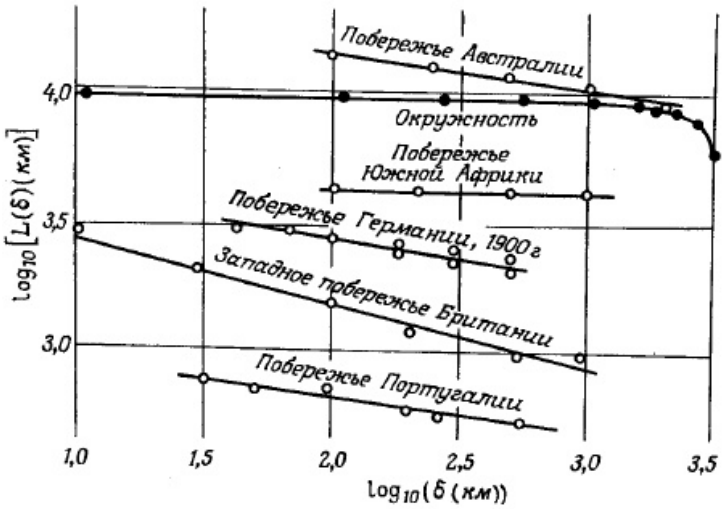


Рис. 4. Длина береговых линий как функция выбранного шага δ (км) [23]. Данные приведены в двойном логарифмическом масштабе

У всех природных явлений наблюдается фрактальное поведение пространственно-временной изменчивости. Большое число примеров приведено в работе [23]. Заметим, что фрактальность выявлена даже у приливов [24].

Покажем, что перемежаемость гидрометеорологических полей и процессов значима при учете влияния окружающей среды на действия ВМФ.

Непосредственная значимость связана с прямым влиянием пространственно-временной изменчивости окружающей среды. Действительно, как было показано, основным свойством перемежаемости является степенной вид $x^{-\alpha}$ (для одномерных величин $0 < \alpha < 1$) распределения экстремальных значений гидрометеорологических характеристик x. Из этого факта следует, что неблагоприятные значения гидрометеорологических условий встречаются значительно чаще, чем при нормальном распределении (традиционно предполагаемом), при котором экстремальные значения изменяются экспоненциально e^{-x}. Действительно, логарифм отношения степенного закона к экспоненциальному $\ln\left(x^{-\alpha}/e^{-x}\right)$ равен величине $x - \alpha \ln x$, которая при $x > 1$ всегда больше нуля. А так как логарифм не меняет упорядоченности, то отсюда следует, что реальные неблагоприятные гидрометеорологические условия, которые описывают меры перемежаемости, встречаются чаще. Яркое проявление этого свойства перемежаемости – это волны-убийцы, которые не существовали бы в действительности, если бы экстремальные значения высот волн экспоненциально убывали, как при нормальном распределении.

Другим подтверждением значимости перемежаемости служит сравнение оценки потерь в эффективности от влияния экстремумов для экспоненциального и степенного их распределения. Определим потери $Q(x)$ за счет экстремальных значений гидрометеорологических характеристики в виде степенной функции от величины экстремума $Q(x) \sim x^n$, $n \le 1$. Тогда математическое ожидание потерь $\overline{Q}$ под влиянием экстремальных значений $f(x)$ гидрометеорологических характеристик пред-

ставляет собой выражение $\overline{Q} = \int x^n x^{-\alpha} dx \underset{x\to\infty}{\to} \infty$, где $f(x)$ – функция плотности распределения «хвоста» гидрометеорологической характеристики. Поскольку экспонента убывает быстрее всякой степенной функции, то для экспоненциального распределения имеем $\overline{Q} = \int x^n e^{-x} dx \underset{x\to\infty}{\to} 0$, а для степенного распределения получим $\overline{Q} = \int x^n x^{-\alpha} dx \underset{x\to\infty}{\to} \infty$. Следовательно, потери за счет учета перемежаемости всегда будут иметь значимую величину.

Таким образом, характеристики перемежаемости значимы для оценки влияния внешней среды на действия ВМФ, поэтому существует необходимость в создании информационной структуры характеристик перемежаемости и включение их в системы ГМО ВМФ.

Кроме того, в настоящее время, достигнут прогресс в использовании характеристик перемежаемости в различных областях прикладной науки. Результаты таких исследований также могут быть использованы для повышения эффективности учета внешней среды в деятельности ВМФ.

Существуют разработки методов классификации и распознавания объектов по фото и радиолокационным снимкам поверхности моря и суши [25]. Эти разработки можно использовать, например, при поиске подводных объектов по их кильватерным следам и для оценки скорости размывания кильватерных следов.

Характеристики перемежаемости морских течений [26] могут быть использованы для оценки кластеризации и рассеивания свободно плавающих гидроакустических буев, выставляемых для поиска подводных лодок (ПЛ). На основе этого можно разработать методы расчета оптимального числа акустических буев и геометрической структуры их расстановки для различных акваторий и типов технических устройств.

Перемежаемость атмосферной турбулентности должна учитываться для оценки эффективности и проектировании лазерных устройств для навигационных маяков и знаков [27]. Кроме того, перемежаемость электромагнитных свойств атмосферы, связанная с перемежаемостью турбулентности в облачности, должна учитываться при организации радиосвязи и использования ГЛОНАСС [28].

Очевидно, что характеристики перемежаемости необходимо учитывать при проектировании технических средств ВМФ. Действительно, например, надежность энергетических установок кораблей зависит от перемежаемости температуры забортной воды, используемой для охлаждения, а затраты на строительство береговых сооружений связаны с перемежаемостью многолетних колебаний уровня моря и т. д.

Характеристики перемежаемости морских побережий целесообразно включить в ГИС АСУ ВМФ, так как при планировании десантных операций необходимо знать изрезанность береговой черты.

В гражданской области свойства перемежаемости интенсивно исследуются и применяются, например, в нефтедобывающей отрасли [29], а перемежаемость ветра является существенной проблемой ветроэнергетики [30].

Объем статьи не позволяет автору привести все многообразие моделей и подходов к изучению перемежаемости в гидрометеорологии. Представляется, что сказанное ясно свидетельствует о том, что:

– пространственно-временная изменчивость гидрометеорологических элементов определяется перемежаемостью;

– в математике и физике разработаны разнообразные модели, описывающие генезис перемежаемости и её числовые характеристики.

– существенна значимость учета перемежаемости при ГМО ВМФ.

Из представленных ссылок следует, что явление перемежаемости широко освещается в иностранных публикациях. В то же время в отечественной гидрометеорологической литературе это явление представлено крайне скупо, в основном только переводными работами. К сожалению, приходится констатировать, что в области ГМО ВМФ понятие перемежаемости вообще не применяется, если не считать статьи автора, например [31].

В существующей практике ГМО ВМФ изменчивость гидрометеорологических элементов практически не имеет пространственно-временного разрешения. Действительно, сейчас изменчивость представляется повторяемостью в некоторых фиксированных «квадратах» по пространству (одноградусных, пятиградусных) и времени («многолетний» год, месяц), поэтому совокупное описание изменчивости во всех масштабах или хотя бы в интервале масштабов отсутствует. Но, как показано выше, гидрометеорологическая изменчивость присутствует во всех пространственно-временных масштабах и имеет скейлинговый характер. Поэтому можно утверждать, что сейчас в ГМО ВМФ, в области описания пространственно-временной изменчивости внешней среды существует проблемная ситуация. Для ее разрешения представляется целесообразным обосновать комплекс параметров, описывающих перемежаемость гидрометеорологических элементов, влияющих на действия ВМФ, которые представляют изменчивость во всех масштабах, и разработать методы оценки влияния перемежаемости на деятельность ВМФ. Результаты этой работы необходимо довести до сведения смежных институтов ВМФ, занимающихся разработкой стратегии и тактики ВМФ, для возможного учета этих данных в их деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Batchelor G. K., Townsend A. A. The nature of turbulent motion at high wave numbers // Proceedings of Royal Society of London. – 1949. – A 199. – P. 238–255.
2. Займан Дж. Модели беспорядка. Теоретическая физика однородно неупорядоченных систем. – М.: Мир, 1982. – 592 с.
3. Falceta-Goncalves D., Kowal G., Falgarone E., Chian A. C.-L. Turbulence in the interstellar medium // Nonlinear Processes in Geophysics. – 2014. – 21. P. 587–604.
4. Альбом течений жидкости и газа. – М.: Мир, 1986. – 180 с.
5. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Гидродинамика. Теоретическая физика. Т. VI. – М.: Наука, 1986. – 736 с.
6. Монин А. С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика. Теория Турбулентности. Т. 1. – СПб: Гидрометеоиздат, 1992. – 694 с.
7. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. О детерминированном подходе к турбулентности. – М.: Мир, 1991. – 368 с.
8. Лоренц Э. Детерминированное непериодическое движение // Странные аттракторы. – М.: Мир, 1981. – С. 88–116.
9. Мадрид К. Бабочка и ураган. Теория хаоса и глобальное потепление. Мир математики. – Т. 32. – М.: Де Агостини, 2014. – 144 с.
10. Васильев А. А., Вильфанд Р. М. Прогноз погоды. – М.: Росгидромет, 2008. – 62 с.
11. Детерминированный хаос: Введение. – М.: Мир, 1988. – 240 с.
12. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения – М.: Мир, 1980. – 607 с.

13. Зельдович Я. Б., Молчанов С. А., Рузмайкин А. А., Соколов Д. Д. Перемежаемость в случайной среде // Успехи физических наук. – 1987, май. – Т. 152. – Вып. 1. – С. 3–32.
14. Кляцкин В. И. Стохастическое структурообразование в случайных средах // Успехи физических наук. – 2016, январь. – Т. 186. – № 1. – С. 75–104.
15. Милнор Дж. Голоморфная динамика. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 320 с.
16. Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. – М.: Техносфера, 2003. – 496 с.
17. Шокальский Ю. М. Длина главнейших рек Азиатской части СССР и способ измерения длин рек по картам. – М.: Транспечать, 1930. – 57 с.
18. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
19. Чумак О. В. Энтропии и фракталы в анализе данных. – М.: Ижевск, 2011. – 164 с.
20. Кроновенр Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
21. Кестен Х. Теория просачивания для математиков. – М.: Мир, 1986. – 392 с.
22. Edelsbrunner H., Harer J. Computational topology: an introduction. – Providence, R.I: American Mathematical Society, 2010. – 294 p.
23. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
24. Kumpel H.-J. Evidence for self-similarities in the harmonic development of earth tides / Fractals and chaos in the Earth sceinces. – Basel, 1993. – P. 213–220.
25. Потапов А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. – М.: Логос, 2002. – 664 с.
26. LaCasce J. H. Statistics from Lagrangian observations // Progress in Oceanography. – 2008. – 77. – P. 1–29.
27. Арсеньян Т. И., Зотов А. М., Короленко П. В., Маганова М. С., Макаров В. Г. Влияние перемежаемости мелкомасштабной атмосферной турбулентности на характеристики узких коллимированных лазерных пучков // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. – 2000. – № 2. – С. 32–34
28. Куражковская Н. А., Клайн Б. И. Перемежаемость в среднеширотных пульсациях, наблюдаемых во время магнитосферных суббурь и в их отсутствие // Солнечно-земная физика. – 2010. – Вып. 15. – С. 58–65
29. Сулейманов Б. А., Исмайлов Ф. С., Дышин О. А., Гусейнова Н. И. Мультифрактальный анализ состояния разработки нефтяного месторождения // Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. – 2012. – № 2. – С. 20–26.
30. Gowrisankaran G., Reynolds S., Samano M. Intermittency and the Value of Renewable Energy. – University of Arizona, May 6, 2015. – 56 p.
31. Жуков Ю. Н. Формальная модель генерализации естественных геопространственных полей // Записки по гидрографии. – 2005. – № 264. С. 23–29.

THE ALTERNATING ABILITY IN HYDROMETEOROLOGY AND ITS ROLE IN HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT FOR THE NAVY

Y. N. Zhukov («GNINGI» OJSC)

The notion of alternating ability as a phenomenon, mathematic models and characteristics describing it is presented. The estimates of significance of this phenomenon to take account in the Navy operations are presented.

УДК 551.576.2:551.583

ВОЗМОЖНОСТЬ РАССЕЯНИЯ ВОЛНИСТООБРАЗНОЙ И СЛОИСТООБРАЗНОЙ ОБЛАЧНОСТИ В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ИНТЕРЕСАХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А. П. ДОРОНИН, Г. Г. ЩУКИН, О. И. ДИДЫК,
В. М. ПЕТРОЧЕНКО, С. А. ШМАЛЬКО
(ВКА им. А. Ф. Можайского)

В статье на основе обработки материалов самолетного зондирования атмосферы (СЗА) над Архангельском выполнено оценивание возможности рассеяния волнистообразной и слоистообразной облачности. Показано, что оценивать пригодность облаков к рассеянию химическими реагентами можно и без зондирования атмосферы.

Известно, что облака различных форм, включая волнистообразную и слоистообразную облачность, и связанные с ними опасные явления погоды (плохая видимость, осадки в виде дождя и снега, обледенение и др.) оказывают существенное влияние на деятельность Вооруженных сил (ДВС), и прежде всего, на безопасность взлета и посадки, полетов и перелетов летательных аппаратов.

Исходя из этого, актуальной является задача по поиску методов и средств, позволяющих устранить или в значительной мере снизить отрицательное влияние облаков и туманов на военную деятельность. Проводимые мероприятия, связанные с повышением достоверности прогноза облачности различных форм, совершенствованием методов и средств космической метеорологии, не способны сегодня решить эту проблему в полной мере. Поэтому в последние годы для этих целей предлагается использовать методы и средства модифицирования облаков и туманов.

В связи с этим в настоящей работе приведены результаты оценивания возможности рассеяния слоистообразной и волнистообразной облачности над северным районом Европейской территории России (ЕТР).

Сведения об агрегатном состоянии облаков различных форм и их расслоенности, представляющих значительный интерес для ГМО, приведены в ряде фундаментальных справочников [1, 2] и монографий [3, 4]. В отдельных работах эти характеристики облаков рассматриваются для конкретных районов, например, Украины [5], Северного Казахстана [6]. Однако исследований, содержащих детальные сведения о характеристиках слоистообразной и волнистообразной облачности над северным районом ЕТР в интересах ГМО для планирования и проведения работ по рассеянию облаков, практически нет. С целью восполнения данного пробела авторами выполнена обработка материалов самолетного зондирования атмосферы (СЗА) ТАЭ-7,7 м (свыше трех тысяч подъемов самолетов-зондировщиков) над Архангельском за период 1953–1964 гг.

Данные СЗА, полученные для района Архангельска, считались репрезентативными для северного района ЕТР в соответствии с результатами исследований про-

странственной изменчивости характеристик слоистообразной облачности [7]. Как показано в упомянутой работе, данные о характеристиках облачности могут быть распространены на значительные площади (сотни кв. км) без существенных временных изменений. Исследование временной устойчивости состояний волнистообразных и слоистообразных облаков показало, что вероятность сохранения сплошной облачности, например, над центральными, северными и северо-западными районами России зимой в течение 24 часов составляет 0,75 [8]. Следовательно, характеристики облачности, полученные в районе зондирования г. Архангельск могут быть отнесены к северному району ЕТР. В этом смысле данные для одного пункта, над которым располагается центральная часть облачного массива, могут считаться репрезентативными и показательными для всего рассматриваемого района.

При анализе материалов СЗА к внутримассовой волнистообразной облачности (ВВО) были отнесены сплошные одно- и многослойные слоистые (St) и слоисто-кучевые (Sc) облака, наблюдающиеся как самостоятельно, так и в сочетании с высоко-кучевыми (Ac) облаками.

При определении фронтальной слоистообразной облачности (ФСО) рассматривались два класса облаков. К первому относились слоисто-дождевые облака (Ns), наблюдающиеся как самостоятельно, так и в сочетании с другими формами облаков, включая и высоко-слоистые (As), а ко второму – высоко-слоистые облака, наблюдающиеся как самостоятельно, так и в сочетании с другими формами облаков.

Исследование характеристик ВВО проводилось не раздельно по формам облачности, а по их совокупности, поскольку слоистые и слоисто-кучевые облака достаточно близки между собой как по внешнему виду, так и по условиям их образования. Облака этих форм в основном располагаются под слоями инверсии. Кроме того, они образуются в большинстве своем в пограничном слое атмосферы [9]. Изучение характеристик ФСО проводились, как правило, отдельно для теплого (апрель–сентябрь) и холодного (октябрь–март) полугодий, а ВВО – по месяцам, сезонами и полугодиям.

Привлечение материалов СЗА для выполнения настоящей работы объясняется тем, что они содержат наиболее надежные данные о характеристиках облаков различных форм [10]. Использование этих данных, как показано в работе [11], вполне оправдано. Авторы данной работы пришли к выводу, что материалы СЗА достаточно хорошо отражают распределение облачности и характеристики её, полученные по этим материалам, являются вполне надежными.

Исследование характеристик облачности в интересах ГМО (главным образом для ее рассеяния в интересах решения конкретных прикладных задач) предполагает, прежде всего, получение данных о повторяемости облаков различных форм в конкретных районах.

Так, анализ приведенных в табл. 1 данных, наглядно свидетельствует о том, что над северным районом ЕТР в течение года преобладающей формой облаков является слоистая и слоисто-кучевая. Повторяемость только слоистых - слоисто-кучевых облаков в холодное полугодие составляет 36,1%, в теплое – 23,2%. Следовательно, можно ожидать, что облака этих форм, наблюдающиеся как самостоятельно, так и в сочетании с высоко-кучевыми облаками, будут одним из основных объектов исследования в интересах ГМО с целью их рассеяния.

Таблица 1

Относительная повторяемость (%) сплошной облачности различных форм над северным районом ЕТР

Пункт	Наблюдаются							Число подъемов самолетов-зондировщиков
	Только St-S, одно- и многослойные	St-Sc в сочетании с Ac	Ns	As	Только Ac	Только Cu	Cu, Cb, в сочетании со St-Sc, Ac	
Архан-гельск	36,1 / 23,2	4,2 / 7,4	37,0 / 19,6	13,5 / 12,9	4,0 / 14,9	4.2 / 16	1,0 / 6,0	1637 / 1366

Примечание: В числителе приведены данные, относящиеся к холодному полугодию, в знаменателе – к теплому.

Другим объектом исследования в интересах ГМО с целью модифицирования над северным районом ЕТР являются фронтальные облака, содержащие системы слоисто-дождевых и высоко-слоистых облаков. Так, на повторяемость фронтальных слоисто-дождевых облаков в холодное полугодие над рассматриваемым районом приходится 37,0 %, в теплое – 19,6 % соответственно. Значения повторяемости фронтальных высоко-слоистых облаков находятся в пределах 13–14 %.

Данные о расслоённости облаков различных форм необходимы для обоснования методики воздействия, выбора химических реагентов и оценивания общего эффекта операций по модифицированию облаков с конкретной целью (в частности, их рассеяния).

С учетом вышеизложенного в табл. 2 приведены данные, характеризующие расслоённость ВВО над рассматриваемым районом. Анализ данных о расслоённости ВВО наглядно свидетельствует о том, что над северным районом ЕТР в течение года чаще всего наблюдается однослойная облачность. Повторяемость однослойных слоистых и слоисто-кучевых облаков в течение года над данной территорией превышает 85 %.

Повторяемость двухслойной ВВО, как правило, в течение года не превышает 14 %. Трех- и четырехслойные облака наблюдаются в единичных случаях.

Таблица 2

Повторяемость (%) одно- и многослойной внутримассовой слоистообразной облачности над северным районом ЕТР

Сезон	Число облачных слоев				Число подъемов самолетов-зондировщиков
	один	два	три	четыре	
Зима	85,7	13,5	0,4	0,4	281
Весна	88,5	10,3	1,2	–	165
Лето	86,7	12,0	1,3	–	158
Осень	88,0	11,3	0,7	–	300

Значительная повторяемость однослойных ВВО объясняется тем, что эти облака в большинстве случаев являются подынверсионными. Исследование распределения температуры в слоистых, слоисто-кучевых облаках и вблизи их границ также свидетельствует о преобладающем наличии слоя инверсии (77,8 % – в холодное и 60,7 % в теплое полугодия) над облаками этих форм.

Данные о расслоенности фронтальных слоистообразных облаков (ФСО) по полугодиям и в течение года для рассматриваемого района приведены в табл. 3.

Таблица 3

Повторяемость (%) одно- и многослойных фронтальных слоистообразных облаков над северным районом ЕТР

Полугодие	Число облачных слоев					Число подъемов самолетов-зондировщиков
	один	два	три	четыре	пять	
Холодное	56,3 / 41.1	35,0 / 40,1	7,7 / 15,0	0,8 / 3,5	0,2 / 0,3	517 / 314
Теплое	45,1 / 41,9	33,5 / 38,5	19,1 / 17,0	- / 6	- / -	173 / 270
Год	53,5 / 41,4	34,6 / 39,4	10,6 / 15,9	1,0 / 3,1	0,3 / 0,2	690 / 584

Примечание: В числителе приведены данные, относящиеся к ФСО с осадками, в знаменателе – без осадков.

Общим для ФСО является преобладание облаков с числом слоев не более трех. На повторяемость облаков с осадками с таким числом слоев в течение года над рассматриваемым районом приходится 98,7 %, без осадков – 96,7 %.

С учетом полученных данных о расслоенности облаков можно предположить, что рассеяние ФСО (особенно с осадками) сопряжено со значительными сложностями в силу наличия трех и более облачных слоев. Рассеяние же ВВО может быть осуществлено более гарантированно.

Кроме того, данные о расслоенности облачных систем позволяют заключить, что воздействие на ВВО как с целью рассеяния, так и вызывания осадков в силу преобладающего наличия однослойной облачности над рассматриваемым районом может быть осуществлено одним самолетом. Засев ФСО почти в половине случаев должен проводиться с использованием двух и более самолетов, так как возникает необходимость засева каждого слоя при использовании таких реагентов, как йодистое серебро, ацетилацетонат меди и др. при воздействии твердой углекислоты в виде гранул большого диаметра (до 1 см и более) возможно применение одного самолета. Однако в этом случае уменьшается вероятность достижения положительного результата и возрастает расход реагента (в частности, твердой углекислоты) [9].

Практика работ по воздействию на переохлажденные волнистообразные и слоистообразные облака показала, что успех может быть достигнут не всегда, а только при определенном сочетании их характеристик, получившем название критерия пригодности облаков к модифицированию. Такие критерии пригодности к воздействию с целью вызывания (интенсифицирования) осадков и рассеяния облачного покрова были получены в ходе многочисленных натурных экспериментов [5]. В частности, пригодными к рассеянию считались переохлажденные слоистообразные и волнистооб-

разные облака капельного или смешанного строения, со средней для облачного слоя температурой не выше минус 3ºС и вертикальной протяженностью слоя не более 1000 м [5].

С учетом полученного выше критерия пригодности переохлажденных слоистообразных и волнистообразных облаков к рассеянию возникает необходимость в получении данных о фазовой структуре облаков и их вертикальной протяженности. Так, на рис. 1 и в табл. 4 приведены данные о повторяемости фазовой структуры ВВО над Архангельском по месяцам, сезонам и полугодиям.

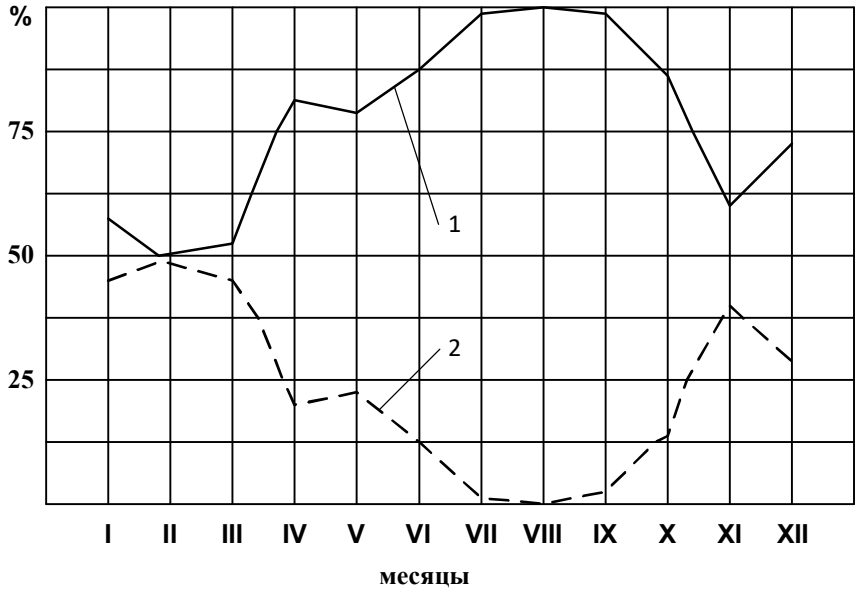


Рис. 1. Повторяемость (%) фазового состояния ВВО (г. Архангельск): 1 – жидкокапельная фаза; 2 – смешанная фаза (кристаллическая фаза составляет менее 2%)

Таблица 4

Повторяемость (%) фазового состояния внутримассовых слоистообразных облаков над Архангельском

Фазовое состояние облаков	Сезон				Полугодие	
	зима	весна	лето	осень	холодное	тёплое
Капельное	60,3	68,0	96,2	80,4	64,5	92,4
Смешанное	38,7	31,1	3,8	19,4	34,6	7,6
Кристаллическое	1,0	0,9	-	0,2	0,9	-
Число случаев	375	225	237	408	772	473

Из анализа полученных данных следует, что в течение года (за исключением января, февраля и марта) наблюдается преобладание жидкокапельной фазы в ВВО.

При этом характерно увеличение повторяемости капельной фазы от зимы к лету, что вполне закономерно объясняется ростом температуры в этот период. Из полученных результатов также следует, что ВВО могут быть не только капельными, но и смешанными, особенно в месяцы холодного полугодия. Наибольшая повторяемость

смешанной фазы в этих облаках наблюдается над Архангельском в период ноябрь – март (40,1…48,5 %). В остальные месяцы года повторяемость смешанной фазы в ВВО, как правило, не превышает 10…20 %.

Полностью кристаллические слоистые, слоисто-кучевые облака над рассматриваемым районом встречаются крайне редко. Для района Архангельска такие облака наблюдаются не чаще, чем в 2 % случаев.

Приведенные в табл. 5 результаты исследования фазового состояния фронтальных слоистообразных облаков над выбранным районом указывают на то, что эти облака (в отличие от ВВО) имеют гораздо более сложную фазовую структуру (выделено девять типов распределения фаз в облаках). В большей степени это относиться к слоисто-дождевым и высоко-слоистым облакам, а также к облачным системам слоисто-дождевые – высокослоистые.

В связи с этим можно ожидать, что воздействия на ФСО с целью их рассеяния будет представлять значительные сложности. Кроме того, облака этих форм имеют значительную вертикальную протяженность. Поэтому воздействия на ФСО (и особенно на облачные системы слоисто-дождевые-высокослоистые целесообразно осуществлять с целью интенсифицирования осадков.

Таблица 5

Повторяемость (%) фазового состояния фронтальных слоистообразных облаков (г. Архангельск)

Тип ФСОБЛ	Фазовое состояние облаков (ФСОБЛ)	Холодное полугодие		Теплое полугодие	
		NS, Ns-As	As	NS, Ns-As	As
I	Капельное	18,5 / 43,8	3,1 / 4,8	40,0 / 68,7	27,0 / 15,1
II	Капельное до *H*, выше – смешанное	67 / 5,0	09 / 1,1	27,0 / 9,8	8,1 / 4,0
III	Капельное до *H*, выше – кристаллическое	-	-	0,7 / -	2,7 / -
IV	Смешанное	61,0 / 44,0	63,9 / 62,4	21,7 / 16,1	48,7 / 56,6
V	Смешанное до *H*, выше – капельное	-	-	-	-
VI	Смешанное до *H*, выше – кристаллическое	8,0 / 2,2	4,8 / 4,2	2,0 / 2,7	2,7 / 5,6
VII	Кристаллическое	4,7 / 5,0	26,9 / 27,5	2,0 / 2,7	5,4 / 17,7
VIII	Кристаллическое до *H*, выше – смешанное	1,1 / -	0,4 / -	6,6 / -	5,4 / 1,0
IX	Капельное до *H*, выше до H_1 – смешанное, выше – кристаллическое	1,1 / -	0,4 / -	6,6 / -	5,4 / 1,0
	Число случаев	464 / 179	227 / 189	152 / 112	37 / 198

Примечание: В числителе приведены данные, относящиеся к ФСО с осадками, в знаменателе – без осадков

Оценка необходимости проведения работ по модифицированию облаков и туманов неразрывно связана с исследованием вопроса о повторяемости этих атмосферных образований в различных районах. Различие в методах и средствах воздействия на облака и туманы вследствие подразделения их по температуре на теплые (наблюдаются при значениях температуры воздуха выше 0 ºС) и переохлажденные (наблюдаются при значениях температуры воздуха ниже 0 ºС) обусловило необходимость проведения такого исследования.

Анализ литературных данных показывает, что в опубликованных по этому вопросу работах чаще всего приведены сведения об общей повторяемости облаков и туманов. Число работ, содержащих материалы непосредственно о повторяемости теплых и переохлажденных облаков и туманов, незначительно [12].

На основании вышеизложенного в результате обработки материалов СЗА на рис. 2 и в табл. 6 приведены данные о повторяемости переохлажденных однослойных ВВО над выбранным районом.

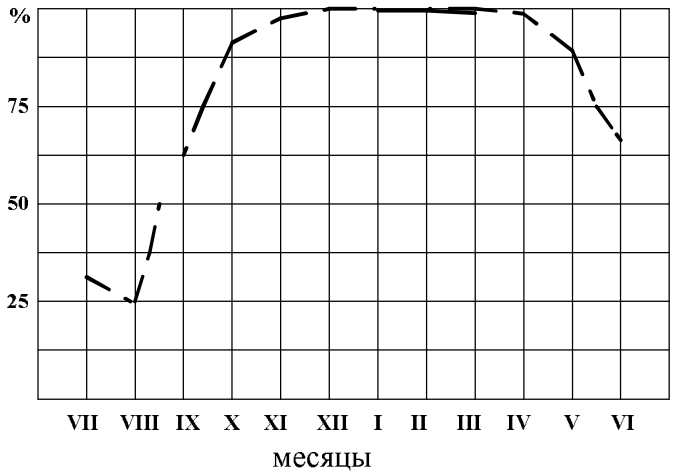


Рис. 2. Повторяемость (%) переохлажденных ВВО (г. Архангельск)

Таблица 6

Повторяемость (%) переохлажденных однослойных ВВО

Пункт	Сезон				Полугодие		Год
	зима	весна	лето	осень	холодное	теплое	
Архангельск	100,0	94,6	39,1	86,8	97,5	58,5	84,0

Данные зондирования о преобладающей повторяемости переохлажденных ВВО над выбранным районам, особенно в холодное полугодие, имеют практическое значение, поскольку на современном этапе наиболее разработанными и практически внедренными являются методы и средства воздействия именно на переохлажденные облака и туманы [13]

Средние значения вертикальной протяженности ВВО и ФСО (без осадков), полученные в результате обработки материалов СЗА над Архангельском и приведенные в табл. 7, позволяют сделать определенные выводы применительно к решению задачи по рассеянию облаков.

Таблица 7

Средние значения вертикальной протяженности ВВО и ФСО (без осадков) над Архангельском

Виды облаков	Сезон				Полугодие	
	зима	весна	лето	осень	холодное	тёплое
ВСО	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
ФСО	0,72	0,68	1,24	0,98	0,72	1,24

Как следует из полученных данных, ВВО оказываются пригодными к рассеянию по значению вертикальной протяженности в течение всего года, а ФСО – зимой, весной и осенью. И только летом в теплое полугодие значения вертикальной протяженности ФСО превышают 1000 м, что не позволит получить при воздействии положительный результат по рассеянию облаков.

На основании полученных в работе данных о характеристиках ВВО и ФСО, а также с учетом критерия пригодности переохлажденных слоистообразных и волнистообразных облаков к рассеянию, на рис. 3 и в табл. 8 приведены количественные оценки пригодности к рассеянию указанных видов облачности над Архангельском.

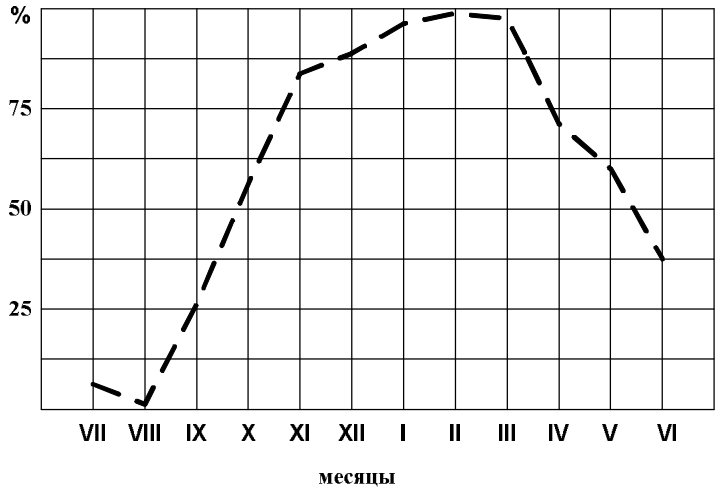


Рис. 3. Оценки (%) пригодности к рассеянию переохлажденных ВВО (г. Архангельск)

Таблица 8

Оценки пригодности (%) к рассеянию переохлажденных ВВО и ФСО (г. Архангельск)

Виды облаков	Сезон				Полугодие	
	зима	весна	лето	осень	холодное	тёплое
ВВО	93,9	75,5	12,0	57,6	84,5	29,5
ФСО (без осадков)	50	28,7	9,4	21,4	37,7	16,3

Из анализа полученных данных следует, что наиболее благоприятные условия для модифицирования переохлажденных ВВО с целью их рассеяния наблюдаются в месяцы холодного полугодия (84,5 %) с максимумом повторяемости, приходящимся

февраль. Зимой оценки пригодности облаков к рассеянию самые высокие (93,9 %). В летний период в связи с повышением температуры воздуха пригодные к рассеянию облака встречаются реже всего (как правило, не более чем в 12 % случаев). Однако в переходные сезоны оценки пригодности облаков к рассеянию остаются достаточно высокими, особенно весной (75,5 %), снижаясь осенью до 57,6 %. Полученные оценки пригодности переохлажденных ВСО к рассеянию по сезонам вполне закономерно объясняются сезонным ходом распределения температуры воздуха в рассматриваемом районе.

Анализ полученных в работе данных свидетельствует также о том, что над северным районом ЕТР к рассеянию ФСО наблюдаются гораздо реже (не более 50 % зимой).

Выводы

1. Установлено, что внутримассовые волнистообразные облака являются в большинстве случаев однослойными (более 80 % в течение года), жидкокапельными, переохлажденными что является благоприятным фактором для проведения операций по рассеянию облаков.

Фронтальные слоистообразные облака в силу их значительной расслоенности, сложной фазовой структуры и значительной вертикальной протяженности не позволяют рассчитывать на получение положительного результата для рассеяния.

2. Показано, что пригодные к рассеянию переохлажденные внутримассовые волнистообразные облака чаще всего наблюдаются в холодное полугодие (84,5 %) с максимумом, приходящимся на зиму (93,9 %). Пригодные к рассеянию фронтальные слоистообразные облака без осадков отмечаются главным образом зимой (не более 50 %).

3. Полученные в работе данные имеют практическую ценность, поскольку они позволяют, не проводя непосредственно натурные эксперименты, оценить пригодность облаков в конкретном районе к рассеянию химическими реагентами в интересах гидрометеорологического обеспечения деятельности Вооруженных сил Российской Федерации в северном районе Европейской территории России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Облака и облачная атмосфера: Справочник. – Л.: ГМИ, 1990. – 509с.
2. Атмосфера: справочник (справочные данные, модели) – Л.: ГМИ, 1991. – 647 с.
3. Дубровина Л. С. Облака и осадки по данным самолетного зондирования. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 216 с.
4. Баранов А.М. Облака и безопасность полетов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 231с.
5. Половина И. П. Рассеяние переохлажденных слоистообразных облаков и туманов. – Л.: ГМИ, 1980. – 213 с
6. Титов Л. В. Микроструктура и водность облаков над Северным Казахстаном // Сборник работ по региональной синоптике. – Алма-Ата, 1968. – Вып. 3. – С. 15–28.
7. Сонечкин Д. М., Хандурова И. С. Результаты исследования пространственной изменчивости облачности над Европейской частью СССР // Труды Гидрометцентра. – 1969. – Вып. 50. – С. 37–46.
8. Волкова В. И. Вероятность сохранения состояний облачности через различные интервалы времени над отдельными районами Советского Союза // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 1976. – Вып. 49. – С. 20–24.
9. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 751 с.
10. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Часть IV. Вып. V. Наставление по самолетному зондированию. – Л.: Гидрометеоиздат, 1958. – 158 с.

11. Заварина М. В., Гауль М. А. Некоторые характеристики слоистообразных облаков в зоне недостаточного увлажнения Европейской территории СССР // Труды ГГО. – 1966. – Вып. 200. – 88–94 с.
12. Ружейников Ю. В. Аэроклиматические характеристики теплых облаков над центром Европейской территории СССР // Тр. НИИАК. – 1970. – Вып. 66. – С. 152–162.
13. Колосков Б. П., Корнеев В. П., Щукин Г. Г. Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов. – СПб.: РГГМУ. – 2012. – 341 с.

ASSESSMENT THE POSSIBILITY OF DISSIPATION OF UNDULATUS AND STRATIFORM CLOUDS IN INTERESTS OF HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT

A. P. Doronin, G. G. Shchukin, V. M. Petrochenko, O. I. Didyk, S. A. Shmalko
(Mozhaisky Military Space Academy)

In the article on the basis of processing of aircraft sounding materials of the atmosphere over Arkhangelsk the assessment of the possibility of dissipation undulatus and stratiform clouds in interests of hydrometeorological support is made.

УДК 551.46

СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ В ВМС ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

А. Ф. ЗЕНЬКОВ, С. И. МАСТРЮКОВ
(ОАО «ГНИНГИ»)

Рассмотрена история создания, а также состояние и тенденции развития систем оперативной океанологии (СОО) за рубежом. Эти сведения могут представлять интерес при создании отечественной СОО в интересах ВМФ России.

Оперативной океанологией принято называть деятельность по производству и обработке систематических измерений состояния морей, океанов и атмосферы, а также прогнозированию на постоянной регулярной основе «погоды океана», т. е. состояния гидрофизических полей в диапазонах синоптической и мезомасштабной изменчивости [1]. Соответственно, СОО называют совокупность средств и методов сбора, обработки и передачи данных, необходимых для прогнозирования «погоды океана». Ядром СОО являются гидродинамические модели океана, в которых для задания начальных условий используются разнородные данные наблюдений, усваиваемые с применением специальных методов, а в качестве граничных условий численных моделей используются результаты прогнозирования состояния атмосферы.

Актуальность развития национальных СОО вызвана прежде всего необходимостью информационной поддержки военно-морской деятельности и в первую очередь – требованием обеспечения скрытности подводного плавания. До недавнего времени эта задача решалась снижением шумности и размеров подводных лодок [2], сейчас ее решение связывают с развитием подводных аппаратов [3] и повышением качества обеспечения информации о физических полях океана. В современных условиях развитие отечественной СОО является не только актуальной, но и весьма престижной задачей, поскольку наличие национальной системы оперативной океанологии является интегральным показателем научно-технического уровня развития страны.

В России накоплен некоторый опыт создания оперативных технологий прогнозирования состояния океана [4–6], что в совокупности с наличием международных систем мониторинга состояния океана и требуемых вычислительных мощностей создаёт предпосылки создания отечественной СОО.

Вместе с тем наличие отечественной СОО не гарантирует успешное решение задач повышения эффективности применения гидроакустических средств, обеспечения скрытности и безопасности подводного плавания. Для этого должны быть созданы условия внедрения СОО в практику ГМО ВМФ. Чтобы достигнуть эту цель, полезно учесть зарубежный опыт и понять роль и место СОО в системе информационного обеспечения ВМФ.

СОО следует рассматривать как составную часть системы гидрометеорологического обеспечения (ГМО). Кратко рассмотрим особенности систем ГМО. Любая система ГМО имеет иерархическую структуру, которую можно представить в виде пирамиды, изображенной на рис. 1.

Рис. 1. Принципиальная схема системы ГМО

В основе системы ГМО лежит подсистема освещения гидрометеорологической обстановки и подсистема обработки данных и прогнозирования состояния среды, а вершину пирамиды ГМО составляют подсистемы оценки влияния среды и выработки решений с учётом состояния среды. Движение информации происходит с нижних этажей пирамиды к верхним Весь огромный объём исходных данных трансформируется в решение, принимаемое с учётом состояния среды. В свою очередь требования к подсистемам ГМО движутся сверху вниз – от верхних этажей пирамиды к расположенным ниже. В ВМС зарубежных стран уже давно была осознана потребность в информации о состоянии гидрофизических полей высокой степени пространственного и временного разрешения. Для реализации потребности в такой информации в ряде стран выполнены необходимые мероприятия по развитию подсистем мониторинга и прогнозирования. СОО ограничивается двумя первыми этажами пирамиды ГМО. Опыт развития СОО в ВМС США свидетельствует о необходимости сбалансированного развития этих подсистем.

Впервые задача прогнозирования погоды океана в интересах ВМС по аналогии с прогнозированием погоды атмосферы была поставлена специалистами ВМС США на семинаре в Монтерее 40 лет назад – в мае 1976 г. [7]. К ее решению были привлечены ведущие промышленные и научные организации. Вскоре стало понятно, что для решения поставленной задачи возможностей традиционных средств наблюдения за состоянием океана недостаточно. Параллельно с развитием численных моделей прогнозирования начали развиваться принципиально новые средства дистанционного слежения за океаном (прежде всего, спутниковые), а также системы усвоения данных разнородных измерений. В 1978 г. запущен в космос КА «SEASAT», в состав оборудования которого вошли новые средства слежения за океаном. Наиболее информативным для целей оперативной океанологии оказались спутниковые альтиметры, позволяющие по данным о возвышениях уровенной поверхности океана в совокупности с гидродинамическими моделями океана оценивать вертикальную структуру гидрофизических полей. Возвышения уровня в открытых районах океана вызваны неоднородностями поля плотности океана, что и является предпосылкой для того, чтобы «заглянуть внутрь океана» из космоса.

Через семь лет после постановки задачи, в 1983 г., в Центре численной океанографии ВМС США были проведены четырёхмесячные испытания и внедрена в эксплуатацию первая оперативная система прогнозирования состояния океана – Thermodynamic Ocean Prediction System (TOPS) [8]. Эта система была основана на упрощённой модели Меллора-Ямады и позволяла прогнозировать вертикальное распределение гидрофизических параметров от поверхности до 500 м и толщину верхнего перемешанного слоя. Важнейшей компонентой системы стала подсистема объективного анализа (усвоения) исходных данных и задания начального состояния океана Expanded Ocean Thermal Structure (EOTS).

По результатам очередного семинара «Прогнозирование океана» в 1986 г. было принято решение сконцентрировать усилия на прогнозировании мезомасштабной изменчивости состояния океана на основе применения глобальной системы наблюдений за океаном. Главный океанограф ВМС США поддержал планы международного океанографического сообщества по развитию глобальных систем мониторинга океана и инициировал приобретение суперкомпьютеров для береговых вычислительных центров.

В 1992 г. в ВМС США разработана Программа по развитию моделирования и прогнозирования океана – Navy Ocean Modeling and Prediction Program (NOMP). В этой программе были заложены основные принципы развития СОО и поставлен ряд задач, в том числе задача создания набора сеточных массивов и баз данных климатического характера для информационной поддержки СОО и долгосрочного планирования действий. В период с 1992 по 2002 гг. было разработано и реализовано 17 информационных технологий усвоения и прогнозирования состояния океана и атмосферы.

В дальнейшем, с 2002 по 2014 гг., расширилось применение информации от международных систем мониторинга океана – Global Ocean Data Assimilation Experiment (GODAE), ARGO (по дрейфующим подповерхностным буям), Global Ocean Observing System (GOOS) в качестве исходных данных для СОО, были развиты новые информационные технологии прогнозирования. На развитие моделей природных процессов в океане, информационных технологий прогнозирования и усвоения

данных в ВМС США в этот и последующий периоды ежегодно выделялось 15 – 20 млн. долларов [9].

Основные характеристики современных СОО ВМС США обобщены в работе [10]. Подробный обзор прошлого и настоящего оперативной океанологии в ВМС США, а также ее перспектив содержится в работе [11], где подчёркнуто, что:

– в последнее десятилетие в США и в мире произошли революционные изменения в системе освещения состояния океана, появились новые эффективные средства измерений (спутниковые альтиметрические, буи, автономные необитаемые подводные аппараты, в том числе глайдеры, другие роботизированные системы, ADCP и т. п);

– произошли инновационные изменения в вычислительных, коммуникационных возможностях элементов системы ГМО ВМС США;

– со времён холодной войны приоритет перенесён от глубоководных районов океана с невысокой изменчивостью океана к прибрежным районам с высокой изменчивостью среды;

– в период с 1983 по 2016 гг. степень разрешения прогностической информации в горизонтальной плоскости изменилась с 300 км до 10 км (для моделей глобального масштаба);

– произошёл переход на автоматизированный учёт влияния среды при информационной поддержке принятия решений разного уровня путём включения результатов прогнозирования гидрометеорологических условий и климатических баз данных в АСУ разного уровня и назначения;

– совершенствование систем прогнозирования производится за счёт модернизации систем усвоения разнородных данных, за счёт создания и дальнейшего развития объединённых моделей, выработки ансамблевых прогнозов, перехода к комплексным моделям геосфер;

К 2011 году в ВМС США сложилась современная организационная структура системы ГМО [12]. Полезно кратко рассмотреть её особенности.

В ВМС США в отличие от ВМФ России создана полноценная самостоятельная система ГМО, которая способна функционировать автономно от национальной метеорологической службы. Эта система базируется на возможностях двух мощных береговых вычислительных центров:

– Центра численной метеорологии и океанографии – Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC);

– Военно-морского океанографического офиса – the Naval Oceanographic Office (NAVO).

FNMOC – это крупнейший мировой прогностический центр, обеспечивающий производство прогнозов состояния атмосферы в глобальном и региональном масштабах с высоким пространственным и временным разрешением для Вооружённых сил США и сил коалиции. Центр расположен в г. Монтерей, штат Калифорния [13]. Ежедневно в этом центре генерируется 47 тысяч файлов с атмосферными полями для NAVO. Без этой информации функционирование СОО в ВМС США невозможно.

NAVO – основной центр производства океанографической информации в ВМС США, являющийся ядром СОО [14]. Этот центр отвечает за анализ и прогноз состояния океана, обеспечение безопасности мореплавания и специализированное обеспечение ВМС океанографической информацией. Расположен он в Стеннисовском

космическом центре, штат Миссисипи (Stennis Space Center, Mississippi) и использует его вычислительные мощности.

Численное моделирование океана в NAVO имеет иерархическую структуру. Ежедневный цикл прогнозирования начинается с применения атмосферных и океанических моделей глобального масштаба, затем применяются модели океана регионального и локального масштабов со всё более высокой степенью пространственного разрешения.

Некоторая часть информации, вырабатываемой системой оперативной океанологии ВМС США, основанной на модели глобальной циркуляции океана Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM), имеется в свободном доступе. Так, на сайте Военно-морской лаборатории США [15] доступны результаты моделирования возвышений уровня (SSH), температуры поверхности (SST) и солёности на поверхности (SSS), течений на поверхности в глобальном масштабе, а также по 45 отдельным районам Мирового океана. Схема нарезки этих районов приведена на рис. 2.

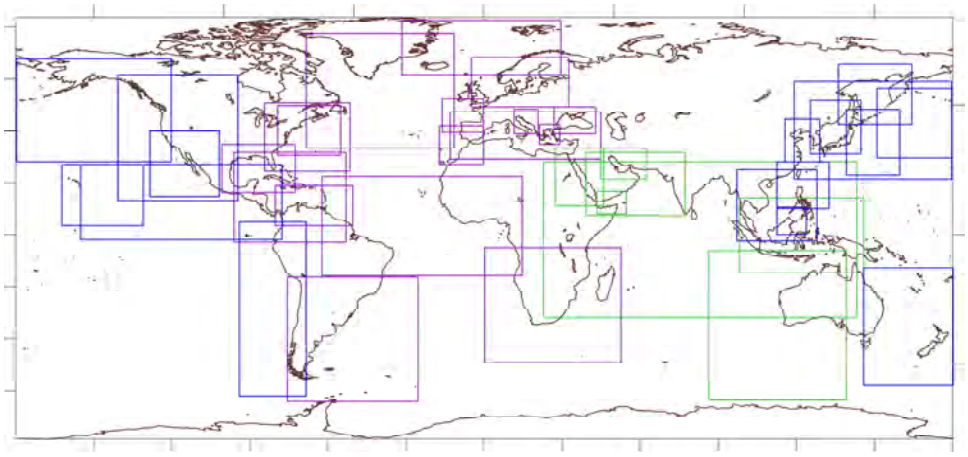


Рис. 2. Нарезка районов для отображения результатов расчёта по модели циркуляции океана HYCOM [15]

Модель циркуляции океана HYCOM имеет горизонтальное разрешение 1/12°, заблаговременность 7 суток. В вертикальной плоскости данные представлены на 40 горизонтах с толщиной слоевот одного метра у поверхности до тысячи метров в глубоководных слоях океана. Для задания граничных условий в модели HYCOM используются результаты работы полуградусной модели циркуляции атмосферы – NAVGEM, которая эксплуатируется в FNMOC.

К 2020 г. в ВМС США планируется усовершенствовать модели природной среды путём создания объединённых моделей литосферы, океана, ледяного покрова, волнения, атмосферы и ближнего космоса. При этом для повышения заблаговременности прогноза планируется перейти к прогнозированию на основе разработки ансамбля прогностических решений в глобальном, региональном и локальном (для прибрежных районов) масштабах охвата [11, 14–19].

В последние годы СОО переживают период бурного развития не только в США, но и в других странах. Названия и электронные адреса сайтов основных зарубежных СОО приведены в таблице.

Перечень зарубежных СОО [16]

Страна	Название системы	URL
Австралия	BLUElink Ocean forecasting Australia	http://www.bom.gov.au/oceanography/forecasts/system-info.shtml
Канада	CONCEPTS The Canadian Operational Network of Coupled Environmental Prediction Systems	http://http//www.dfo-mpo.gc.ca/science/oceanography-oceanographie/model-eng.html
Великобритания	FOAM – Forecasting Ocean Assimilation System	http://www.ncof.co.uk/FOAM-System-Description.html
США	US Naval Oceanographic Office – HYCOM ; NCOM – NRL Coastal Ocean Model	http://www.hycom.org/
	NOAA/NCEP – RTOFS – Real-time Ocean Forecast System	http://polar.ncep.noaa.gov/ofs/
Франция	Mercator Ocean	http://www.mercator-ocean.fr/
Италия	MFS Ocean Forecasting System for the Mediterranean Sea	http://gnoo.bo.ingv.it/mfs/
Япония	MOVE – Multivariate Ocean Variational Estimation Meteorological Research Institute	http://www.mri-jma.go.jp/Dep/oc/oc.html
Китай	NMEFC – National Marine Environmental Forecast Centre of China	http://english.nmefc.gov.cn/index.php
Бразилия	REMO – Oceanographic Modeling and Observation Network	http://www.rederemo.org/
Норвегия	TOPAZ – Towards an Operational Prediction system for the North Atlantic European coastal Zones	http://topaz.nersc.no/
Индия	INCOIS – Indian National Centre for Ocean Information Services/ INDOFOS – Integrated Indian Ocean Forecasting System	http://www.incois.gov.in/Incois/indofos_main.jsp

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что СОО созданы и в ряде развивающихся стран, у которых собственные системы спутникового мониторинга океана отсутствуют.

Ниже дана интегральная оценка тактико-технических характеристик зарубежных СОО.

1. Состав гидрофизических параметров:
   а) температура воды;
   б) солёность воды;
   в) плотность воды;
   г) скорость звука в воде;
   д) горизонтальные компоненты скорости течений;
2. Охват:
   а) в горизонтальной плоскости – глобальный, региональный, локальный,
   б) в вертикальной плоскости – от поверхности до дна;
3. Горизонтальное разрешение:
   а) в глобальном масштабе – 1/4…1/12°;

б) в региональном масштабе – 1/12 … 1/36°;

в) в локальных прибрежных районах – 1/30° и меньше, до десятков метров;

4. Вертикальное разрешение – в верхнем слое – 1–10 м, всего 30–50 слоёв (уровней);
5. Период осреднения от 6 часов до суток;
6. Заблаговременность – в зависимости от масштаба от 10 до 2 суток;
7. Периодичность обновления прогноза – 1–4 раза в сутки.

К числу дополнительных параметров, важных для поддержки принятия решений, относят большое число косвенно определяемых характеристик морфологической структуры гидрофизических полей, например, толщину верхнего перемешанного слоя, положение и вертикальные градиенты в слое скачка, положение фронтальных зон и вихревых образований.

Анализ технологий построения и функционирования СОО в нашей стране и за рубежом показывает, что, помимо данных оперативных наблюдений, необходимо иметь сведения:

– о рельефе дна;
– о фоновых полях гидрофизических параметров (сеточные массивы температуры, солёности воды);
– о режиме расхода рек.

Сведения о рельефе дна, климатических полях температуры и солёности морской воды при построении гидродинамических моделей как ядра СОО вырабатываются специализированными научно-исследовательскими организациями.

Таким образом, анализ развития СОО за рубежом показывает, что:

1. Наличие СОО в ВМС зарубежных государств рассматривается как необходимое условие для безопасности и скрытности подводного плавания. Более чем в десяти странах мира созданы системы оперативной океанологии. В России система оперативной океанологии отсутствует.

2. Ключевыми элементами СОО являются:

а) система освещения состояния океана для задания начальных условий, наиболее важным компонентом которой является спутниковая система слежения за возвышениями уровенной поверхности;

б) система усвоения данных разнородных наблюдений гидродинамическими моделями;

в) гидродинамические модели океана или объединённые модели океана, льда, атмосферы…).

3. В России имеются организации, располагающие необходимым потенциалом и опытом, пригодным для создания отечественной СОО. К числу таких организаций относятся Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Морской гидрофизический институт РАН, Гидрометцентр РФ, ААНИИ и другие НИУ Росгидромета.

4. При создании отечественной СОО в качестве базовых требований могут быть использованы изложенные выше показатели достигнутого зарубежного уровня СОО. В качестве показателя качества создаваемой СОО рекомендуется использовать информативную эффективность новой информационной продукции по отношению к климатическому прогнозу.

5. Как показывает зарубежный опыт развивающихся стран, создание национальных СОО может базироваться на использовании международных информационных ресурсов, в том числе спутниковой информации.

6. На первом этапе создания прототипа отечественной СОО представляется возможным в максимальной степени использовать имеющиеся зарубежные информационные ресурсы, в том числе сведения международных спутниковых систем мониторинга океана, буев ARGO и т. п.

7. В России имеются все предпосылки для создания СОО. Однако создание отечественной СОО не гарантирует автоматического повышения эффективности военно-морской деятельности. Для этого необходимо интегрировать СОО в систему ГМО ВМФ

8. Другим необходимым условием повышения эффективности военно-морской деятельности за счёт создания СОО является наличие тактических моделей и систем управления, позволяющих адекватно учитывать состояние океана. Эту самостоятельную задачу целесообразно решать параллельно с созданием СОО, не отождествляя и не смешивая эти задачи.

9. При разработке гидродинамических моделей и систем усвоения разнородной информации важно использовать адекватные сведения о рельефе дна и климатических полях гидрофизических параметров. Представляется, что свою лепту в этой части в создание отечественной СОО может внести ОАО «ГНИНГИ».

ЛИТЕРАТУРА

1. What is Operational Oceanography? Сайт Европейского отделения глобальной системы наблюдений за океаном (EuroGOOS). – URL: http://eurogoos.eu/about-eurogoos/what-is-operational-oceanography.
2. Вакс А. И., Мурадян В. А., Сагайдаков Ф. Р. Подводные лодки. Прошлое, настоящее, будущее. – СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, Судостроение, 2001. – С. 125. [Электронный ресурс] – URL: http://q99.it/H2akucp.
3. Гаврилкин С. Н., Микушин И. И. Направления развития подводных робототехнических комплексов для Военно-Морского флота. Пленарные доклады 5-ой Всероссийской научно-технической конференции «Технические проблемы освоения Мирового океана» (ТПОМО-5), 30 сентября – 4 октября 2013 г., г. Владивосток. – Владивосток: Изд-во ИПМТ ДВО РАН, 2013. С. 24–28.
4. Коротаев Г. К., Еремеев В. Н. Введение в оперативную океанографию Черного моря. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2006. – 382 с.
5. Коротаев Г. К., Дулов В. А., Кубряков А. И. и др. Оперативная система диагноза и прогноза состояния Чёрного моря с усвоением спутниковой информации / Космические исследования в Украине 2010–2012. – Киев: Украина, 2012. – С. 87–96.
6. Семенов Е. В. Состояние и развитие гидродинамических моделей в интересах ВМФ // М.: ИО РАН, 2008. – 32 с.
7. Anonymous. Ocean forecasting. EosTransactions // American Geophysical Union. – 1977. – No 58(5). – P. 279–281. – URL: http://dx.doi.org/10.1029/ EO058i005p00279-02.
8. Clancy R. M., Pollak K. D. A real-time synoptic ocean thermal analysis/forecast system // Progress in Oceanography. – 1983. – No 12. – P. 383–424.
9. Fiscal Year 2015 Budget Estimates // Department of Defense, March 2014. – URL: http://www.finance.hq.navy.mil/FMB/15pres/R-3 Book.pdf.
10. Мастрюков С. И., Червякова Н. В. Современное состояние оперативной океанологии ВМС США и других государств // Навигация и гидрография – 2015. – № 40. – С. 70–78.
11. Burnett W., Harper S. et al. Overview of operational ocean forecasting in the US Navy: Past, present, and future. – Oceanography. – 2014. – No 27(3). – P. 24–31.
12. Joint meteorological and oceanographic (METOC) handbook // U.S. Joint Forces Command, 2011. – 293 p. – URL: http://www.dtic.mil/doctrine/doctrine/ jwfc/metoc_hbk.pdf.
13. Портал FNMOC. URL: https://www.fnmoc.navy.mil/.
14. Metzger E. J., Smedstad O. M et al. US Navy operational global ocean and Arctic ice prediction systems // Oceanography. – 2014. – No 27(3). P. 32–43. – URL: http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.66.
15. Real-time 1/12° Global HYCOM Nowcast/Forecast System. Портал NRL. – URL: http://www7320.nrlssc.navy.mil/GLBhycom1-12/skill.html.

16. Портал проекта GODAE. – URL: https://www.godae-oceanview.org/science/ocean-forecasting-systems/system-descriptions.
17. Rowley C., Mask A. Regional and coastal prediction with the Relocatable Ocean Nowcast/Forecast System // Oceanography. – 2014. – No 27(3). – P. 44–55. – URL: http://dx.doi.org/10.5670/ oceanog.2014.67.
18. Veeramony J., Orzech M.D. et al. Navy nearshore ocean prediction systems. – Oceanography/ – 2014. – No 27(3). – P. 80–91. – URL: http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.70.
19. Сайт NEMO – Nucleus for European Modelling of the Ocean. – URL: http://www.nemo-ocean.eu.

STATE AND DEVELOPMENT TENDENCIES OF OPERATIONAL OCEANOLOGY SYSTEMS IN THE NAVIES OF THE FOREIGN COUNTRIES

A. F. Zenkov, S. I. Mastryukov («GNINGI» OJSC)

The information about the history of development, the current state and development tendencies of the systems of operative oceanology (OOS) abroad is presented. It can be of interest when creating the home OOS for the Navy of Russia.

УДК 551.46

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И НА АКВАТОРИИ СЕВЕРНЫХ ЧАСТЕЙ МИРОВОГО ОКЕАНА

С. И. МАСТРЮКОВ, И. В. ЛАВРОВА
(ОАО «ГНИНГИ»)

Приведены результаты создания базы данных судовых метеорологических наблюдений за метеорологической дальностью видимости, на основе которых выполнена оценка повторяемости ограниченной дальности видимости на территории России и акватории северных частей Мирового океана. Показано, что созданная база может быть использована для подготовки морских пособий по гидрометеорологическим условиям мореплавания.

Метеорологическая дальность видимости (МДВ) характеризует оптические свойства атмосферы и представляет собой расстояние, на котором видимый контраст между объектом и фоном становится равным пороговому контрасту глаза человека. МДВ входит в состав стандартных метеорологических наблюдений (измерений). Величина МДВ зависит от ряда факторов (дымка, осадки, туман, метель, пыльная буря и т. п.) и как интегральная характеристика состояния прозрачности атмосферы представляет практический интерес. В то же время в традиционных справочных пособиях порой ограничиваются изложением сведений о климатическом режиме осадков, туманов без количественной оценки климатических показателей МДВ.

Дальность видимости влияет на различные виды человеческой деятельности. Выполнение некоторых из них становится небезопасным или неэффективным при определённых значениях МДВ. Последняя способна оказать критическое влияние на безопасность общего мореплавания, взлёт и посадку авиации, погрузо-разгрузочные работы и т. п. Эффективность работы некоторых средств навигационного оборудова-

ния, оптико-электронных средств поиска и наведения также существенно зависит от дальности видимости. Поэтому создание и поддержание в актуальном состоянии базы данных о МДВ представляется важной задачей климатического обеспечения ВМФ. Ниже приведены результаты разработки такой базы данных для территории России и морских акваторий северного полушария.

Для решения поставленной задачи сформирована база судовых метеорологических наблюдений за видимостью, основанная на данных системы добровольных судовых наблюдений VOS в северной части Мирового океана (Voluntary Observing Ship) [1]. Период обобщения наблюдений – с января 1950 г. по апрель 2016 г. Район – от 0 до 90º с. ш. Общий объем использованных для расчета данных – 94 406 407 наблюдений.

Пространственное распределение количества наблюдений за видимостью по одноградусным ячейкам представлено на рис. 1.

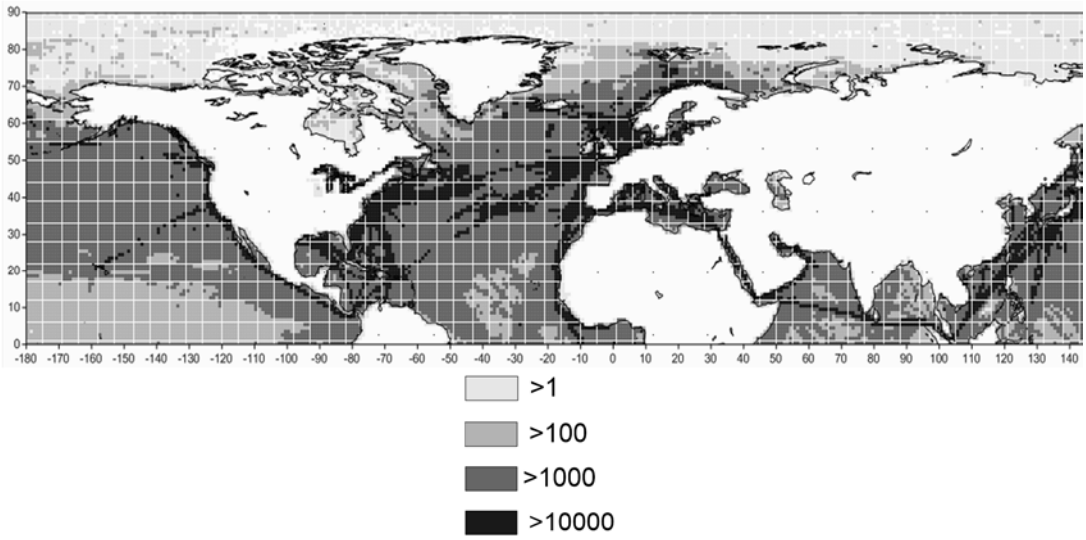


Рис. 1. Распределение общего количества наблюдений по квадратам 1x1 градус

Наибольшая концентрация данных – в центральной и южной частях акватории – более 1000 наблюдений на 1-градусный квадрат. Максимум отмечается на основных трассах морских путей. В северных районах севернее 70º с. ш., где большую часть года мореплавание ограничено ледяным покровом, число наблюдений на порядок меньше. Поэтому для этих районов принято решение дополнять судовые данные наблюдениями на наземных гидрометеорологических станциях. В качестве источников этих данные наблюдений по МДВ использованы архивы, размещённые на сайте «Расписание погоды» [2].

Сайт разработан и сопровождается компанией ООО «Расписание Погоды» с 2004 г. Компания имеет лицензию Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) на формирование и ведение банков данных в области гидрометеорологии и смежных с ней областях. Сайт представляет архивы данных гидрометеорологических наблюдений, прогнозы погоды на ближайшие шесть суток и информацию о фактической погоде, наблюдённую на

наземных станциях по 243 странам мира. Информация о фактической погоде поступает из двух источников: с сервера данных международного обмена, NOAA, США и от автоматической системы передачи данных (АСПД) Росгидромета. Сервер NOAA предоставляет данные наблюдений в форматах SYNOP и METAR, АСПД Росгидромета – в форматах SYNOP и КН-02.

В рамках настоящей работы отобраны исходные данные наблюдений за МДВ по 732 наземным станциям по территории Российской Федерации и прилегающим территориям соседних стран. Схема их расположения приведена на рис. 2. Период наблюдений на станциях – 11 лет – с 2005 по 2016 гг.

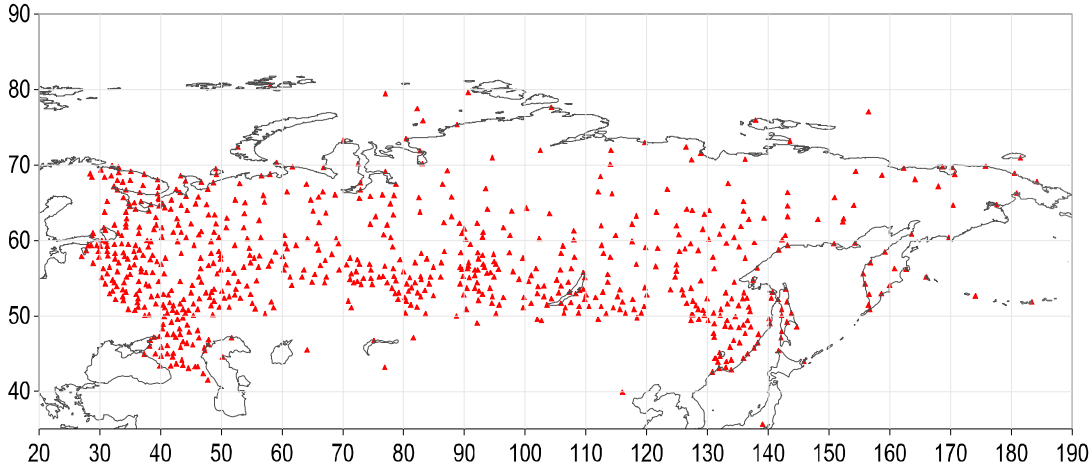


Рис 2. Расположение наземных гидрометеорологических станций

Сформированные массивы данных наблюдений за дальностью видимости прошли основные процедуры контроля качества данных [3, 4].

Как климатические показатели могут быть использованы разные статистические характеристики МДВ, задаваемые потребителями климатической информации.

Для примера в настоящей работе выполнена оценка повторяемости неблагоприятных, сложных и благоприятных условий использования оптико-электронных средств. В качестве условных критериев этих условий заданы значения дальности видимости, согласованные с градациями визуальных метеорологических наблюдений (см. таблицу).

Отметим, что с применением сформированной базы данных могут быть рассчитаны и другие статистические характеристики МДВ.

Ниже, в качестве примера, изложены результаты расчёта повторяемости «неблагоприятных» условий, критерии которых приведены в таблице.

Кодирование наблюдений за МДВ и критерии видов условий

Код	МДВ	Условия
90	0–1/4 кабельтова (0–50 м)	**Неблагоприятные**
91	1/4–1 кабельтова (50–200 м)	
92	1–3 кабельтова (200–500 м)	
93	3–5 кабельтова (500–1000 м)	
94	1/2–1 миля (1–2 км)	
95	1–2 мили (2–4 км)	**Сложные**
96	2–5 мили (4–10 км)	
97	5–11 миль (10–20 км)	**Благоприятные**
98	11–27 миль (20–50 км)	
99	более 27 миль (более 50 км)	

Повторяемостью, относительной частотой или вероятностью попадания случайной величины в i-ую градацию (интервал) называют частное от деления количества значений случайной величины, попадающих в заданный интервал m_i (частоты), к объему выборки $n=\Sigma m_i$ [5, 6]:

$$p_i = \frac{m_i}{n}. \tag{1}$$

В настоящей работе повторяемость выражена в процентах.

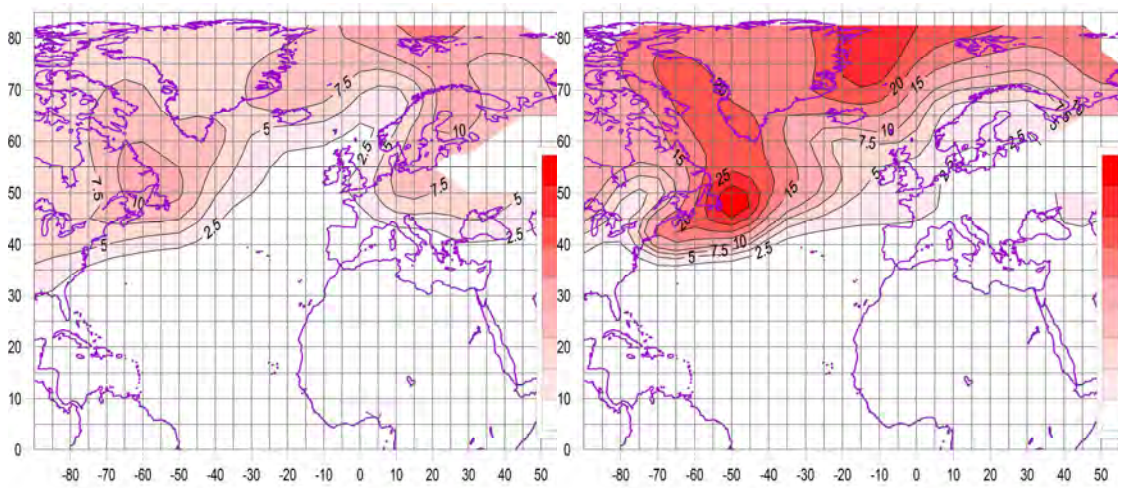
Для оценки среднеквадратической погрешности расчета относительной частоты σ_p (повторяемости попадания в заданную градацию) используется выражение:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}, \tag{2}$$

которое не зависит от вида распределения случайной величины [5, 6].

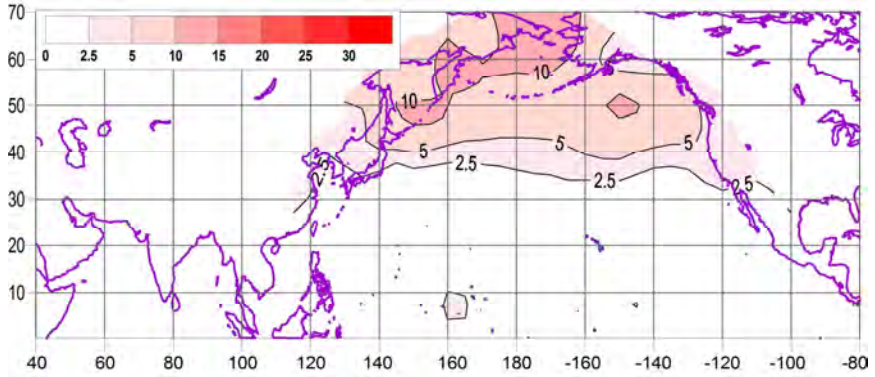
Расчет повторяемости неблагоприятных условий по МДВ на широтах до 70ºс. ш. выполнен по квадратам размером 5х5 градусов, от 70º до 80º с. ш. – 10х20 градусов и от 80º до 90º с. ш. – 10х40 градусов. Всего выделено 769 квадратов (ячеек). В среднем в один месяц в каждую ячейку попадает около 10 000 наблюдений. Используя выражение (2) для характерных значений повторяемости неблагоприятных условий p, установим, что погрешность расчёта повторяемости неблагоприятных условий по МДВ не превышает одного процента.

На рис. 3, 4 приведены картосхемы повторяемости неблагоприятных по МДВ условий в центральные месяцы зимнего и летнего сезонов на акваториях Атлантического (рис. 3) и Тихого (рис. 4) океанов.

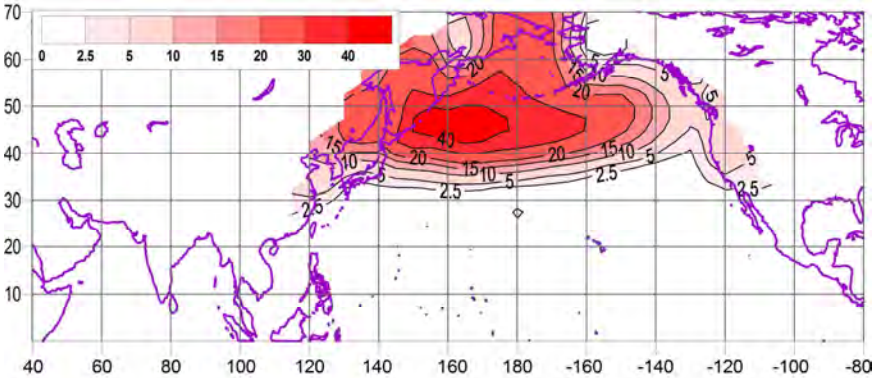


а *б*

Рис. 3. Повторяемость неблагоприятных условий (МДВ менее 2 км) в северной части Атлантического океана в январе (*а*), и в июле (*б*)



а



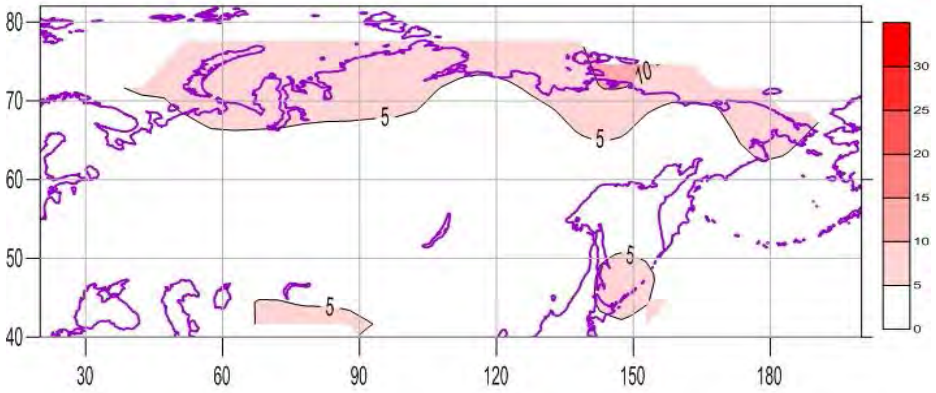
б

Рис. 4. Повторяемость неблагоприятных условий (МДВ менее 2 км) в северных частях Индийского и Тихого океанов и прилегающих морях в январе (*а*) и в июле (*б*)

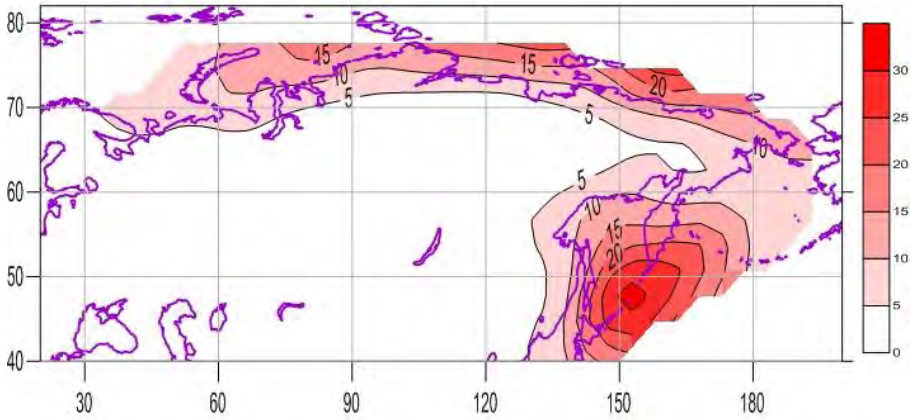
Отметим высокую пространственную и сезонную изменчивость повторяемости неблагоприятных по МДВ условий на морских акваториях северного полушария. Так, если на акватории низких широт (южнее 30° с. ш.) повторяемость неблагоприятных условий круглый год не превышает 1 %, то в высоких широтах в отдельных районах Тихого океана (Курильские и Алеутские острова) в июле она достигает 45 %, а в северной части Атлантического океана (в районе острова Ньюфаундленд, у побережья Гренландии, в Гренландском море и на севере Баренцева моря) достигает 20–25 %.

В сезонном ходе в высоких широтах наиболее неблагоприятные условия отмечаются летний период – в июле и августе.

На рис. 5 приведены схемы повторяемости неблагоприятных по МДВ условий в центральные месяцы зимнего и летнего сезонов по данным наземных станций.



а



б

Рис. 5. Повторяемость неблагоприятных условий (МДВ менее 2 км) на территории России в январе (*а*) и в июле (*б*)

На территории суши Российской федерации метеорологические условия по дальности видимости существенно мягче, чем на морских акваториях высоких широт. В большинстве районов страны повторяемость МДВ в течение года не превыша-

ет 1–2 %. Только на островах арктического и дальневосточного побережий повторяемость неблагоприятных по МДВ условий достигает 5–10 % зимой и 20–25% летом.

Наличие описанной базы данных позволяет рассчитывать другие климатические показатели МДВ и представлять их в удобной для потребителя форме. Наглядной и достаточно емкой формой представления сведений о режиме МДВ являются диаграммы повторяемости неблагоприятных, сложных и благоприятных условий в отдельных акваториях или районах. В качестве примера одной из таких форм на рис. 6 показана диаграмма годового хода повторяемости неблагоприятных, сложных и благоприятных условий по МДВ в Охотском море.

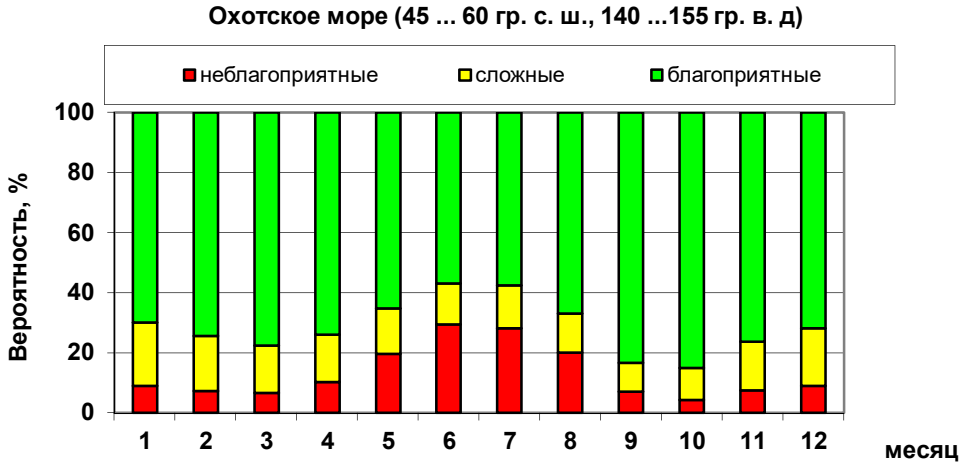


Рис. 6. Сезонный ход повторяемости благоприятных, сложных и неблагоприятных условий в Охотском море

Таким образом, в НИОЦ ОАО «ГНИНГИ» создана актуальная база данных по метеорологической дальности видимости как по морским акваториям, так и по территории России, пригодная для решения ряда прикладных задач информационной поддержки военно-морской, морской и иной деятельности.

Объём данных наблюдений позволяет получать представительные оценки основных климатических показателей метеорологической дальности видимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архив судовых метеорологических наблюдений. Сайт Национального центра климатических данных NOAA. – URL: http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/CDOMarineSelect.jsp
2. Архивы наблюдений на метеорологических станциях. Сайт «Расписание погоды». – URL: http://rp5.ru/
3. Шаймарданов М. З., Степаненко С. Р., Дьяченко Б. И., Апарин Б. В. О контроле качества приземной метеорологической информации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 1980. – Вып. 67. – С. 30–45.
4. Бирман Б. А., Краюшкин Ю. А., Шушакова Л. Г. Логический контроль данных судовых метеорологических наблюдений // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 1984. – Вып. 117. – 120 с.
5. Guide to climatological practices. – Geneva: WMO, 1983. – No 100 (Second edition). – 198 p.
6. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 297 с.

CLIMATIC SPECIFIC FEATURES OF METEOROLOGIC VISIBILITY RANGE ON THE TERRITORY OF RUSSIA AND ON THE WATER AREA OF THE NORTHERN PARTS OF THE WORLD OCEAN

S. I. Mastryukov, I. V. Lavrova («GNINGI» OJSC)

The results of creating the database of shipboard meterologic observations for the meteorologic visibility range are presented. Based on them, the evaluation of repeatability of the limited visibility range on the territory of Russia and water area of the northern parts of the World ocean is carried out. It is shown that the created database can be used to prepare the maritime guides on hydrometeorologic navigation conditions.

УДК 551.501.74

К ВОПРОСУ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РФ В АРКТИКЕ

А.А. БОРИСОВ, А.Б. МАКОВ, С.В. ЧЕРНЫШЕВ
(ВКА им. А. Ф. Можайского)

С позиции положений теории эффективности целенаправленных процессов рассматривается проблема оценивания эффективности гидрометеорологического обеспечения войск (сил) в условиях Арктики. Предлагается комплексный подход, который позволит оценить эффективность ГМО операций с учетом физико-географических условий Арктики и стоящих перед войсками (силами) задач.

Различные аспекты хозяйственной деятельности человека зависят от состояния окружающей природной среды, которое определяется в каждый конкретный момент времени конечным множеством геофизических величин и явлений природы. Характер данной зависимости обусловливается многими факторами и может привести к различным последствиям – от незначительных коррекций при планировании хозяйственной деятельности до полной отмены запланированных мероприятий. Не является исключением и деятельность Вооружённых Сил Российской Федерации (ВС РФ). Наиболее сильно влияние природной среды на объекты инфраструктуры Министерства обороны Российской Федерации, вооружение и военно-специальную технику, а также личный состав проявляется в физико-географических районах с экстремальными природно-климатическими условиями. В России к таким районам относится Арктическая зона.

Присутствие ВС РФ в Арктике обусловлено необходимостью защиты национальных интересов России в регионе. Природно-климатические условия накладывают отпечаток на характер деятельности войск (сил), дислоцированных в Арктической зоне РФ. С целью снижения влияния неблагоприятных природно-климатических условий Арктики на деятельность войск (сил) Гидрометеорологической службой (ГМС) ВС РФ организовано ее гидрометеорологическое обеспечение (ГМО).

Ввиду важной роли ГМО при подготовке и осуществлении мероприятий, проводимых ВС РФ, оно нуждается в оценивании эффективности осуществления. Оценки эффективности ГМО и знание технологий его оценивания позволят органам управления ГМО организовать его оптимально, в соответствии с конкретными задачами, решаемыми ВС РФ, в конкретных условиях обстановки.

В настоящее время в ВС РФ нет сложившегося и закрепленного руководящими документами подхода к оцениванию эффективности ГМО деятельности ВС РФ. Это связано, прежде всего, с отсутствием научно-методологического аппарата в данной области, в том числе моделей показателей эффективности и методов оценивания эффективности ГМО, которые можно было бы использовать в оперативной практике.

В данной статье проблема оценивания эффективности ГМО рассматривается с позиции теории эффективности целенаправленных процессов (ТЭЦП) [1], являющейся инструментом дисциплины «Исследование операций». Исходя из положений ТЭЦП, эффективность ГМО – это комплексное операционное свойство (качество) ГМО, характеризующее его приспособленность к достижению цели операции. Здесь под операцией понимается любой вид деятельности ВС РФ, результаты которой зависят от состояния природной среды.

Из приведенного выше определения ясно, что эффективность ГМО зависит от степени достижения цели обеспечиваемой операции, и чем лучше ГМО приспособлено к обеспечиваемой операции, т. е. чем больше ее особенностей учитывает, тем выше эффективность ГМО.

Зачастую оценивание эффективности ГМО подменяется гидрометеорологами оцениванием качества прогнозов гидрометеорологических условий (ГМУ), разрабатываемых в оперативно-прогностических подразделениях ГМС ВС РФ. Методики оценивания качества прогнозов ГМУ представлены в соответствующих руководствах и наставлениях [2–5], и содержат правила вычисления показателей оправдываемости прогнозов ГМУ. Данная работа регулярно проводится в оперативно-прогностических подразделениях ГМС ВС РФ и имеет целью, в основном, повышение профессионального мастерства инженеров-синоптиков, разрабатывающих прогнозы ГМУ.

Этот подход не позволяет оценить эффективность ГМО, т. к. показатели оправдываемости характеризуют лишь одну сторону эффективности, а именно – результативность (ε). К тому же при оценивании ε данным способом учитывается не вся гидрометеорологическая продукция, разрабатываемая гидрометеорологическими подразделениями. Сводки фактической погоды, результаты температурно-ветрового зондирования атмосферы, штормовые оповещения, климатические справки и другие справочно-информационные материалы являются важным элементом ГМО, имеющим существенное значение для действий войск (сил), однако их разработка не находит должного отражения при оценивании результативности ГМО.

Комплексность оценки эффективности ГМО достигается за счет учета следующих операционных свойств ГМО: результативности, ресурсоемкости и оперативности [1].

Результативность (ε) ГМО характеризуется получаемым в его результате целевым эффектом, т. е. результатом ГМО. Ресурсоемкость (r) ГМО характеризуется расходом операционных ресурсов всех видов (материально-технических, энергетических, информационных, временных, финансовых и т. д.), которые требуются для ГМО операции и получения целевого эффекта. Оперативность (τ) ГМО характеризуется расходом времени, необходимого на ГМО операции.

Учет r и τ особенно важен при ГМО операций в условиях жестких ограничений на ресурсы и сроки его проведения, вызванных такими физико-географическими условиями Арктики как: низкие температуры воздуха и сложная ледовая обстановка в течение всего года; продолжительные полярные день и ночь; отсутствие развитой транспортной инфраструктуры и, как следствие, использование преимущественно воздушного и морского транспорта для доставки личного состава и перевозки грузов.

Оценивание эффективности ГМО операций предполагает разработку его математической модели. Процесс построения последней включает в себя две фазы и реализуется в два этапа:

– на первом этапе строится модель операционной системы, включающая в себя в качестве подмоделей: модель системы ГМО (СГМО), модель условий функционирования ($B'_{<l'>}$) СГМО ($B'_{<l'>}$ – совокупность факторов, как правило, природного происхождения, оказывающих влияние на эксплуатационно-технические характеристики СГМО и обусловливающих моделируемые результаты операции) и модель ГМО;

– на втором этапе строится модель операционной ситуации, т. е. модель условий применения ($B''_{<l''>}$) СГМО ($B''_{<l''>}$ – совокупность факторов организационно-ситуационного происхождения, влияющих на ситуацию, в которой СГМО должна функционировать, и тем самым обусловливающих требуемые результаты операции).

Таким образом, на первом этапе разрабатывается модель показателя качества $Y_{<n>}$ ГМО, содержащего в качестве компонент частные показатели операционных свойств ε, r, τ. Каждая из компонент $Y_{<n>}$ зависит от характеристик СГМО и ГМО (от их параметров и эксплуатационно-технических характеристик), $B'_{<l'>}$, а также от организации ГМО, т. е.

$$Y_{<n>} = Y_{<n>}\left(A_{<k>}, B'_{<l'>}\right), \tag{1}$$

где $A_{<k>}$ – параметры и эксплуатационно-технические характеристики СГМО и ГМО.

На втором этапе реализуется модель требуемого показателя качества $Z_{<n>}$ ГМО, содержащего в качестве компонент частные показатели допустимых (требуемых) значений операционных свойств $\varepsilon_д, r_д, \tau_д$. Отдельно необходимо заметить, что определение $Z_{<n>}$ является прерогативой системы высшего порядка, так называемой суперсистемы, в интересах которой функционирует СГМО. В свою очередь компоненты вектора $Z_{<n>}$ зависят от условий применения СГМО и связанных с ним требований, предъявляемых суперсистемой к ГМО, т. е.

$$Z_{<n>} = Z_{<n>}\left(B''_{<l''>}\right). \tag{2}$$

Эффективность ГМО как всякого целенаправленного процесса функционирования технической системы определяется степенью достижения цели обеспечиваемой операции.

Содержательно цель ГМО можно представить как получение требуемых результатов, соответствующих цели ГМО, что формально означает выполнение условия (3), т. е.

$$Y_{<n>} \in \left\{ Z_{<n>} \right\} \backsimeq U. \tag{3}$$

Выражение (3) означает достижение цели ГМО по критерию пригодности [1].

Функционирование СГМО осуществляется в условиях воздействия на ее подсистемы и элементы, условия функционирования и применения целого ряда случайных факторов. Это приводит к тому, что векторы $A_{<k>}$, $B'_{<l'>}$, $B''_{<l''>}$, а следовательно, и векторы $Y_{<n>}$ и $Z_{<n>}$ являются случайными, т. е. $\hat{Y}_{<n>}$ и $\hat{Z}_{<n>}$.

В результате с учетом реальных условий выражение (3) принимает вид (4):

$$\hat{Y}_{<n>} \in \left\{ \hat{Z}_{<n>} \right\} \backsimeq U. \tag{4}$$

Из выражения (4) видно, что получение требуемых результатов, соответствующих цели ГМО, является случайным событием, по которому непосредственно нельзя судить об эффективности ГМО.

Степень возможности осуществления события (4) при заданном комплексе условий $A_{<k>}$, $B'_{<l'>}$, $B''_{<l''>}$ может быть выражена вероятностью наступления данного события (P). Принимая во внимание тот факт, что формулы (3) и (4) являются формальным выражением цели ГМО операции, вероятность (P) представляет вероятность достижения цели ГМО ($P_{\text{дц}}$) и является показателем эффективности ГМО, т. е. мерой достижения его цели (5).

$$P_{\text{дц}} = P(\hat{Y}_{<3>} \in \left\{ \hat{Z}_{<3>} \right\}). \tag{5}$$

Схема оценивания эффективности ГМО операций представлена на приведенном рисунке. Она содержит два этапа (уровня) оценивания эффективности ГМО.

Этапы (уровни) оценивания эффективности гидрометеорологического обеспечения

В соответствии с целью ГМО на первом этапе (пп. 1.1–1.3 показанной на рисунке схемы) по выбранному показателю качества $Y_{<3>} =< \varepsilon, r, \tau >$ и сформулированному критерию (4) производится оценивание качества результатов ГМО операции.

На втором этапе производится оценивание эффективности ГМО операции (пп. 2.1–2.3 схемы). Основной задачей на данном этапе является формулировка показателя эффективности ГМО (5) и соответствующего критерия оценивания эффективности.

Поскольку $\hat{Y}_{<n>}$ и $\hat{Z}_{<n>}$ являются случайными векторами, то их наиболее полными характеристиками будут соответствующие законы распределения, представленные в виде плотностей (функций) распределения. С учетом этого выражение (5) для расчета $P_{\text{дц}}$ принимает следующий вид:

$$P_{\text{дц}} = P\left(\hat{Y}_{<3>} \in \left\{\hat{Z}_{<3>}\right\}\right) = \iiint \Phi_{\hat{Y}_{<3>}}\left(Z_{<3>}\right) dF_{\hat{Z}_{<3>}}\left(Z_{<3>}\right), \quad (6)$$

где $\Phi_{\hat{Y}_{<3>}}\left(Z_{<3>}\right)$ – функция распределения вектора виртуальных результатов операции ($Y_{<3>}$) относительно события $\hat{Z}_{<3>} = Z_{<3>}$; $dF_{\hat{Z}_{<3>}}\left(Z_{<3>}\right) = \varphi_{\hat{Z}_{<3>}}(Z_{<3>})dZ_{<3>}$ – плотность распределения вектора ($Z_{<3>}$) требуемых результатов операции.

Формула (6) представляет общий вид выражения для определения показателя эффективности ГМО операции. В случае невозможности получения $P_{\text{дц}}$ интегрированием выражения (6) оценка $P_{\text{дц}}$ может быть получена методом статистических испытаний.

Собственно оценивание эффективности ГМО осуществляется по одному из разработанных суперсистемой критериев: пригодности (7) или оптимальности (8), применяемых в зависимости от цели обеспечиваемой операции.

$$P_{\text{дц}} \geq P_{\text{дц}}^{\text{тр}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{дц}}^{\text{тр}}$ – требуемое значение вероятности достижения цели ГМО.

$$P_{\text{дц}} = P_{\text{дц}}^{\text{опт}}, \quad (8)$$

где $P_{\text{дц}}^{\text{опт}}$ – оптимальное значение вероятности достижения цели ГМО.

Таким образом, для оценивания ГМО конкретной операции необходимо:

– выбрать показатель качества $Y_{<3>}$ результатов ГМО действий войск (сил), содержащий частные показатели результативности ГМО, расходуемых на получение результатов ресурсов, использованного при осуществлении мероприятий ГМО времени;

– на основе анализа эмпирических данных определить вид функций (плотностей) распределения векторов $\hat{Y}_{<3>}$ и $\hat{Z}_{<3>}$;

– вычислить $P_{\text{дц}}$ путем непосредственного интегрирования выражения (6) либо с помощью метода статистических испытаний;

– с помощью критериев (7), (8) определить эффективность ГМО действий войск (сил).

Несмотря на трудности при реализации данного подхода, связанные в основном с определением законов распределения $\hat{Y}_{<n>}$ и $\hat{Z}_{<n>}$ и с интегрированием выражения (6), представленный общий подход позволит в полной мере оценить эффективность ГМО операций, проводимых ВС РФ в условиях Арктической зоны РФ, поскольку вычисляемый показатель эффективности дает возможность учесть сложные физико-географические условия Арктического региона, затраты ресурсов на ГМО и требуемое для его осуществления операционное время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петухов Г. Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Часть 1. – М.: МО, 1989. – 660 с.
2. Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации ВС РФ. – М.: Воениздат, 1992. – 488 с.
3. Наставление по гидрометеорологическому обеспечению (сил, войск) Военно-Морского Флота. – 2014. – 93 с.
4. Наставление по метеорологической службе авиации Вооруженных Сил Российской Федерации. – 2014. – 80 с.
5. Наставление по метеорологической службе Ракетных войск стратегического назначения. – 2015. – 78 с.

ON EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT FOR THE RF ARMED FORCES ACTIVITIES IN THE ARCTIC.

A. A. Borisov, A. B. Makov, S. V. Chernishev
(Mozhaisky Military Space Academy)

The problem of estimating the efficiency of hydrometeorological support for armed forces in the Arctic is considered from the standpoint of the theory of efficiency of purposeful processes. It will implement the integrated approach to the assessment of efficiency, taking into account the physical and geographical conditions of the Arctic and the challenges facing the forces.

Памяти Юрия Владимировича РУМЯНЦЕВА

10 августа 2016 года коллектив ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» понёс тяжелую утрату – скоропостижно скончался замечательный человек, начальник отдела Института, кандидат военных наук, капитан 1 ранга в отставке РУМЯНЦЕВ Юрий Владимирович.

Руководство и персонал Государственного научно-исследовательского института, коллеги Юрия Владимировича по работе глубоко скорбят о его преждевременной смерти и выражают искренние соболезнования родным и близким по случаю утраты дорогого и любимого человека.

Жизнь Юрия Владимировича является примером вдохновенного служения Отечеству.

Он родился в гор. Баку 12 сентября 1952 года. После окончания средней школы с золотой медалью поступил в Каспийское ВВМУ им. С. М. Кирова, которое с отличием окончил в 1974 году. Затем проходил службу на кораблях Северного флота, где имел богатый послужной список – прошел путь от инженера ЭНГ рпк СН (1974–1976 гг.) до флагманского штурмана соединения рпк СН (1986–1990 гг.).

В 1978–1979 гг. совершил два похода на рпк СН в приполюсные районы с испытательными целями с проламыванием подводной лодкой ледового покрова.

В период 1987–1989 гг. совершил два похода к Северному полюсу, в том числе использовал новые методы навигационного обеспечения запусков баллистических ракет из приполюсного района.

Опыт службы на подводных лодках ВМФ сформировал большой багаж практических знаний и навыков, использовавшийся в последующей деятельности.

В 1990 г. назначен в порядке продвижения по службе в 9 НИИ МО РФ начальником отдела. В этот период, используя богатый опыт и знания предметной сферы, он занимался вопросами обоснования требований к навигационному обеспечению ВМФ, системе НГО в целом. Под его руководством был разработан комплекс моделей и методик в области обоснования предложений по формированию государственных программ вооружения и оборонного заказа в части развития средств НГО и ГМО. При личном участии Юрия Владимировича впервые была разработана оперативно-стратегическая модель НГО морских стратегических ядерных сил, которая до настоящего времени является основой исследований в указанной предметной области.

Выполненные им работы имеют важное теоретическое и практическое значение для ВМФ.

В 1996 г. защитил диссертацию и ему была присуждена учёная степень кандидата военных наук. Результаты диссертационных исследований позволили сформировать концепцию подводной навигации ВМФ на долгосрочную перспективу.

В 2005 г. в связи с выходом в запас Ю. В. Румянцев продолжил работу в Центре инновационных исследований ГНИНГИ в должности ведущего научного сотрудника ЦИИ и начальника 3 отдела ЦИИ. В этот период он занимался вопросами обоснования путей повышения безопасности морских объектов, морских перевозок на основе транспортно-логистических технологий, разработки мероприятий обеспечения безопасности плавания кораблей и подводных лодок на подходах и акватории ВМБ и портопунктов. При его непосредственном участии проведен комплекс исследований и разработок, включая разработку нового направления – обоснование путей создания комплексной системы обеспечения безопасности проектов освоения морских нефтегазовых месторождений.

В частности, применительно к проекту «Северный поток» (СЕГ) он был ответственным разработчиком «Программы подготовки морского участка трассы СЕГ в части опасностей техногенного происхождения (ОТП) на стадиях изысканий и строительства, а также ее контроля при эксплуатации» (2005г.). Программа включала критерии безопасности в части взрывоопасных предметов (ВОП), химического оружия (ХО) и боевых отравляющих веществ (БОВ), обоснование использования современных систем (высокочастотные буксируемые гидролокаторы бокового обзора (ГБО), буксируемый параметрический профилограф, опускаемый гидролокатор кругового (секторного) обзора, осмотровый самоходный телеуправляемый (ТУ) подводный аппарат (ПА) с телевизионной (ТВ) системой и др. средства), а также необходимые мероприятия. Минимизация времени и стоимости работ по Программе была обеспечена применением оригинальной технологической цепочки выполнения программных мероприятий по ликвидации ОТП «конвейерным» способом, особенно в районах категории рисков «высокий» и «высокий/средний». В соответствии с Программой проведены исследования и изыскания по трассе газопровода в Балтийском море. Во взаимодействии со Штабом Балтийского флота осуществлены необходимые мероприятия, чем обеспечено создание благоприятного оперативного режима при строительстве объектов проекта «Северный поток» в операционной зоне Балтийского флота.

Теоретическая база создания комплексной системы обеспечения безопасности использована и дополнена Ю. В. Румянцевым применительно к проекту Штокмановского газоконденсатного месторождения. Под его научным руководством выполнено обоснование инвестиций в строительство комплексной системы обеспечения безопасности (КСБ) морской транспортировки сжиженного природного газа по маршруту: побережье Баренцева моря – США на основе технологий сквозной оценки и управления рисками.

В рамках исследований проанализирована возможность использования мирового опыта и технологий к созданию арктической системы морской транспортировки природного газа применительно к условиям континентального шельфа морей восточной Арктики. Рассмотрены и определены качественные параметры влияния арктических природно-климатических условий. На этой основе проведено обоснование возможных вариантов морской транспортировки природного газа с месторождений континентального шельфа морей восточной Арктики на побережье, дана сравнительная технико-экономическая оценка различных вариантов транспортировки природного газа и продуктов его переработки в условиях Восточной Арктики и разработаны предложения по организации транспортной составляющей в технологической схеме освоения месторождений природного газа в восточном секторе Арктики. Указанная

работа определила перспективные возможности морской транспортировки природного газа с месторождений континентального шельфа морей восточной Арктики на побережье.

Под руководством Ю. В. Румянцева в последние годы был выполнен ряд исследований и проектных работ по разработке системы государственных нормативных правовых актов по формированию требований к морским техническим средствам навигационно-гидрографического обеспечения для эксплуатации в российской Арктике в интересах безопасности морской экономической и экологической деятельности, а также проектные работы по безопасности мореплавания на акватории и на подходных фарватерах к объектам Минобороны РФ на Камчатке, Кольском полуострове и в пунктах базирования кораблей на Чёрном море.

Результаты выполненных работ имеют важное значение для совершенствования системы государственных нормативных правовых актов и решения задачи развития военно-морской инфраструктуры в части безопасности морских объектов.

Юрий Владимирович имел научное звание старшего научного сотрудника, являлся автором более 80 научных трудов. Только за последнее время в выпусках журнала «Навигация и гидрография», «Морской вестник» и других научно-технических сборниках им был опубликован ряд статей по актуальным вопросам обеспечения безопасности морской деятельности.

Юрий Владимирович являлся одним из ведущих ученых Института, прекрасным организатором и руководителем, пользовался заслуженной любовью и уважением у коллег. Его опыт и знания были востребованы руководством института и командованием УНиО МО РФ.

За заслуги в обеспечении военной безопасности России и полезные труды по укреплению ее могущества награжден государственными наградами, неоднократно поощрялся руководством города и Института за свою плодотворную деятельность.

Жизнь Юрия Владимировича является примером вдохновенного служения Отечеству. Память о Румянцеве Юрии Владимировиче навсегда останется в наших сердцах.

От коллектива ОАО «ГНИНГИ»
Н. Н. Неронов, А. И. Исмаилов, П. Г. Бродский

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БОРИСОВ Алексей Анатольевич,

заместитель начальника кафедры ВКА им. А. Ф. Можайского, канд. техн. н., доцент, полковник. Окончил ВКА им. А. Ф. Можайского. Специализация – метеорология; автор более 30 печатных работ.

E-mail: alebor_72@mail.ru

БРОДСКИЙ Павел Григорьевич,

начальник Центра инновационных исследований ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в отставке, докт. воен. н., профессор. Окончил Каспийское ВВМУ и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация: штурман. Автор более 200 печатных трудов.

E-mail: ggc@list.ru

ДИДЫК Олег Игоревич,

преподаватель ВКА им А. Ф. Можайского. Окончил ВКА им. А. Ф. Можайского Специальность: геофизика. Автор более 20 печатных работ.

E-mail: vka@mail.ru

ДОРОНИН Александр Павлович,

профессор ВКА им А. Ф. Можайского, докт. техн. н., профессор. Окончил ВКА им. А. Ф. Можайского Специальность: метеорология. Автор более 200 печатных работ.

E-mail: doronin52@mail.ru

ЗЕЛЕНКОВА Нина Геннадиевна,

секретарь-референт ФГБУ «Институт озероведения РАН». Окончила РГПУ им. А. И. Герцена, учитель географии со специализацией политическая география. Автор 5 печатных работ.

E-mail: zelenkova.nina@gmail.com

ЗЕНЬКОВ Андрей Федорович,

генеральный директор ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга запаса. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специализация – инженер-гидрограф. Автор 23 печатных работ.

E-mail: mail@gningi.ru

Aleksey A. BORISOV,

A. F. Mozhaisky Military Space Academy, deputy chief of the chair, CandSc, reader, Colonel. Graduated from A. F. Mozhaisky Military Space Academy. Speciality: meteorology. Author of more than 30 publications.

E-mail: alebor_72@mail.ru

Pavel G. BRODSKY,

Chief of Centre of Innovation Research, «GNINGI» OJSC, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, professor. Graduated from Caspian Naval College and Kuznetsov Naval Academy. Speciality: navigation. Author of more than 200 publications.

E-mail: ggc@list.ru

Oleg I. DIDYK,

teacher, Mozhaisky Military Space Academy. Graduated from Mozhaisky Military Space Academy. Specialization: geophysics. Author of more than 20 publications.

E-mail: vka@mail.ru

Alexandr P. DORONIN,

DSc, professor, Mozhaisky Military Space Academy. Graduated from Mozhaisky Military Space Academy. Specialization: meteorology. Author of more than 200 publications.

E-mail: doronin52@mail.ru

Nina G. ZELENKOVA,

«Institute of Limnology» RAS, reference secretary. Graduated from the State Pedagogical Institute, teacher of geography, specialising in political geography. Author of 5 publications.

E-mail: zelenkova.nina@gmail.com

Andrei F. ZENKOV,

Director General, «GNINGI» OJSC, Captain 1-st Rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College. Speciality: engineer-hydrographer. Author of 23 publications.

E-mail: mail@gningi.ru

ЖУКОВ Юрий Николаевич,

ведущий научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», докт. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – гидрометеорология. Автор более 150 печатных работ.

E-mail: mail@gningi.ru

КЕОНДЖАН Виталий Павлович,

Генеральный директор «Группы Альянс», член Совета директоров ОАО «ГНИНГИ», доктор физ.-мат. н., профессор, академик Российской Академии естественных наук и Нью-Йоркской Академии наук. Окончил физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова по специальности «Математическая физика». Научные интересы охватывают широкий спектр междисциплинарных проблем на стыках физики, математики, океанологии, биологии, планетологии. Глава научной школы в области морской геофизики. Автор более 150 научных публикаций, в том числе нескольких монографий.

E-mail: all@alliance-gr.com

ЛАВРОВА Ирина Викторовна,

начальник отдела ОАО «ГНИНГИ», канд. геогр. н. Окончила Российский государственный гидрометеорологический университет. Специализация – метеорология, климатология. Автор 12 публикаций.

E-mail: mail@gningi.ru

ЛУКИН Александр Николаевич,

заместитель начальника отдела Центра инновационных исследований ОАО «ГНИНГИ», капитан дальнего плавания, канд. техн. н., доцент. Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С. О. Макарова. Специальность – инженер-судоводитель. Автор более 50 печатных работ.

E-mail: mail@gningi.ru

МАКОВ Александр Борисович,

докторант кафедры ВКА им. А. Ф. Можайского, канд. техн. н., доцент; полковник. Окончил ВКА им. А. Ф. Можайского. Специализация – метеорология. Автор более 30 печатных работ.

E-mail: alexmakof@mail.ru

МАРКОВА Елена Геннадьевна,

научный сотрудник ФГБУ «Институт озероведения РАН». Окончила ЛГУ им. А. А. Жданова, специализация – механика. Автор 33 печатных работ.

E-mail: adelmonamour@mail.ru

Yuri N. ZHUKOV,

Leading researcher, «GNINGI» OJSC, DSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: hydrometeorology. Author of more than 150 publications.

E-mail: mail@gningi.ru

Vitaly P. Keondjian,

President of Alliance Group, member of «GNINGI» Board of Directors, DSc, professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences and new York Academy of Sciences. Graduated from Lomonosov State University its physical faculty majoring in «Mathematical Physics». The scientific interests include the wide spectrum of interdisciplinary problems bordering on physics, mathematics, oceanology, biology, planetology. He heads the scientific school in the field of the marine geophysics. Author of more than 150 scientific publications, including several monographs.

E-mail: all@alliance-gr.com

Irina V. LAVROVA,

head of division «GNINGI» OJSC. Graduated from the Russian State Hydrometeorological University. Speciality: meteorology, climatology. Author of 12 publications.

E-mail: mail@gningi.ru

Alexandr N. LUKIN,

Deputy Chief of the 3 division, Center of Innovation Research, «GNINGI» OJSC, Deep Sea Captain, CandSc, reader. Graduated from Makarov Higher Engineering Marine College. Speciality: engineership navigator. Author of more than 50 publications.

E-mail: mail@gningi.ru

Alexandr B. MAKOV,

A. F. Mozhaisky Military Space Academy, PhD student, CandSc, reader, Colonel. Graduated from A. F. Mozhaisky Military Space Academy. Speciality: meteorology. Author of more than 30 publications.

E-mail: alexmakof@mail.ru

Elena G. MARKOVA,

Institute of Limnology RAS researcher. Graduated from Leningrad State University. Specialisation: mechanics. Author of 33 publications.

E-mail: adelmonamour@mail.ru

МАСТРЮКОВ Сергей Иванович,

ведущий научный сотрудник НИОЦ ОАО «ГНИНГИ», полковник в запасе, докт. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – океанология. Автор более 100 печатных трудов.

E-mail: mail@gningi.ru

ПЕТРОЧЕНКО Вячеслав Михайлович,

доцент Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, канд. техн. н., доцент. Окончил ВКА им. А. Ф. Можайского Специальность: метеорология. Автор более 100 печатных работ.

E-mail: vmpetrochenko@mail.ru

РУМЯНЦЕВ Юрий Владимирович,

начальник 3 отдела Центра инновационных исследований ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в запасе, канд. воен. н., с. н. с. Окончил Каспийское ВВМУ. Специальность – штурман. Автор более 80 печатных трудов.

СИЛАНТЬЕВ Денис Сергеевич,

научный сотрудник НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». Капитан. Окончил ВКА им. А. Ф. Можайского по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». Автор 17 печатных работ. Область научных интересов – анализ и синтез интегрированных информационных систем.

E-mail: denissila@mail.ru.

СОРОКИН Александр Иванович

главный научный сотрудник ФГБУ «Институт озероведения РАН», доктор технических наук, член-корреспондент РАН, профессор, контр-адмирал в отставке. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе и ВМАКВ им. А. Н. Крылова, специализация – гидрография. Автор более 250 печатных работ.

E-mail: ai_sorokin@inbox.ru

ЧЕРНЫШЕВ Сергей Викторович,

преподаватель кафедры ВКА им. А. Ф. Можайского, кандидат технических наук, подполковник. Окончил Российский государственный гидрометеорологический университет; специализация – гидрометеорология. Автор более десяти печатных работ.

E-mail: 9440174@mail.ru

Sergei I. MASTRYUKOV,

Leading researcher, «GNINGI» OJSC, Colonel (Ret.), DSc. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute. Speciality: oceanology. Author of more than 100 publications.

E-mail: mail@gningi.ru

Vyacheslav M. PETROCHENKO,

CandSc, docent, Mozhaisky Military Space Academy. Graduated from Mozhaisky Military Space Academy. Specialization: meteorology. Author of more than 100 publications.

E-mail: vmpetrochenko@mail.ru

Yuri V. RUMYANTSEV,

Chief of the 3 division, Center of Innovation Research, «GNINGI» OJSC, Captain I Rank (Ret.), CandSc, senior researcher. Graduated from Caspian Naval College. Speciality: navigator. Author of more than 70 publications.

Denis S. SILANTYEV,

The Researcher Institute of Shipbuilding and Armament of the Navy. The Navy Educational and Scientific Center “The Naval Academy”. Captain. Graduated from Mozhaisky Military Space Academy, specialization in computers computing complexes, systems and networks. The author of 17 publications. Sphere of scientific interests – analysis and synthesis of integrated information systems.

E-mail: denissila@mail.ru.

Aleksandr I. SOROKIN

The Institute of Limnology RAS, chief researcher, DSc, RAS Corresponding Member, professor, Rear-Admiral (Ret). Graduated from Frunse Naval College and A. N. Krylov Naval Academy. Specialisation: hydrography. Author of more than 250 publications.

E-mail: ai_sorokin@inbox.ru

Sergey V. CHERNISHEV,

teacher of A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Lieutenant colonel, CandSc. Graduated from Russian State Hydrometeorological University. Speciality: hydrometeorology. Author of more than 10 publications.

E-mail: 9440174@mail.ru

ШМАЛЬКО Светлана Анатольевна,

преподаватель Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. Окончила Тверской государственный университет. Специализация – география. Автор более 15 печатных работ.

E-mail: taraton_23_@mail.ru

ЩУКИН Георгий Георгиевич,

профессор Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, докт. физ.-мат. н., заслуженный деятель науки РФ. Окончил Ленинградский институт точной механики и оптики. Специализация: радиометеорология. Автор более 500 печатных работ.

E-mail: ggshchukin@mail.ru

Svetlana A. Shmalko,

teacher, Mozhaisky Military-Space Academy Graduated from Tver State University. Specialization: geography. Author of more than 15 publications.

E-mail: taraton_23_@mail.ru

Georgy G. SHCHUKIN,

DSc, professor, Mozhaisky Military Space Academy. Honored Scientist of RF. Graduated from Lenindrad Institute of Fine Mechanics and Optics. Specialization: radiometeorology. Author of more than 500 publications.

E-mail: ggshchukin@mail.ru

РЕФЕРАТЫ

УДК 656.6:551.48

О роли и месте ОАО «ГНИНГИ» в решении научных задач обеспечения безопасности морской деятельности Российской Федерации. В. П. Кеонджан, А. Ф. Зеньков. – Навигация и гидрография. – 2016. – № 45. – С. 7–16.

Приводятся результаты деятельности ОАО «ГНИНГИ» с учетом его статуса и сферы ведения. Представлена оценка состояния и основные приоритетные направления научной деятельности Института в настоящее время и ближайшую перспективу.

Ключевые слова: морская деятельность, навигационно-гидрографическое обеспечение, гидрометеорологическое обеспечение, научно-техническая поддержка, НИОКР.

УДК 629.05

Модель ошибок бесплатформенной инерциальной навигационной системы летательного аппарата. Д. С. Силантьев. – Навигация и гидрография. – 2016. – № 45. – С. 17–23.

В статье представлена разработанная модель ошибок бесплатформенной инерциальной навигационной системы летательного аппарата на основе трех акселерометров и трех датчиков угловых скоростей и изложен алгоритм ее формирования. Представлена структурная схема такой системы. Приведен пример решения практической задачи с использованием разработанной модели.

Ключевые слова: бесплатформенная инерциальная навигационная система, летательный аппарат, модель ошибок, параметры движения..

УДК 656.6.08

Проектирование путей движения кораблей судов в современных условиях.
П. Г. Бродский, Ю. В. Румянцев, А. Н. Лукин – Навигация и гидрография. – 2016. – № 45. – С. 24–36.

В статье рассмотрены особенности проектирования путей движения кораблей и судов, связанные с изменением Международной морской организацией (ИМО) стандартов точности судовождения и необходимостью учета руководящих документов ВМФ по обеспечению навигационной безопасности плавания в экстремальных гидрометеорологических условиях. Изложены предложения по совершенствованию нормативной базы по проектированию мер обеспечения навигационной безопасности.

Ключевые слова: навигационная безопасность плавания, система путей движения, стандарты точности судовождения, руководящие документы, навигационная ширина и глубина канала, этапы проектирования.

УДК 528.92

Вероятностно-комбинаторная модель имитации турбулентной диффузии примеси в океане для обеспечения задач ВМФ. Ю. Н. Жуков. – Навигация и гидрография. – 2016. – № 45. – С. 37–44.

Приведена модель имитации турбулентной диффузии примеси в океане, включающая имитацию двух механизмов турбулентной диффузии: размывания облака примеси и его кластеризацию.

Ключевые слова: примесь, турбулентная диффузия.

УДК 91.21.3

О стандартных моделях океаносферы, океанов и больших озёр. А. И. Сорокин, Н. Г. Зеленкова, Е. Г. Маркова. – Навигация и гидрография. – 2016. – № 45. – С. 45–50.

Рассмотрены существующие концепции стандартных и справочных моделей различных географических объектов. Приведены примеры термической составляющей стандартных моделей океаносферы и её частей. Предложен для обсуждения порядок определения сроков климатических эпох. Намечены подходы к построению системы стандартных моделей крупных озёр с целью изучения динамики глобального климата.

Ключевые слова: стандартная гидросфера, справочная гидросфера, климатические эпохи.

УДК 528.92

Перемежаемость в гидрометеорологии и ее роль в гидрометеорологическом обеспечении Военно-Морского Флота. Ю. Н. Жуков. – Навигация и гидрография. – 2016. – № 45. – С. 51–59.

Дается представление о явлении перемежаемости, математических моделей и характеристик ее описывающих. Приведены оценки значимости явления перемежаемости для учета в действиях ВМФ.

Ключевые слова: перемежаемость, турбулентность, диффузия, фрактал, хаос.

УДК 551.576.2:551.583

Возможность рассеяния волнистообразной и слоистообразной облачности в северных районах европейской территории России в интересах гидрометеорологического обеспечения. А. П. Доронин, Г. Г. Щукин, О. И. Дидык, В. М. Петроченко, С. А. Шмалько. – Навигация и гидрография. – 2016. – № 45. – С. 60–68.

В статье на основе обработки материалов самолетного зондирования атмосферы (СЗА) над Архангельском выполнено оценивание возможности рассеяния волнистообразной и слоистообразной облачности. Показано, что оценивать пригодность облаков к рассеянию химическими реагентами можно и без зондирования атмосферы.

Ключевые слова: облака, модифицирование, внутримассовые слоистообразные облака, фронтальные слоистообразные облака, рассеяние облаков, гидрометеорологическое обеспечение.

УДК 551.46

Состояние и тенденции развития систем оперативной океанологии в ВМС зарубежных стран. А. Ф. Зеньков, С. И. Мастрюков. – Навигация и гидрография. – 2016. – № 45. – С. 69–76.

Рассмотрена история создания, а также состояние и тенденции развития систем оперативной океанологии (СОО) за рубежом. Эти сведения могут представлять интерес при создании отечественной СОО в интересах ВМФ России.

Ключевые слова: зарубежные и отечественные системы оперативной океанологии, система гидрометеорологического обеспечения ВМФ, гидродинамические модели.

УДК 551.46

Климатические особенности метеорологической дальности видимости на территории России и на акватории северных частей Мирового океана. С. И. Мастрюков, И. В. Лаврова. – Навигация и гидрография. – 2016. – № 45. – С. 77–83.

Приведены результаты создания базы данных судовых метеорологических наблюдений за метеорологической дальностью видимости, на основе которых выполнена оценка повторяемости ограниченной дальности видимости на территории России и акватории северных частей Мирового океана. Показано, что созданная база может быть использована для подготовки морских пособий по гидрометеорологическим условиям мореплавания.

Ключевые слова: метеорологическая дальность видимости, базы данных, климатическое обеспечение ВМФ.

УДК 551.501.74

К вопросу оценивания эффективности гидрометеорологического обеспечения деятельности Вооруженных Сил РФ в Арктике. А.А. Борисов, А.Б. Маков, С.В. Чернышев. – Навигация и гидрография. – 2016. – № 45. – С. 84–89.

С позиции положений теории эффективности целенаправленных процессов рассматривается проблема оценивания эффективности гидрометеорологического обеспечения войск (сил) в условиях Арктики. Это позволит реализовать комплексный подход к оцениванию эффективности с учетом физико-географических условий Арктики и задач, стоящих перед войсками (силами).

Ключевые слова: эффективность гидрометеорологического обеспечения, качество прогнозов гидрометеорологических условий, операционная система, операционная ситуация.

ABSTRACTS

On the Role and Place of «GNINGI» OJSC in Solving the Scientific Problems of Support for the Maritime Activities Safety of the Russian Federation. V. P. Keondjian, A. F. Zenkov. – Navigation and Hydrography. – 2016. – No. 45. – P. 7–16.

The information about the results of the «GNINGI» OJSC activities, taking into consideration its status and sphere of activities at present is presented. The state and main priority directions of the scientific activities are evaluated for the nearest time in prospect.

Key words: maritime activities, navigation-hydrographic support, scientific-technical support, R&D.

Model of Errors for Strapdown Inertial Navigation System of a Flight Vehicle. D. S. Silantyev. – Navigation and Hydrography. – 2016. – No. 45. – P. 17–23.

The developed model of errors for the strapdown inertial navigation system of a flight vehicle, based on three accelerometers and three angular velocity sensors is described. The algorithm of its formation as well as the structural scheme of such a system are presented. An example of solving the practical task using the developed model is given.

Key words: strapdown inertial navigation system, flight vehicle, model of errors, parameters of movement.

Specific Features of Designing the Sailing Routes of Ships and Vessels under the Present-Day Conditions. P. G. Brodsky, Y. V. Rumyantsev, A. N. Lukin. – Navigation and Hydrography. – 2016. – No. 45. – P. 24–36.

The specific features of designing the sailing routes of ships and vessels connected with the change of IMO standards for ship navigation accuracy and the necessity to take into consideration the Navy guiding documents for provision of navigation safety under the extreme hydrometeorological conditions , are considered. The suggestions for improvement of the normative base during the design process are presented. The organizational-logical scheme for their development is shown.

Key words: navigation safety, system of sailing routes, accuracy standards for ship navigation, guiding documents, navigation width and depth of channel, stages of design.

The Probabilistic-Combinatorial Model of Imitating the Turbulent Diffusion of Admixture in the Ocean to Carry out the Navy Tasks. Y. N. Zhukov. – Navigation and Hydrography. – 2016. – No. 45. – P. 37–44.

The model of imitating the turbulent diffusion of admixtures in the ocean is presented. The model includes the imitation of two mechanisms of turbulent diffusion: the washout of admixture cloud and its clusterisation.

Key words: admixture, turbulent diffusion.

On Standard Models of Oceanosphere, Oceans and Large Lakes. A. I. Sorokin, N. G. Zelenkova, E. G. Markova. – Navigation and Hydrography. – 2016. – No. 45. – P. 45–50.

Concepts of standard and reference hydrospheres, as well as standard models of other geographical objects are considered. Examples of the thermal component of the standard hydrosphere and reference models of its parts are given. The variant of climatic environmental epochs regulation is suggested. Approaches to creating the standard lake models are suggested.

Key words: standard hydrosphere, reference hydrosphere, climatic epochs.

The Alternating Ability in Hydrometeorology and Its Role in Hydrometeorological Support for the Navy. Y. N. Zhukov. – Navigation and Hydrography. – 2016. – No. 45. – P. 51–59.

The notion of alternating ability as a phenomenon, mathematic models and characteristics describing it is presented. The estimates of significance of this phenomenon to take account in the Navy operations are presented.

Key words: alternating ability, turbulence, diffusion, fractal, chaos.

Assessment the Possibility of Dissipation of Undulatus and Stratiform Clouds In Interests Of Hydrometeorological Support. A. P. Doronin, G. G. Shchukin, V. M. Petrochenko, O. I. Didyk, S. A. Shmalko. – Navigation and Hydrography. – 2016. – No. 45. – P. 60–68.

In the article on the basis of processing of aircraft sounding materials of the atmosphere over Arkhangelsk the assessment of the possibility of dissipation undulatus and stratiform clouds in interests of hydrometeorological support is made.

Key words: clouds, modification, air-mass stratiform clouds, frontal stratiform clouds, dissipation of clouds, hydrometeorological support.

State and Development Tendencies of Operational Oceanology Systems in the Navies of the Foreign Countries. A. F. Zenkov, S. I. Mastryukov. – Navigation and Hydrography. – 2016. – No. 45. – P. 69–76.

The information about the history of development, the current state and development tendencies of the systems of operative oceanology (OOS) abroad is presented. It can be of interest when creating the home OOS for the Navy of Russia.

Key words: foreign and home systems of operative oceanology, system of hydrometeorological support for the Navy, hydrodynamic models.

Climatic Specific Features of Meteorologic Visibility Range on the Territory of Russia and on the Water Area of the Northern Parts of the World Ocean. S. I. Mastryukov, I. V. Lavrova. – Navigation and Hydrography. – 2016. – No. 45. – P. 77–83.

The results of creating the database of shipboard meterologic observations for the meteorologic visibility range are presented. Based on them, the evaluation of repeatability of the limited visibility range on the territory of Russia and water area of the northern parts of the World ocean is carried out. It is shown that the created database can be used to prepare the maritime guides on hydrometeorologic navigation conditions.

Key words: meteorologic visibility range, database, climatic data support for the Navy.

On Evaluation of Effectiveness of Hydrometeorological Support for the RF Armed Forces Activities in the Arctic. A. A. Borisov, A. B. Makov, S. V. Chernishev. – Navigation and Hydrography. – 2016. – No. 45. – P. 84–89.

The problem of estimating the efficiency of hydrometeorological support for armed forces in the Arctic is considered from the standpoint of the theory of efficiency of purposeful processes. It will implement the integrated approach to the assessment of efficiency, taking into account the physical and geographical conditions of the Arctic and the challenges facing the forces.

Key words: the effectiveness of hydrometeorological service, the quality of forecasts of hydrometeorological conditions, the operating system, the operating situation.

ИНФОРМАЦИЯ

Глубокоуважаемые коллеги!

Приглашаем Вас к сотрудничеству в журнале **«Навигация и гидрография»**, издаваемом с 1995 г. Государственным научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом.

В журнале публикуются результаты исследований в области навигации, гидрографии, океанографии, гидрометеорологии, морской картографии, морской геофизики и экологии. Издание освещает концептуальные научные положения и осуществляет оперативную публикацию новейших теоретических исследований, знакомит с передовыми техническими достижениями, с материалами симпозиумов, конференций и хроникой важнейших событий научной жизни. Статьи журнала рецензируются.

Журнал «Навигация и гидрография» включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук» (редакция 29.12.2015 г.).

Журнал выходит четыре раза в год и распространяется по подписке. Кроме того, он рассылается в крупнейшие библиотеки России, центры научно-технической информации, органы военного управления различного уровня, научно-технические библиотеки высших военно-морских учебных заведений и научно-исследовательских организаций.

Информация для авторов

Статьи принимаются в формате MS Word с приложением текста на бумаге (шрифт – Times New Roman размером 14, межстрочный интервал 1,5). Все материалы должны быть подписаны автором (авторами).

Объем статьи не должен превышать 0,5 авторского листа (20 000 печатных знаков), включая рисунки, таблицы и список литературы.

Название статьи должно в наиболее краткой форме отражать ее содержание.

В статье указывается *индекс УДК*. К работе прилагаются *аннотация, ключевые слова* и *сведения об авторах.*

В аннотации приводятся сведения, которые дополняют название и характеризуют тему статьи, рассмотренную проблему, цель и полученные результаты.

В качестве ключевых приводятся слова или словосочетания из текста статьи, несущие существенную смысловую нагрузку с точки зрения информационного поиска. Выбор ключевых слов должен осуществляться по всему тексту статьи с охватом основных смысловых аспектов её содержания.

В сведениях об авторах указываются: фамилия, имя, отчество; полное наименование учреждения, где работает автор; должность; ученая степень, звание; воинское звание (для военнослужащих); полное наименование высшего учебного заведения, которое окончил автор; специализация; количество опубликованных научных трудов. Кроме того, авторам необходимо указать контактную информацию: почтовый или электронный адрес, номера телефонов.

К рукописи прилагается *сопроводительное письмо* организации, в которой работает автор, и один экземпляр *экспертного заключения* о возможности открытого опубликования представленных материалов.

Для написания формул и символов, входящих в формулы, следует использовать редактор формул *MS Equation*.

Используемые в статье *величины и единицы измерения* должны соответствовать стандартным обозначениям согласно Международной системе единиц СИ.

Рисунки должны быть вставлены в текст как *графический* файл, иметь порядковые номера и подписи.

Таблицы должны иметь порядковые номера и названия. Допускается только вертикальная ориентация таблиц, ширина не должна превышать 140 мм.

Список использованной литературы составляется на языке оригинала (исключение – языки с иероглифическим написанием слов) в порядке ссылок на источники по тексту. Ссылки в тексте даются в квадратных скобках, где указывается номер работы по списку. В списке литературы указываются: фамилии и инициалы авторов, полное название книги или статьи, название сборника, город, издательство, год, том, номер, страницы.

Подписка на журнал «Навигация и гидрография»

Журнал «Навигация и гидрография» включён в каталог «Издания органов научно-технической информации» агентства «Роспечать». Подписной индекс 60941.

Периодичность выхода – четыре номера в год.

Стоимость одного номера 250 руб., включая НДС 18%.

Для заказа издания непосредственно в редакции необходимо направить в адрес редакции заявку в произвольной форме с указанием номера(ов) журнала, контактных данных и реквизитов заказчика.

Архив журнала в формате PDF доступен на сайте ОАО «ГНИНГИ» www.gningi.ru.

Адрес редакции: ОАО «ГНИНГИ»,
199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41,
Телефон/факс: (812) 327-99-80
E-mail: mail@gningi.ru; info@gningi.ru

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 2016, №45

Научный редактор П. И. Малеев

Редактор И. Ю. Бугрова

Редактор-переводчик Г. В. Трибуц

Технический редактор В. Ю. Бахмутов

Подписано в печать 28.09.2016 г.
Тираж 300 экз.
Заказ № 32/03 от 29.09.2016 г.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-43932.

Подписной индекс в каталоге «Издания органов НТИ» Агентства «Роспечать» 60941.

Журнал «Навигация и гидрография» включен в «Перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание
ученой степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук».

Электронная версия журнала размещена на сайте www.gningi.ru

**© ОАО «Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт»**