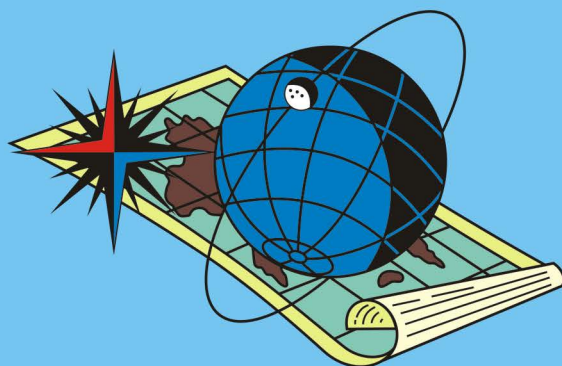


ISSN 2220-0983

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

№ 1 (74)  
Март 2024

# НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ



*85 лет ГНИНГИ*

Санкт-Петербург

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

---

# **НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ**

**№ 1 (74)**

**Март 2024**

**Издается с 1995 года**

---

**Санкт-Петербург**

**Главный редактор  
к. т. н. В. М. Смолин**

**Редакционная коллегия:**

к. т. н. А. А. Якушев (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; д. т. н. С. И. Мастрюков;  
акад. РАН В. Г. Пешехонов; д. т. н., профессор К. Г. Ставров;  
д. 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 ученой степени доктора наук»

Электронная версия журнала размещена на сайте [www.gningi.ru](http://www.gningi.ru)

**© Акционерное общество  
«Государственный научно-исследовательский  
навигационно-гидрографический институт»  
2024**

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC  
INSTITUTE**

---

**NAVIGATION AND HYDROGRAPHY**

**No 1 (74)**

**March 2024**

**Published since 1995**

---

**Saint-Petersburg**

**Editor-in-chief**  
**V. Smolin, CandSc**

**Editorial board**

A. Yakushev, CandSc (deputy 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; S. Mastryukov, DSc;  
V. Peshekhonov, DSc, Acad. RAS; K. Stavrov, DSc, professor;  
A. Sharkov, DSc; G. Shchukin, DSc, professor

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

**2024**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>К 85-летию Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института.</b> В. М. Смолин, К. Г. Ставров, А. И. Исмаилов .....	7
--	---

### НАВИГАЦИЯ

<b>Анализ современного состояния и перспектив развития приморской инфраструктуры, обеспечивающей безопасность мореплавания в Азово-Черноморском бассейне.</b> Р. В. Чубаров, Г. А. Французов, С. А. Ярошенко .....	16
<b>Байесовские сети в кораблевождении.</b> С. Н. Некрасов, А.Н. Солощев .....	27

### ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

<b>Перспективы развития технических средств ГС ВМФ.</b> А. М. Шарков, Г. Н. Непомилуев, С. С. Старотиторов .....	34
<b>Природная система пространственного счисления.</b> С. Н. Гузевич .....	40
<b>Расчлененность рельефа морского дна и плагин QGIS для ее определения.</b> А. В. Костенич, И. К. Михаль, В. Ю. Бахмутов, А. А. Веселов, Е. А. Гордеева, Д. А. Костенич .....	56

### ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

<b>Особенности гидролого-акустического режима юго-западной акватории Карского моря в условиях поверхностного опресненного слоя.</b> Н. Н. Жильцов, А. В. Ерышев, В. Н. Лобанов .....	71
<b>Методический подход к вопросу модифицирования конвективных облаков с целью вызывания осадков.</b> И. В. Гончаров, А. П. Доронин, Н. А. Козлова, В. М. Петроченко .....	78
<b>Технологии и средства мониторинга мезомасштабных процессов морской среды.</b> Н. Н. Жильцов, А. В. Ерышев, В. Н. Лобанов .....	85
<b>Планы Минобороны США по адаптации к изменениям климата.</b> С. И. Матрюков, В. Ю. Бахмутов .....	93
<b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</b> .....	104
<b>РЕФЕРАТЫ</b> .....	106

## CONTENTS

**To the 85<sup>th</sup> Anniversary of the State Research Navigation-Hydrographic Institute.** V. M. Smolin, K. G. Stavrov, A. I. Ismailov ..... 7

### NAVIGATION

**Analysis of the Current State and Prospects for the Development of the Coastal Infrastructure that Ensures the Safety of Navigation in the Azov-Black Sea Basin.** R. V. Chubarov, G. A. Frantsuzov, S. A. Yaroshenko ..... 16

**Bayesian Networks in Navigation.** S. N. Nekrasov, A. N. Soloshchev. .... 27

### HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY

**Prospects for the Development of Technical Means of the Hydrographic Service of the Navy.** A. M. Sharkov, G. N. Nepomiluev, S. S. Starotitorov ..... 34

**The Natural Spatial Number System.** S. N. Guzevich ..... 40

**The Dissection of the Seabed Relief and the QGIS Plugin for its Definition.** A. V. Kostenich, I. K. Mikhal, V. Yu. Bakhmutov, A. A. Veselov, E. A. Gordeeva, D. A. Kostenich ..... 56

### HYDROMETEOROLOGY

**Peculiarities of the Hydrologic-Acoustic Regime of the Southwestern Water Area of the Kara Sea Under the Conditions of the Surface Desalinized Layer.** N. N. Zhiltsov, A. V. Eryshev, V. N. Lobanov ..... 71

**Methodical Approach to the Modification of Convective Clouds in Order to Cause Precipitation.** I. V. Goncharov, A. P. Doronin, N. A. Kozlova, V. M. Petrochenko ..... 78

**Technologies and Tools for Monitoring Mesoscale Processes of the Marine Environment.** N. N. Zhiltsov, A. V. Eryshev, V. N. Lobanov ..... 85

**The Plains of the United States Department of Defense for Adaptation to Climate Change.** S. I. Mastryukov, V. Yu. Bakhmutov ..... 93

**INFORMATION ABOUT AUTHORS** ..... 104

**ABSTRACTS** ..... 106

**К 85-ЛЕТИЮ ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО  
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА****В. М. СМОЛИН, К. Г. СТАВРОВ, А. И. ИСМАИЛОВ**  
(АО «ГНИНГИ»)

Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт (ГНИНГИ) – один из старейших институтов Российского Флота – головная научно-исследовательская организация России по навигационно-гидрографическому и гидрометеорологическому обеспечению (НГГМО) деятельности на море.

История становления института неразрывно связана с Военно-Морским Флотом, изучением и освоением морских пространств в интересах обороны и экономики страны. Необходимость создания Института была обусловлена принятием в СССР в 1938 году Программы строительства океанского флота. Важную составную часть этой программы представляло развитие НГГМО ВМФ, предусматривающее создание отечественного навигационного оборудования и морских карт на прибрежные зоны и открытое море.

Для решения этих задач приказом народного комиссара ВМФ от 10 марта 1939 г. как единый исследовательский и координирующий орган был создан Научно-испытательный гидрографическо-штурманский институт РК ВМФ. В дальнейшем учреждение неоднократно реформировалось в соответствии с актуальными задачами по созданию технических средств навигации, гидрографии, морской картографии и гидрометеорологии, а также в области разработки методов НГГМО ВМФ и общего мореплавания, морской деятельности государства в целом.

Вместе с Военно-Морским Флотом Институт прошел ряд этапов своего развития.

В 1939–1940 гг. деятельность Института была направлена на разработку штурманских приборов, средств навигационного оборудования, средств и методов осуществления гидрографических исследований. Были изготовлены опытные образцы эхолота НЭЛ-2, рассчитанного на измерение глубин до 1 000 м, закончена разработка эхолотов ЭМС-23 и ШЭЛ-3, произведены испытания макета глубоководного эхолота для измерения глубин до 5 000 м, велась разработка ультразвуковых гидролокаторов, определяющих навигационные опасности. В 1940 г. были разработаны приборы ночного видения.

В период Великой Отечественной войны и в послевоенные годы разработаны и внедрены технические средства навигационно-гидрографического обеспечения (НГО) боевых действий в Финском заливе и на Ладожском озере, в том числе для обеспечения ледовой Дороги жизни и ледовых трасс в районе Моонзундского архипелага.

Всего было принято на вооружение более 20 и закончена разработка более 10 образцов новой техники. Среди них – первая отечественная радионавигационная система «Координатор», установка ведущего кабеля «Окунь»; малогабаритный гирокомпас «Гиря»; створный радиомаяк «Сафар»; гидродинамический лаг «Гаусс-50»; маячный прожектор «Б-60-1»; гиромагнитный компас «КГМК-4»; десантный створный радиомаяк «Штрих-П»; аппаратура для совместного плавания кораблей



ночью «Огонь-44» и «Огонь-М»; лаги «Рейс-55» и «Рейс-27,5»; подводный аварийный магнитный компас «ПАМК»; эхолот НЭЛ-3 и др.

Обобщение опыта НГО ВМФ в годы войны позволило разработать технологии НГО боевого траления и съемки рельефа дна.

Следующий период характеризуется созданием и совершенствованием ракетно-ядерного флота страны.

На коллектив Института были возложены задачи разработки:

- теоретических принципов построения корабельных инерциальных навигационных систем, абсолютных гидроакустических (доплеровских) лагов, спутниковых навигационных систем, радионавигационных систем различного назначения;

- методов повышения точности автономной навигации, в первую очередь, в приполюсных широтах;

- а также обоснования системы технических средств, методов и технологий систематических исследований и картографирования элементов НГГМО, создания коллекции морских карт на весь Мировой океан для обеспечения действий флота.

Институтом был решен ряд крупных научно-технических проблем в области навигации и гидрографии, что обеспечило создание системы НГО для принципиально нового поколения кораблей и судов ВМФ и их эффективное использование. Основные проекты, в которых участвовал ГНИНГИ:

- работа над созданием спутниковой навигационной системы (СНС) и подготовкой запуска в 1967 г. первого навигационного спутника «Космос-192» (совместно с предприятиями и учреждениями космической отрасли);

- обеспечение эксплуатации отечественных СНС;

- разработка теоретических основ гидрографической радиодальномерной автоматизированной системы, позволившей производить юстировку технических средств НГГМО;

- разработка новых методов и средств изучения геофизических полей Мирового океана, технологий их использования в интересах НГГМО;

- участие в создании подводных научно-исследовательских аппаратов для поиска предметов на морском дне, обследования акваторий;

- разработка теоретических основ автоматизированных систем для комплексного исследования районов Мирового океана (совместно с предприятиями «Агат» и «Дельфин») и технологий их использования на океанографических исследовательских судах ВМФ и др.

Важным событием стало включение в состав Института в 1988 г. научно-исследовательского океанографического центра (НИОЦ) Министерства обороны. НИОЦ был образован в 1972 г. как ведомственный центр Единой общесоюзной системы сбора океанографической информации для более эффективного ее использования в интересах различных видов Вооруженных Сил. В НИОЦ был создан Банк океанографических данных, регулярно пополнявшийся материалами отечественных и зарубежных исследований.

В 1990-х годах наступил поворотный этап в судьбе Института, результатом которого стало преобразование основных направлений его деятельности в крупные системообразующие компоненты национальной морской политики России.

Постановлением Правительства РФ от 19 июня 1994 г. № 711 ГНИНГИ был определен головной научно-исследовательской организацией, ответственной за

обоснование и разработку технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии, океанографического обеспечения обороны и экономики страны и осуществляющей научно-техническую поддержку деятельности органов государственного и военного управления, научных и производственных организаций.

Дальнейшее развитие Института связано с реализацией Указа Президента Российской Федерации от 15.09.2008 г. № 1359, в соответствии с которым в 2009 г. ФГУП «ГНИНГИ Минобороны России» было преобразовано в акционерное общество «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» (АО «ГНИНГИ»).

В 2014 г. распоряжением Правительства Российской Федерации АО «ГНИНГИ» внесено в Перечень стратегических организаций, обеспечивающих реализацию единой государственной политики в отраслях экономики, в которых осуществляют деятельность эти организации.

Роль и место АО «ГНИНГИ» в системе морской деятельности Российской Федерации определяется тем, что Институт является уникальным, единственным в стране научно-исследовательским учреждением в сфере навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения, не имеющим аналогов в других министерствах и ведомствах. Принципиальной особенностью деятельности Института является комплексное решение задач НГГМО оборонной и экономической деятельности России на море с учетом международных обязательств РФ в этой области.

К основным направлениям деятельности АО «ГНИНГИ» относятся следующие.

- Обоснование оптимальных структур и перспективных направлений развития морских средств и методов навигации и навигационного оборудования акваторий, гидрографии, морской геофизики, гидрометеорологии и океанографии.

- Разработка новых методов изучения и использования морских пространств и природной среды Мирового океана, проведение экспедиционных исследований в интересах обеспечения безопасности мореплавания, повышения эффективности обороны и экономики страны.

- Научное обоснование и разработка технической политики и технологий, организация и выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) в интересах НГГМО морской деятельности РФ, внедрение их результатов.

- Научно-техническое сопровождение НИОКР, выполняемых по государственному заказу предприятиями и научными учреждениями министерств и ведомств РФ и РАН, коммерческими организациями.

- Разработка ведомственных и общесистемных нормативно-технических документов, подразделов федеральных целевых программ в области развития средств и методов НГГМО морской деятельности Российской Федерации.

К началу 1990-х годов на основе разработок ГНИНГИ была создана система НГГМО ВМФ, в состав которой вошли:

- средства навигационного оборудования и картографирования морей;
- корабельные (бортовые) средства навигации на базе инерциальных систем для выработки навигационных и геодезических параметров;
- глобальная спутниковая навигационная система;

– глобальная система океанографического обеспечения на основе космических средств дистанционного зондирования, корабельных информационно-измерительных комплексов и автоматических гидрометеорологических станций;

– методы и средства изучения и картографирования физических полей Мирового океана, автоматизации морских исследований, анализа и учета влияния гидрометеорологической обстановки на эффективность действий ВМФ.

В последующие годы при участии ГНИНГИ был разработан и принят на вооружение ВМФ ряд образцов технических средств кораблевождения и навигационного оборудования акваторий, а также технических средств гидрографии, геофизики и гидрометеорологии. Была проведена опытная эксплуатация первой очереди Единого центра данных океанографических и гидрографических исследований Мирового океана МО РФ.

В НИОЦ ГНИНГИ разработаны автоматизированные информационно-справочные системы по параметрам среды Мирового океана, электронные навигационно-гидрографические описания морей России и атласы гидрометеорологических условий мореплавания.

Институтом выполнены крупномасштабные изыскательские работы, гидрографические, геофизические, океанографические съемки, морские инженерные изыскания на акваториях всех морей России и в океанских районах в интересах НГТМО различных видов морской деятельности. Научно-технический потенциал Института был востребован при реализации приведенного ниже ряда крупных проектов в морях России.

*В Баренцевом, Печорском и Карском морях:*

– организация безопасной транспортировки на путях движения в заливах Баренцева моря реакторных отсеков атомных подводных лодок к местам утилизации;

– комплексное освоение Штокмановского газоконденсатного месторождения;

– развитие инфраструктуры транспортировки сжиженного природного газа на побережье Баренцева моря;

– проектирование и постановка морской ледостойкой платформы «Приразломная», а также экспериментальная отработка швартовых и грузовых операций при рейдовой круглогодичной погрузке нефти в Печорском море;

– разработка системы управления ледовой обстановкой в районах инженерных объектов нефтяных и газовых месторождений для условий Баренцева и Печорского морей, Обской и Тазовской губ и др.

*В Охотском море:*

– навигационно-гидрографическое обеспечение транспортировки и установки морских добывающих платформ («Орлан», «Lun-A», «РА-B») на шельфе острова Сахалин;

– разработка систем безопасности мореплавания в районах портов Посьет, Ванино, Де-Кастри, Пригородное, Чайво, а также в районах строительства трубопроводов в заливе Чайво и Татарском проливе;

– участие в морских исследованиях (гидрографических, ледовых, сейсмических, литодинамических и др.) в районах работ по проектам «Сахалин-1, 2, 3, 5») и др.

*В Черном море:*

– инженерно-гидрографические и инженерно-гидрометеорологические изыскания по районам проектирования подводных газопроводов «Голубой поток» и «Джубга»

Туапсе-Сочи», подводных волоконно-оптических линий связи «Новороссийск – Сочи – Поти»;

- проектирование систем безопасности мореплавания в морских портах Новороссийск, Тамань, Сочи;

- разработка проекта подходного пути к грузовому району порта Кавказ;

- обследование мест якорных стоянок в Керченском проливе и др.

*В Балтийском море:*

- исследование процессов переформирования рельефа дна под воздействием волнения, течений и ледяного покрова в прибрежных районах;

- морские инженерные изыскания и исследования природных процессов в интересах обеспечения проектирования и строительства в портах Усть-Луга, Приморск, Портовая, Грайсвальд, Батарейная, Большой порт Санкт-Петербург;

- дноуглубление подходного фарватера Сайменского канала;

- проекты путей движения и средств навигационного оборудования (СНО) для обеспечения модернизации и строительства новых терминалов в портах Приморск и Усть-Луга;

- морские инженерные изыскания и специальные исследования по выявлению опасностей техногенного происхождения (ОТП) по трассе подводного газопровода «Северный поток» и др.

ГНИНГИ также участвовал в реализации зарубежных проектов, среди которых – инженерно-изыскательские и проектные работы по объекту «Реконструкция портового перегрузочного комплекса для развития мощности алюминиевого завода ALSCON» (Нигерия), Российско-американская программа долговременного изучения Арктики «Русалка/RUSSian-American Long-term Census of the Arctic» и др.

Особое место в деятельности Института занимает направление, связанное с изучением и освоением Арктического бассейна. Комплексные гидрографические и геофизические исследования Северного Ледовитого океана (СЛО) с дрейфующего льда (воздушные высокоширотные экспедиции (ВВЭ) «Север») под научно-методическим руководством ГНИНГИ и НИИГА (в настоящее время – ВНИИОкеангеология) были начаты во второй половине 1950-х гг. и проводились до середины 1990-х гг. За этот период разработаны технологии, технические средства и методы исследований (съемок рельефа дна и геофизических полей, сбора океанографических данных). Были собраны уникальные данные о физических полях, впервые в мире созданы подробные карты рельефа дна СЛО, определены перспективы проведения исследований его центральных районов.

После ратификации в 1996 г. Российской Федерацией Конвенции ООН по морскому праву (1982 г.) были развернуты работы по определению внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) РФ в Северном Ледовитом и Тихом океанах. В соответствии с требованиями указанной Конвенции (ст. 76) для обоснования положения ВГКШ используются данные гидрографических и геолого-геофизических исследований. Институт участвует в этих работах как головная гидрографическая организация.

На первом этапе (1999–2001 гг.) подготовки Представления (заявки) РФ в Комиссию по границам континентального шельфа при ООН материалы исследований ВВЭ «Север», сохраненные в Банке данных НИОЦ ГНИНГИ, стали одним из основных источников натуральных данных, обосновывающих возможность приращения площади континентального шельфа РФ за пределами 200-мильной исключительной

экономической зоны более чем на 1,2 млн км<sup>2</sup>. По прогнозным оценкам недр континентального шельфа России в Арктике содержат около 4,9 млрд т условного топлива.

По результатам рассмотрения заявки РФ в Комиссии ООН (2001–2002 гг.) исследования по этой проблеме были продолжены. По заказу Минприроды и Минобороны России в 2009–2020 гг. АО «ГНИНГИ» организовало и провело совместно с государственными научно-исследовательскими учреждениями, а также коммерческими организациями геологического и гидрографического профиля ряд экспедиций в Северном Ледовитом океане и в Охотском море.

В 2014 г. материалы гидрографических исследований, выполненных ГНИНГИ по проблеме ВГКШ, стали определяющими при принятии Комиссией ООН (по границам континентального шельфа) решения о международном признании юрисдикции Российской Федерации в отношении центральной части Охотского моря.

Гидрографические исследования по проблеме ВГКШ в центральной части СЛО проводились ГНИНГИ на научно-экспедиционном судне (НЭС) «Академик Федоров» (ГНЦ ААНИИ) под проводкой атомного ледокола. Для их проведения на НЭС «Академик Федоров» был установлен навигационно-гидрографический комплекс на базе многолучевого эхолота (МЛЭ) EM-122 (фирмы «Kongsberg Maritime AS», Норвегия).

В результате проведения экспедиций 2010–2020 гг. впервые в мировой практике в районах центральной Арктики, покрытых дрейфующим льдом, на надводном судне по заранее спланированной (в соответствии с требованиями Комиссии ООН) системе практически прямолинейных галсов выполнены уникальные гидрографические (батиметрические, сейсмические, профилографические, гравиметрические и др.) съемки, в том числе более 38 тыс. лин. км съемок МЛЭ, полную обработку которых осуществили специалисты ГНИНГИ.

Материалы этих экспедиций, включенные в информационные ресурсы Минприроды (Росгеолфонда) и Минобороны России, были положены в основу обновленного Представления Российской Федерации в отношении континентального шельфа России в СЛО с Дополнением, представленным в профильную Комиссию ООН 31.03.2021 г.

Закономерным результатом их рассмотрения Комиссией ООН в 2023 г. стало официальное признание юрисдикции России в отношении центральных районов Арктического бассейна, что увеличило площадь российского континентального шельфа более чем на 1,6 млн кв. км, а также закрепило право Российской Федерации на огромные запасы полезных ископаемых нефти, газа и др., находящихся в недрах этих районов СЛО.

В настоящее время АО «ГНИНГИ» включает в себя пять основных научных подразделений:

- Научно-исследовательское управление навигации;
- Научно-исследовательское управление гидрографии, геофизики и гидрометеорологии;
- Научно-исследовательское управление общесистемных проблем морской деятельности Российской Федерации;
- Научно-исследовательский океанографический центр.

В основе современных исследований, проводимых Институтом, лежит разработка технологических инноваций в области НГГМО морской деятельности в интересах решения важнейших задач укрепления обороны и экономики страны, реализации стратегических приоритетов государственной политики Российской Федерации на морских направлениях.

Исследования и разработки ГНИНГИ высоко оценены Правительствами СССР и РФ. В 1984 г. за достигнутые успехи Институт был награжден орденом Трудового Красного Знамени. Ряд научно-исследовательских работ, выполненных учеными ГНИНГИ, был удостоен Ленинской премии (3 работы) и Государственными премиями СССР и Российской Федерации (15 работ), а их авторы награждены орденами и медалями.

В рамках одной статьи невозможно рассказать обо всех ученых и специалистах, которые внесли определяющий вклад в развитие ГНИНГИ за 85 лет его деятельности, многих из них уже нет с нами. Однако нельзя не упомянуть первого начальника Института инженер-капитана 1 ранга Н. И. Сигачёва, дважды лауреата Государственной премии, доктора технических наук, профессора; первого начальника НИОЦ МО контр-адмирала А. И. Сорокина, лауреата Государственной премии, члена – корреспондента АН СССР; начальников Института в 1964–1999 гг.: лауреата Ленинской премии контр-адмирала Ю. И. Максюту; контр-адмирала А. В. Федотова, в период руководства которого Институт был награжден орденом Трудового Красного Знамени; контр-адмирала В. С. Макоду, лауреата Государственной премии, доктора технических наук, профессора, под руководством которого ГНИНГИ начал работу в новых экономических условиях.

Невозможно переоценить вклад в становление Института как акционерного общества первого генерального директора АО «ГНИНГИ» контр-адмирала С. П. Алексеева, лауреата премии Правительства России, доктора технических наук, профессора, а также заместителей генерального директора: полковника А. Н. Добротворского, лауреата премии Правительства России, доктора технических наук, профессора; капитана 1 ранга В. А. Титлянова, кандидата технических наук и капитана 1 ранга П. Г. Бродского, доктора военных наук, профессора.

Контр-адмирал С. П. Алексеев занимал должность заместителя начальника ГНИНГИ МО РФ с 1990 г., а в 1999 г. был назначен его начальником. Под его руководством в 2009 г. Институт прошел реорганизацию и уверенно подтвердил свои компетенции в различных областях оборонной и экономической деятельности на море, включая создание комплексной системы обеспечения безопасности морской деятельности, развитие системы НГГМО проектирования и строительства морских нефтегазовых объектов и подводных трубопроводов, делимитации морских границ Российской Федерации и др.

Менее года проработал на посту генерального директора АО «ГНИНГИ» В. А. Титлянов, скоропостижно скончавшийся в августе 2019 г., однако, занимая до этого должность директора по научной работе (с 2013 г.), он успел многое сделать для развития в Институте новых перспективных научных направлений, включая разработку методов и средств НГГМО морских робототехнических комплексов и исследования по созданию отечественной Системы оперативной океанологии.

В сентябре 2022 г. ушел из жизни доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации Н. Н. Неронов, отдавший более 70 лет жизни деятельности развитию системы НГО ВМФ. Под его руководством

успешно развивалась научная школа «Проблемы НГО морской деятельности, создания технических средств и методов гидрографии, технологий гидрографических работ».

В современных условиях ученые АО «ГНИНГИ» продолжают развитие научных школ по направлениям:

– «Корабельные инерциальные навигационные комплексы и системы» (создатель и руководитель научной школы – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации Г. И. Емельянцеv);

– «Теоретические основы военно-экономического обоснования и нормативного обеспечения развития сил и средств системы НГО и ГМО Российской Федерации» (доктор военных наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации А. И. Исмаилов);

– «Использование космических средств для повышения устойчивости навигационного обеспечения кораблей и судов» (доктор военных наук, профессор В. А. Катенин);

– «Использование новых физических явлений и принципов в навигации» (доктор технических наук, старший научный сотрудник П. И. Малеев);

– «Теоретические основы создания автоматизированных информационных систем и банков геопространственных данных о природе Мирового океана в интересах НГТМО морской деятельности» (доктор технических наук, профессор К. Г. Стаvров);

– «Радиолокационное зондирование атмосферы, Мирового океана и поверхности Земли, атмосферное электричество» (доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации Г. Г. Шукин).

В настоящее время одно из основных направлений деятельности АО ГНИНГИ – получение и интерпретация данных о морской природной среде, обеспечение ими органов государственного и военного управления, различных мореведческих организаций России.

Среди перспективных проектов, над которыми работает АО «ГНИНГИ», помимо продолжения морских научных исследований в интересах дальнейшего расширения континентального шельфа России, необходимо назвать следующие:

– разработка системы НГТМО морских робототехнических комплексов различного назначения на основе наиболее современных достижений комплекса навигационно-гидрографического приборостроения;

– развитие Банка океанографических данных Института, наращивание его объемов и возможностей в решении задач обеспечения морской экономической и оборонной деятельности России путем включения новых типов данных (навигационных, батиметрических, гидроакустических и др.) и создания комплексных информационных продуктов на базе геоинформационных технологий;

– разработка технологии и создание многомерных моделей морской природной среды на основе комплексной обработки разнородной геопространственной информации, в том числе в интересах создания в России системы оперативной океанологии.

В 2012 г. во исполнение решения Совета Безопасности Российской Федерации (п. 6 Протокола заседания СБ РФ от 9 июля 2010 г., утвержденного Президентом Российской Федерации 21 июня 2010 г. № Пр-1791), в Институте появилось новое направление научных исследований – подготовка и обоснование в рамках государственного оборонного заказа документов стратегического планирования в

части государственного управления морской деятельностью Российской Федерации в Мировом океане. Головной организацией по подготовке документов стратегического планирования был назначен 31 отдельный научно-исследовательский отдел, на базе которого в 2022 г. создано научно-исследовательское управление общесистемных проблем морской деятельности Российской Федерации (НИУ ОПМД). Начальников НИУ ОПМД был назначен профессор А. И. Исмаилов.

К настоящему времени специалистами НИУ ОПМД были разработаны проекты: в 2015 г. – Морской доктрины Российской Федерации (утв. Президентом Российской Федерации от 17 июня 2015 г. № Пр-1210); в 2017 г. – Основ государственной политики в области военно-морской деятельности на период до 2030 г. (утв. Указом Президента Российской Федерации от 20 июля 2017 г. № 327); в 2019 г. – Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2019 г. № 1930-р); в 2022 г. – новой редакции Морской доктрины Российской Федерации (утв. Указом Президента Российской Федерации от 31 июля 2022 г. № 512).

Наряду с указанными проектами, специалистами НИУ ОПМД в лице докторов военных наук, профессоров А. И. Исмаилова, А. Н. Попова, В. В. Пучнина, кандидатов наук А. В. Безгодова, С. А. Пискуна, С. А. Сурмилова и других подготовлены и переданы в Министерство обороны Российской Федерации (Главное командование ВМФ) проекты концепций и федеральных законов: «О государственном управлении морской деятельностью Российской Федерации в Мировом океане», «О поиске и спасании на море», «О внесении изменений и дополнений в Федеральный закон от 26 февраля 1997 года № 31-ФЗ «О мобилизационной подготовке и мобилизации в Российской Федерации», а также ряд других документов стратегического планирования, которые были одобрены Морской коллегией при Правительстве Российской Федерации и в настоящее время проходят согласительные процедуры.

К важнейшей работе НИУ ОПМД относится подготовка проекта ежегодного доклада Президенту Российской Федерации о ходе реализации Основ государственной политики в области военно-морской деятельности на период до 2030 года.

В заключение необходимо отметить, что в целом комплекс исследований, выполняемых АО «ГНИНГИ», направлен на решение технологических проблем, имеющих кумулятивный эффект в масштабе отдельных секторов экономики, связанных с морской деятельностью. Формирование опережающего научно-технического задела и развитие инновационного потенциала перспективного развития системы НГГМО ведет к повышению уровня ее технического и технологического совершенства. Научно-технический потенциал АО «ГНИНГИ», кадровый состав, современные технологии исследований обеспечивают решение долгосрочных задач НГГМО на функциональных и региональных направлениях морской политики России, развития документов стратегического планирования морской деятельности Российской Федерации на рассматриваемую перспективу.

***TO THE 85<sup>th</sup> ANNIVERSARY OF THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC INSTITUTE***

**V. M. Smolin, K. G. Stavrov, A. I. Ismailov (GNINGI JSC)**



# НАВИГАЦИЯ

УДК 656.61.052

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ПРИМОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ БАССЕЙНЕ**

**Р. В. ЧУБАРОВ** (АО «ГНИНГИ»),  
**Г. А. ФРАНЦУЗОВ** (ВУНЦ ВМФ «ВМА»),  
**С. А. ЯРОШЕНКО** (АО «ГНИНГИ»)

*В статье приведены результаты анализа современного состояния и перспектив развития приморской инфраструктуры, обеспечивающей безопасность мореплавания в Азово-Черноморском бассейне на основе обработки информации из извещений мореплавателям за 2002–2021 годы. Было установлено, что за последние 20 лет наблюдается замедление темпов ввода в эксплуатацию новых и сокращение количества действующих объектов приморской инфраструктуры региона.*

Под термином «объекты приморской инфраструктуры» (ОПИ) в настоящей статье будем понимать объекты и средства навигационно-гидрографического обеспечения безопасности мореплавания.

Известно, что качество функционирования объектов приморской инфраструктуры оказывает существенное влияние на обеспечение безопасности мореплавания. Кроме того, своевременный и полный учёт действующих объектов приморской инфраструктуры определяет объем информации, содержащейся в Извещениях мореплавателям, необходимость переизданий и корректуры морских навигационных карт (МНК), периодичность доведения обновленных МНК до потребителей.

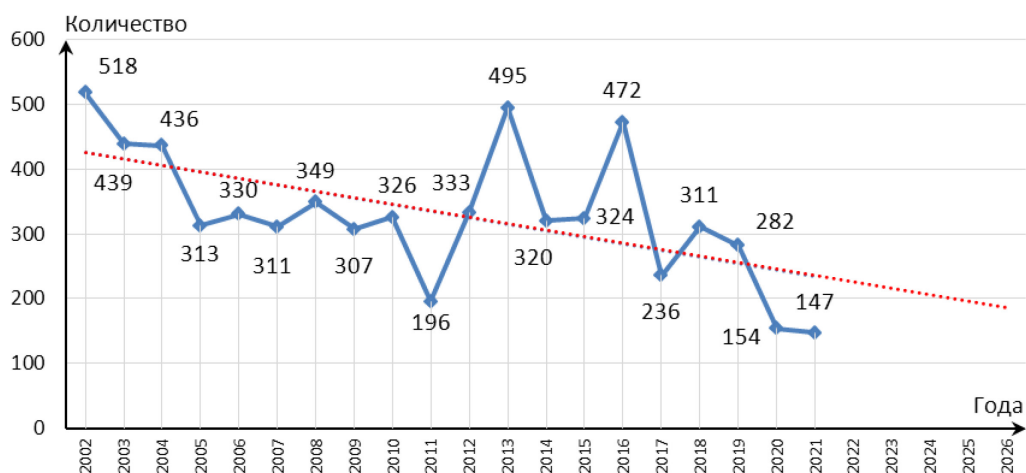
Следовательно, применение контент-анализа к информации, содержащейся в Извещениях мореплавателям за период 2002–2021 гг. [1] по 16-ти терминам: пирс, светящийся знак, буй, бочка, кабель, автоматические идентификационные системы (АИС), виртуальные автоматические идентификационные системы (В-АИС), район, глубина, граница, затонувшее судно, ферма, пунсон, горн, трубопровод, РЛМк (отв), позволяет выполнить количественную оценку состояния и перспектив развития объектов приморской инфраструктуры с использованием программной среды Microsoft Excel.

Для проведения автоматизированного контент-анализа информации рассматривались следующие состояния объектов приморской инфраструктуры: введено в эксплуатацию новое ОПИ; выполнено обустройство (изменение эксплуатационных характеристик) ОПИ; выведено из эксплуатации ОПИ; а также тенденции в наращивании или сокращении ОПИ как разность введенных в эксплуатацию и упраздненных объектов по данным Извещений мореплавателям.

Состояние радионавигационных систем (РНС) в Азово-Черноморском бассейне не рассматривалось из-за ограниченного количества РНС и незначительной количественной динамики входящих в состав РНС элементов за рассматриваемый период времени.

### **Анализ современного состояния и перспектив развития объектов приморской инфраструктуры Азово-Черноморского бассейна<sup>1</sup>**

Количество введенных в эксплуатацию новых объектов ОПИ Азово-Черноморского бассейна за период с 2002 по 2021 год приведено на рис. 1.

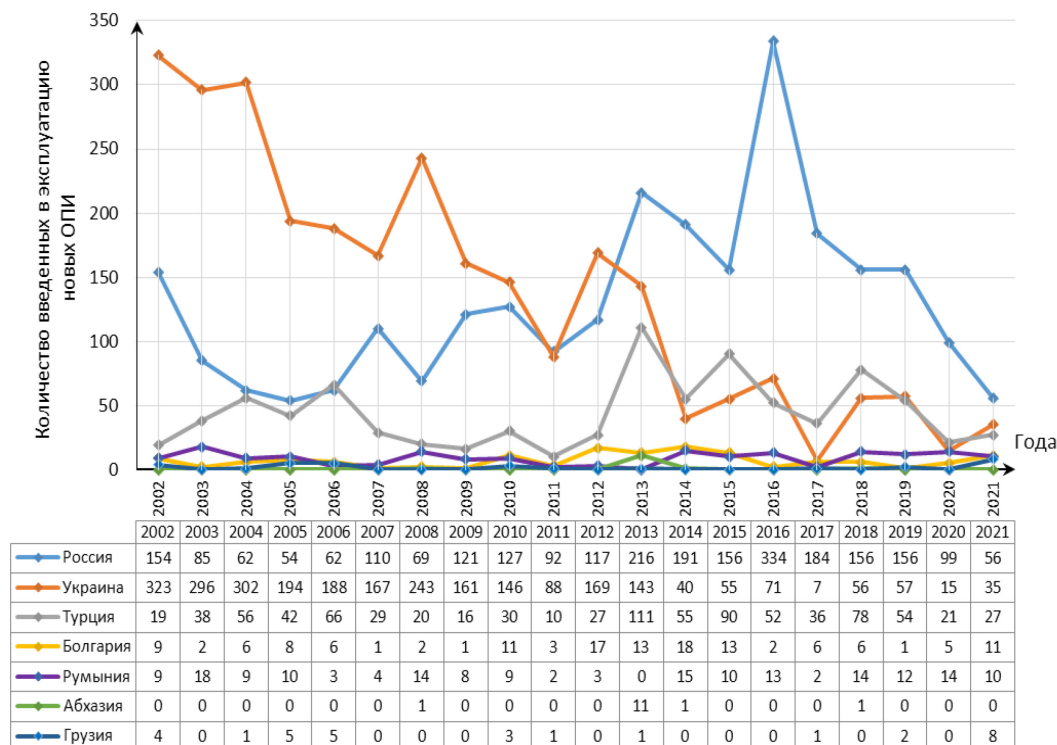


**Рис. 1. Количество новых ОПИ Азово-Черноморского бассейна, введенных в эксплуатацию за период 2002–2021 гг. (в перспективе до 2026 г.)**

За указанный период странами Азово-Черноморского бассейна было введено в эксплуатацию 6599 объектов приморской инфраструктуры со средней скоростью 330 объектов в год. При этом наблюдается сокращение (деградация) количества вводимых в эксплуатацию объектов в год – в 3,52 раза в 2021 г. по сравнению с началом рассматриваемого периода (2002 г.).

Распределение количества новых ОПИ, введенных в эксплуатацию по странам Азово-Черноморского региона за период с 2002 по 2021 год, приведено на рис. 2.

<sup>1</sup> Контент-анализ выполнен с учетом отделения Абхазии от Грузии в 2008 г. и присоединения полуострова Крым к территории Российской Федерацией в 2014 г.



**Рис. 2. Распределение количества новых ОПИ, введенных в эксплуатацию за период с 2002 по 2021 гг., по странам Азово-Черноморского бассейна**

Распределение суммарного количества новых объектов ОПИ и скорость ввода их в эксплуатацию за указанный период странами Азово-Черноморского бассейна приведены в табл. 1.

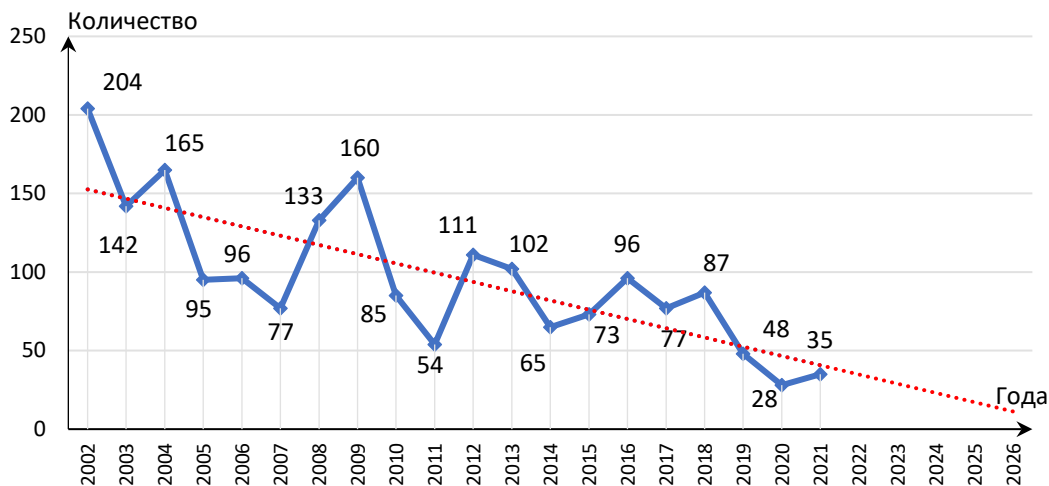
**Таблица 1. Количество и скорость ввода в эксплуатацию новых ОПИ по странам Азово-Черноморского бассейна за период с 2002 по 2021 гг.**

Страна	Суммарное количество ОПИ, введенных в эксплуатацию, объект	Средняя скорость ввода в эксплуатацию ОПИ, объект/год
Украина	2756	138
Российская Федерация	2601	130
Турция	887	44
Румыния	179	9
Болгария	141	7
Грузия	31	2
Абхазия	14	1
В целом за Азово-Черноморский бассейн	6599	330

Анализ данных, приведенных в табл. 1, и графиков на рис. 2 показал:  
 – наблюдается уменьшение количества вводимых в эксплуатацию объектов в Российской Федерации (в 2,75 раза) и на Украине (в 9,23 раза);

– наблюдается увеличение количества вводимых в эксплуатацию объектов по странам: Турция (в 1,42 раза), Болгария (в 1,22 раза), Румыния (в 1,11 раза), Грузия (в 2 раза).

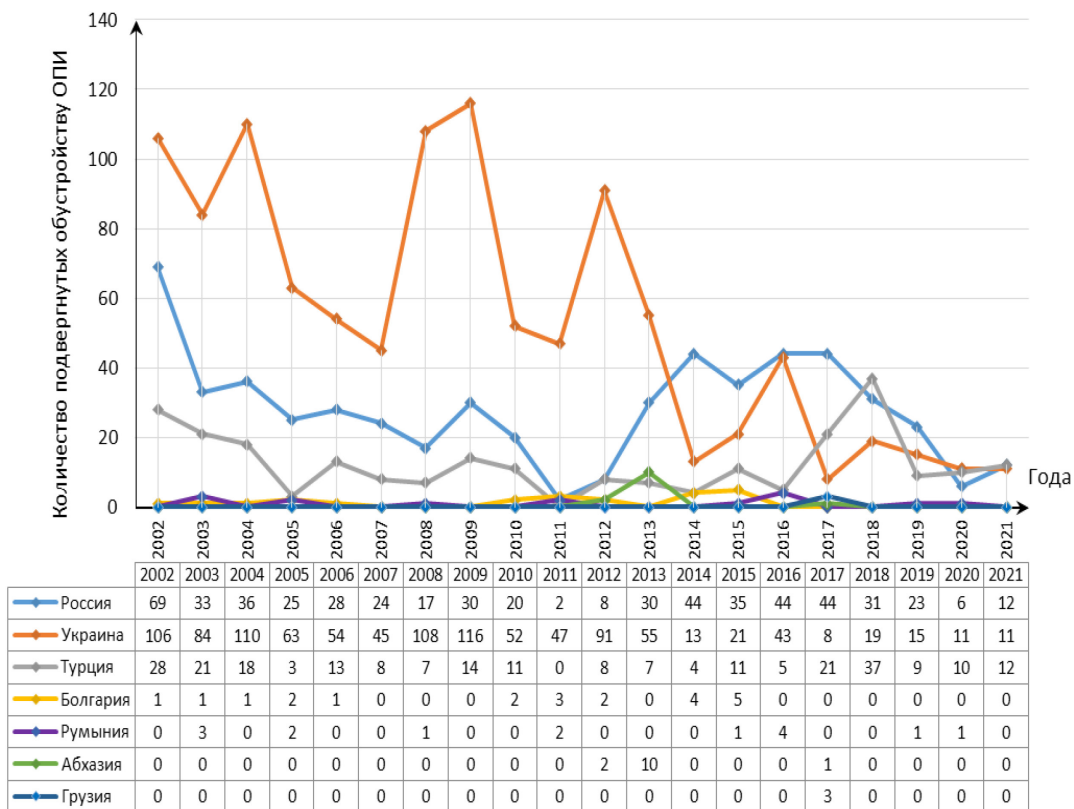
Количество действующих ОПИ Азово-Черноморского бассейна за период с 2002 по 2021 гг., подвергшихся обустройству (изменению эксплуатационных характеристик), приведено на рис. 3.



**Рис. 3. Количество действующих ОПИ Азово-Черноморского бассейна, подвергшихся обустройству за период 2002–2021 гг. (в перспективе до 2026 г.)**

За указанный период странами Азово-Черноморского бассейна было подвергнуто обустройству (изменению эксплуатационных характеристик) 1933 действующих объектов приморской инфраструктуры, со средней скоростью 97 объектов в год. При этом наблюдается сокращение (деградация) количества обустроенных объектов в год – в 5,83 раза в 2021 г. по сравнению с началом рассматриваемого периода (2002 г.).

Распределение количества действующих ОПИ, подвергшихся обустройству, по странам Азово-Черноморского региона за период с 2002 по 2021 год приведено на рис. 4.



**Рис. 4. Распределение количества действующих ОПИ, подвергшихся обустройству в период с 2002 по 2021 год, по странам Азово-Черноморского бассейна**

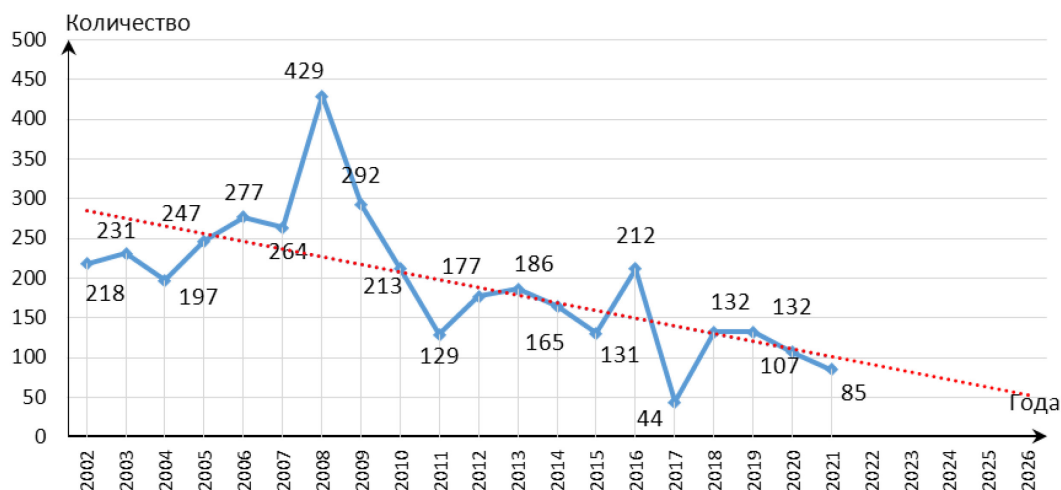
Распределение суммарного количества действующих ОПИ, подвергшихся обустройству, и скорость их обустройства за указанный период странами Азово-Черноморского бассейна приведены в табл. 2.

**Таблица 2. Суммарное количество и средняя скорость обустройства действующих ОПИ по странам Азово-Черноморского бассейна за период с 2002 по 2021 гг.**

Страна	Суммарное количество обустроенных действующих ОПИ, объект	Средняя скорость обустройства действующих ОПИ, объект/год
Украина	1072	54
Российская Федерация	561	28
Турция	247	12
Болгария	22	1
Румыния	15	1
Абхазия	13	1
Грузия	3	0
В целом по странам Азово-Черноморского бассейна	1933	97

Анализ данных, приведенных в табл. 2 и на рис. 4, показал, что наблюдаются тенденции к уменьшению количества обустроенных объектов по странам: Украина (в 9,64 раза); Российская Федерация (в 5,75 раза), Турция (в 2,33 раза).

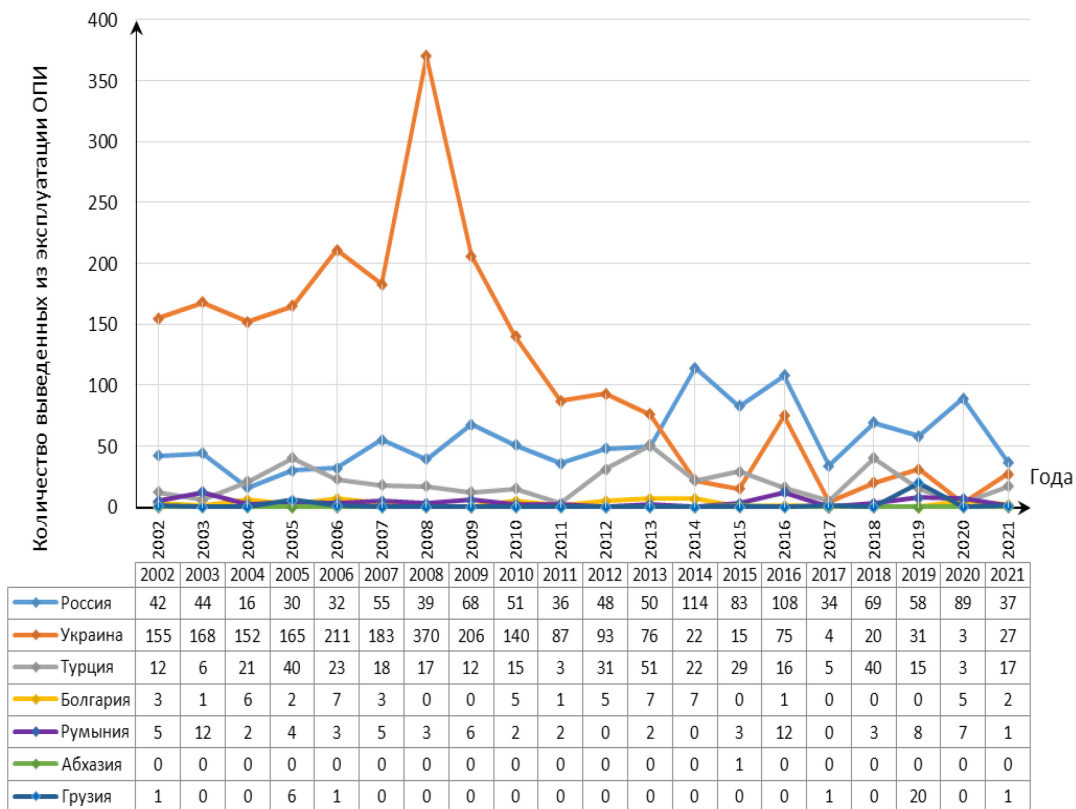
Количество выведенных из эксплуатации ОПИ Азово-Черноморского бассейна за период с 2002 по 2021 гг. приведено на рис. 5.



**Рис. 5. Количество выведенных из эксплуатации ОПИ Азово-Черноморского бассейна за период 2002–2021 гг. (в перспективе до 2026 г.)**

За указанный период странами Азово-Черноморского бассейна было выведено из эксплуатации 3868 объектов приморской инфраструктуры района со средней скоростью 193 объекта в год. При этом наблюдается сокращение количества выведенных из эксплуатации ОПИ в год – в 2,56 раза в 2021 г. по сравнению с началом рассматриваемого периода (2002 г.).

Распределение количества выведенных из эксплуатации ОПИ по странам Азово-Черноморского региона за период с 2002 по 2021 год приведено на рис. 6.



**Рис. 6. Распределение количества выведенных из эксплуатации ОПИ по странам Азово-Черноморского бассейна за период с 2002 по 2021 гг.**

Распределение суммарного количества выведенных из эксплуатации ОПИ и средняя скорость их вывода за указанный период странами Азово-Черноморского бассейна приведены в табл. 3.

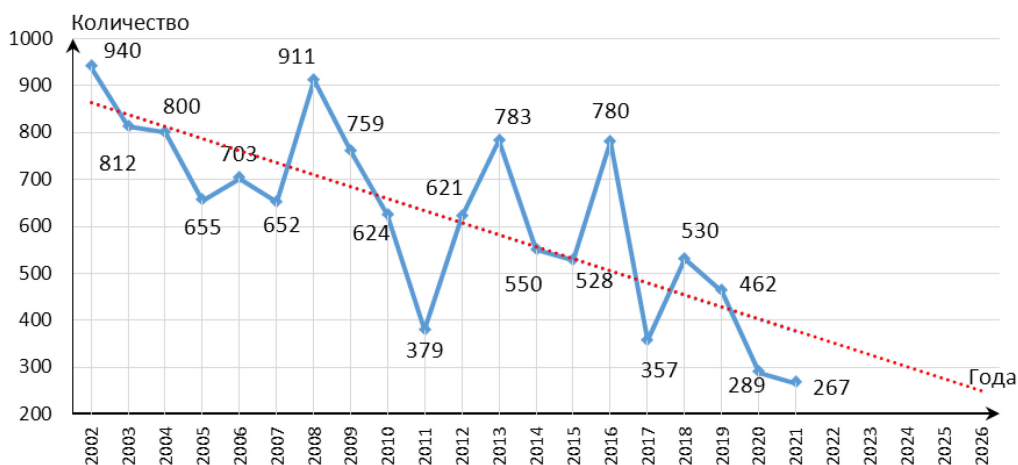
**Таблица 3. Суммарное количество и средняя скорость вывода из эксплуатации ОПИ по странам Азово-Черноморского бассейна за период с 2002 по 2021 гг.**

Страна	Суммарное количество ОПИ, выведенных из эксплуатации, объект	Средняя скорость вывода из эксплуатации ОПИ, объект/год
Украина	2203	110
Российская Федерация	1103	55
Турция	396	20
Болгария	55	3
Румыния	80	4
Абхазия	1	0
Грузия	30	2
В целом по странам Азово-Черноморского бассейна	3868	193

Анализ данных, приведенных в табл. 3 и на рис. 6, показал:

- наблюдается уменьшение количества выводимых из эксплуатации объектов в странах: Российская Федерация (в 1,14 раза), Болгария (в 1,5 раза), Румыния (в 5 раз), Украина (в 5,74 раза);
- наблюдается увеличение количества выводимых из эксплуатации объектов в странах: Турция (в 1,42 раза).

Суммарное количество преобразований (ввод и вывод из эксплуатации, обустройство действующих) ОПИ Азово-Черноморского бассейна за период с 2002 по 2021 год приведено на рис. 7.

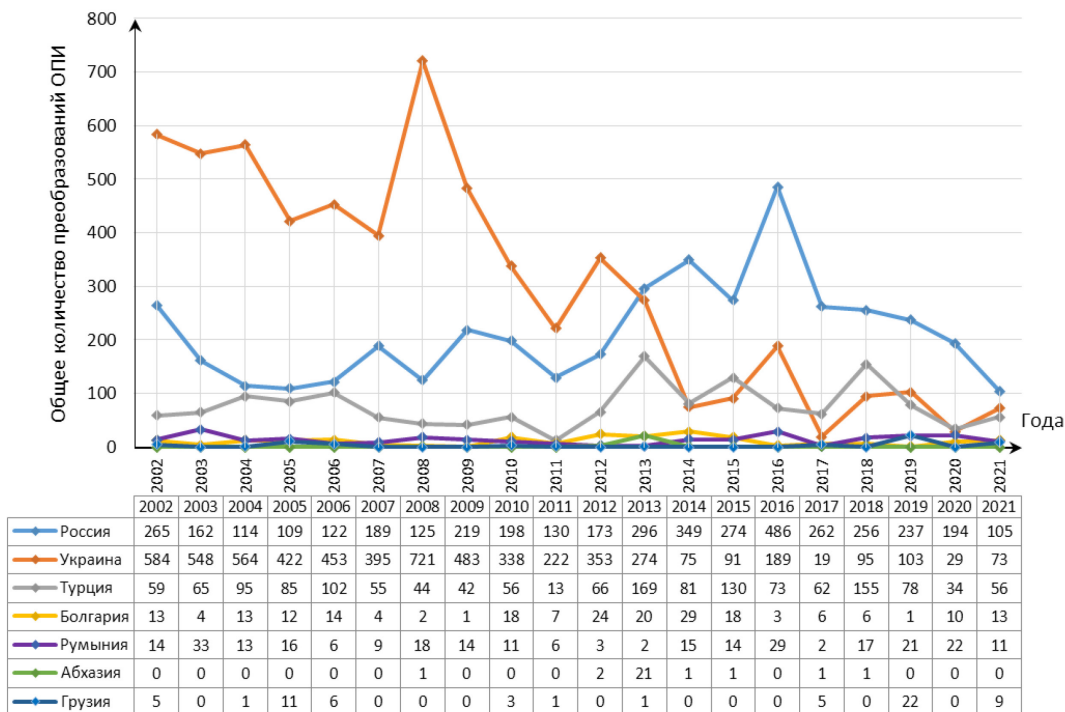


**Рис. 7. Суммарное количество ОПИ Азово-Черноморского бассейна, преобразованных за период 2002–2021 гг. (в перспективе до 2026 г.)**

За указанный период странами Азово-Черноморского бассейна было преобразовано всего 12402 объектов приморской инфраструктуры со средней скоростью 620 объектов в год. При этом наблюдается сокращение (деградация) количества преобразований объектов в год – в 3,52 раза в 2021 г. по сравнению с началом рассматриваемого периода (2002 г.).

Распределение суммарного количества преобразованных ОПИ по странам Азово-Черноморского региона за период с 2002 по 2021 год приведено на рис. 8.





**Рис. 8. Распределение суммарного количества ОПИ, преобразованных за период с 2002 по 2021 год, по странам Азово-Черноморского бассейна**

Распределение суммарного количества преобразованных ОПИ и средняя скорость ввода их в эксплуатацию за указанный период странами Азово-Черноморского бассейна приведены в табл. 4.

**Таблица 4. Суммарное количество и средняя скорость преобразований ОПИ по странам Азово-Черноморского бассейна за период с 2002 по 2021 гг.**

Страна	Суммарное количество преобразований ОПИ, объект	Средняя скорость преобразований ОПИ, объект/год
Украина	6031	302
Российская Федерация	4265	213
Турция	1520	76
Румыния	276	14
Болгария	218	11
Грузия	64	3
Абхазия	28	1
В целом по странам Азово-Черноморского бассейна	12402	620

Анализ данных, приведенных в табл. 4 и на рис. 8 показал, что имеют место следующие тенденции:

- уменьшение количества преобразований ОПИ в странах: Украина (в 8 раз), Российская Федерация (в 2,52 раза), Румыния (в 1,27 раза), Турция (в 1,05 раза);
- увеличение количества преобразований ОПИ в странах: Грузия (в 1,8 раза).

Для объективной оценки развития ОПИ Азово-Черноморского бассейна в целом за с 2002 по 2021 год (в перспективе до 2026 г.) рассчитаем индекс Беннета  $Ib_{АЧБ}$ :

$$Ib_{АЧБ} = \sum Ib_j = \frac{\sum (K_{ij}/K_{imax})}{N} \quad (1)$$

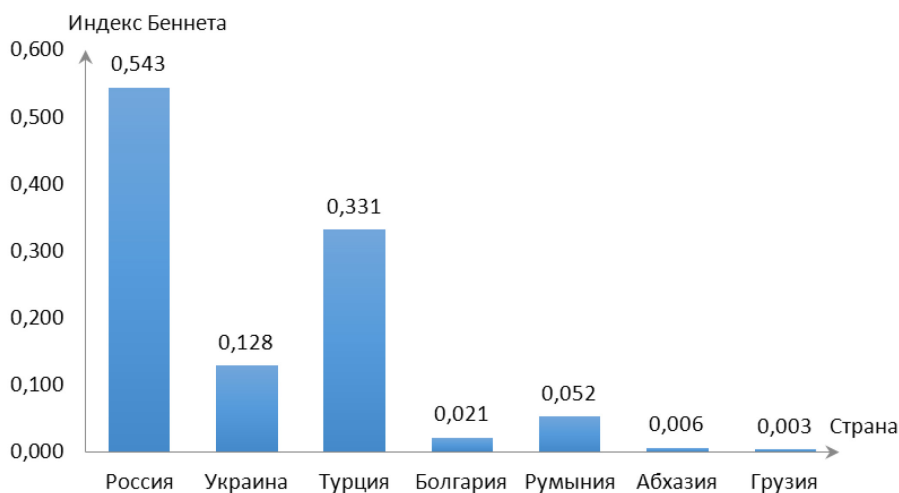
где  $\sum Ib_j$  – индекс Беннета для  $i$ -ой страны;

$K_{ij}$  – количество введенных в эксплуатацию ОПИ  $i$ -ого вида в  $j$ -ой стране;

$K_{imax}$  – наилучший показатель количества введенных в эксплуатацию ОПИ  $i$ -ого вида;

$N$  – количество рассматриваемых видов ОПИ.

Индекс Беннета для всего Азово-Черноморского бассейна  $Ib_{АЧБ} = 1,083$ . Индексы Беннета по отдельным странам Азово-Черноморского бассейна  $Ib_j$  за указанный период, рассчитанные по формуле 1 представлены на рис. 9.



**Рис. 9. Индекс Беннета по странам Азово-Черноморского бассейна за период с 2002 по 2021 гг.**

Анализ данных, приведенных на рис. 9, показал, что наибольший вклад в индекс Беннета Азово-Черноморского бассейна  $Ib_{АЧБ}$  за период с 2002 по 2021 гг. внесли Российская Федерация и Турция, которые могут быть определены как лидеры по развитию ОПИ в Азово-Черноморском бассейне.

#### **Выводы:**

1. Страны, вносящие наибольший вклад в развитие приморской инфраструктуры Азово-Черноморского бассейна: Российская Федерация и Турция.

2. За последние 20 лет (с 2002 по 2021 гг.) наблюдается тенденция к замедлению темпов развития объектов приморской инфраструктуры Азово-Черноморского бассейна (к 2021 году произошло замедление ввода ОПИ в эксплуатацию в 3,52 раза, вывода ОПИ из эксплуатации в 2,56 раза и обустройства (модернизации) действующих ОПИ в 5,83 раза по сравнению с 2002 г.).

3. Наибольшее замедление темпов развития объектов приморской инфраструктуры наблюдается у Украины (к 2021 году произошло сокращение количества ОПИ вводимых в эксплуатацию в 9,23 раза, вывода ОПИ из эксплуатации в 5,74 раза и обустройства (модернизации) действующих ОПИ в 9,64 раза по сравнению с 2002 г.).

4. Замедление темпов развития объектов приморской инфраструктуры Азово-Черноморского бассейна коррелируется с тенденциями для других акваторий, что подтверждается докладами из гидрографических районов Балтийского, Северного и Тихоокеанского флотов о состоянии объектов приморской инфраструктуры на акваториях окраинных морей РФ.

Так, из 1376 объектов приморской инфраструктуры Северного морского пути по состоянию на 2021 год общее количество средств навигационного оборудования и плавучих предостерегательных знаков, рекомендованных к использованию, составляет:

- оптимальные – 769 (55,88%);
- упраздняемые – 527 (38,30%);
- модернизируемые – 80 (5,82%).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Извещения мореплавателям, Адм. № 9956. – изд. УНиО МО РФ, архив 2002–2021 г. Сайт Минобороны России. URL: <https://structure.mil.ru/structure/forces/hydrographic/esim.htm> (дата обращения 01.03.2024).

#### ***ANALYSIS OF THE CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE COASTAL INFRASTRUCTURE THAT ENSURES THE SAFETY OF NAVIGATION IN THE AZOV-BLACK SEA BASIN***

**R. V. Chubarov** (GNINGI JSC), **G. A. Frantsuzov** (Naval Academy), **S. A. Yaroshenko** (GNINGI JSC)

*The article presents the results of the analysis of the current state and prospects for the development of the coastal infrastructure that ensures the safety of navigation in the Azov-Black Sea basin based on the processing of information from notices to mariners for 2002-2021. It was found that over the past 20 years, there has been a slowdown in the pace of commissioning of new and a reduction in the number of existing facilities of the coastal infrastructure of the region.*

**БАЙЕСОВСКИЕ СЕТИ В КОРАБЛЕВОЖДЕНИИ****С. Н. НЕКРАСОВ, А. Н. СОЛОЩЕВ**  
(АО «ГНИНГИ»)

*Приведен способ построения байесовских сетей оценки навигационной обстановки с учетом системной оценки влияния основных факторов: навигационно-гидрографических условий плавания, гидрометеорологических условий плавания и моделей управления кораблем, позволяющих оценивать навигационные риски и оценивать вклады в дисперсии соответствующих событий графа байесовской сети оценки навигационной обстановки.*

Проблема внедрения интеллектуальных систем поддержки принятия решений в задачах кораблевождения, которые используют данные и знания о предметной области с учетом их неопределенностей, становится все более актуальной [1–3].

Решению этой проблемы препятствуют следующие факторы:

- дефицит моделей для представления данных и знаний;
- дефицит знаний и данных.

С точки зрения искусственного интеллекта объектом использования всегда выступает совокупность знаний эксперта (или совокупности экспертных знаний). Как правило, высказывания экспертов характеризуют одну или несколько сущностей из предметной области, либо связи между двумя – четырьмя сущностями, т. е. речь может идти о фрагментах знаний, каким-либо образом связанных между собой.

Одним из направлений развития и построения систем поддержки принятия решений являются байесовские сети, обладающие рядом существенных преимуществ перед другими системами формализации знаний. Так, они:

- обеспечивают полноту представления модели предметной области и позволяют включать различные по своей природе факторы, существенно влияющие на работу системы;
- обеспечивают достаточно наглядное и понятное представление причинно-следственных связей предметной области;
- позволяют более в полной степени учитывать естественный характер неопределенностей, свойственных предметной области;
- позволяют получить количественные представления о значимости отдельных фрагментов знаний и данных для достижения цели применения реальных систем;
- позволяют более полно использовать соответствующий аппарат теории вероятностей и математической статистики и т. д.

В теории байесовских сетей (БС) математической моделью фрагмента знаний выступает тензор условных вероятностей, математической моделью базы фрагментированных знаний – собственно байесовская сеть, которая по своей сути является ациклическим направленным графом с тензорами условных вероятностей в узлах. БС однозначно можно сопоставить единственное совместное распределение вероятностей для всех элементов, стоящих в ее узлах [4].

Косвенно задать такие распределения можно, если совместное распределение вероятностей допускает декомпозицию, т. е. его можно восстановить по совокупности распределений, заданных над относительно небольшим набором случайных элементов.

При построении БС важнейшим вопросом является представление структуры БС, так как вероятностные распределения могут быть просто определены известными статистическими методами. Одним из подходов выявления структуры БС является описание причинно-следственных связей в системе. При построении причинно-следственных моделей байесовского типа постулируется связь между условной независимостью и причинно-следственными связями между событиями, составляющими сеть. При этом возможны следующие типы связей между переменными, входящими в граф дерева событий, характеризующих предметную область:

- причинно-следственные цепи (последовательная связь);
- структуры с общими причинами (расходящаяся связь);
- структуры с общим следствием (сходящиеся связи).

В общем случае именно принцип общей причины заложен в основу поиска и выявления причинно-следственных отношений.

Среди основных направлений развития и применения БС в системах искусственного интеллекта следует выделить тропинчатые модели БС как промежуточный этап между регрессионными моделями и полноценным обучением БС. Если линейные регрессии просто отражают корреляцию, не задаваясь вопросом об «истинной сути», то анализ троп позволяет сделать заключения о причинности и о том, как из данных выделять причинно-следственные связи.

Применение тропинчатых моделей по сравнению с другими методами моделирования предпочтительнее, так как при этом используется графический подход к их описанию, а также удается освещать в более простом контексте многие из причинно-следственных свойств БС. Идея тропинчатых моделей БС заключается в изображении линейных (линеаризованных) причинно-следственных связей моделей, причем их параметризация производится на основе выборочных корреляций.

В предположении о том, что выполняются марковские свойства между переменными и моделью, можно заключить, что не может быть никаких других типов причинно-следственных связей влияний. Это позволяет преобразовывать корреляции между событиями в причинно-следственные веса.

При построении рассматриваемых моделей существует два правила декомпозиции, которые показывают соотношения между коэффициентами, возникающими на ребрах причинно-следственного графа и собственно корреляциями.

Первое правило декомпозиции модели и представления ее в виде причинно-следственной тропинчатой модели заключается в том, что все переменные, характеризующие причинность событий, соответствующим вершинам графа должны быть стандартизированы, т. е. шкалы измерений каждой переменной должны быть перемасштабированы в единицы, соответствующему стандартному отклонению. У стандартизированных переменных средние значения переменных равны нулю, а стандартные отклонения равны единице.

Второе правило декомпозиции можно представить в виде:

$$R_{ij} = \sum_k P_{jk} R_{ki} = \sum_k \mu(\Phi_k), \quad (1)$$

где  $R_{ij}$  – коэффициент корреляции между событиями  $i$  и  $j$  вершинами графа;  
 $R_{ki}$  – коэффициент корреляции между событиями  $i$  и  $k$  вершинами графа;  
 $P_{jk}$  – коэффициенты пути;  
 $\Phi_k$  – активный путь между вершинами графа  $i$  и  $j$ ;  
 $\mu$  – оценка активного пути.

Активным считается путь между переменными  $i$  и  $j$ , если это ненаправленный путь, соединяющий  $i$  и  $j$ , причем этот путь идет против направления дуги, после того как осуществилось движение вперед.

С учетом сказанного была построена тропинчатая байесовская сеть, представляющая собой модель процесса оценки навигационной обстановки. Как хорошо известно, навигационная обстановка характеризуется влиянием навигационно-гидрографических условий (НГУ), гидрометеорологических условиями и качеством управления кораблем.

К НГУ можно отнести систему навигационного оборудования (СНО) района с радиотехническими СНО, стационарными и плавучими системами СНО. К гидрометеорологическим условиям района плавания можно отнести систему течений, приливов, ветров, условия видимости, ледовые условия, систему каналов, областей с опасными изобатами и т. п.

В большинстве современных портов имеется система управления движением судов (СУДС), предназначенная для повышения уровня навигационной безопасности плавания. Как правило, воздействие СУДС на обеспечение навигационной безопасности плавания осуществляется через лоцманов, когда лоцманская проводка является обязательной.

Для описания системы управления кораблем и включению соответствующей модели в БС кораблевождения необходимо учесть множество факторов: статические и динамические свойства корабля, пространственно-временные свойства управляемости кораблем, психофизиологические свойства судоводителей, уровни их специальной подготовки и т. п. Хотя попытки построить такие модели делаются, однако построение структур и уточнение количественных параметров такой модели и тем более использование таких моделей на практике вызывает естественные трудности.

Именно поэтому был предложен другой подход к комплексному описанию учета основных факторов, связанных с динамикой корабля и человеческим фактором, основанный на идентификации модели движения корабля, как результат совместного их воздействия. В основе такого подхода лежит обучение модели движения корабля с использованием многомерного статистического анализа результатов проводки кораблей.

Такой подход имеет ряд существенных отличий от традиционных подходов [5]:

- корабль рассматривается не как точечный, а как пространственный объект, что в большей степени соответствует действительности;
- в предлагаемой модели учитывается движение не только центра тяжести корабля, но и движение его оконечностей;

– модель строится на основании учета отклонения центра тяжести корабля от оптимальной траектории (траектории равноудаленной от опасностей) с учетом изменчивости маневренной полосы движения корабля;

– параметры модели определяются по результатам проводок корабля в районах, прилегающих к портам по данным СУДС или могут определяться непосредственно на корабле с использованием электронной картографической навигационной информационной системы (ЭКНИС).

Исходя из сказанного выше, было сформировано дерево событий, формирующее ациклический граф БС оценки навигационной обстановки, вершинами которого являются следующие события (см. рисунок).

1. Событие оценки навигационного риска, который возникает из-за попадания областей с опасными для данного типа корабля изобатами в область, характеризующую модель реального движения корабля, что позволяет использовать геометрическую вероятность оценки риска касания любой точкой корабля опасной изобаты.

2. Событие отклонения ближайшей к оптимальной траектории пути корабля точки навигационной опасности (опасной изобаты, границ каналов, подмостового габарита, приемных буюв, бонов и т. п.).

3. Событие, характеризующее формирование текущей модели реального движения корабля.

4. Событие формирования текущего положения центра тяжести корабля.

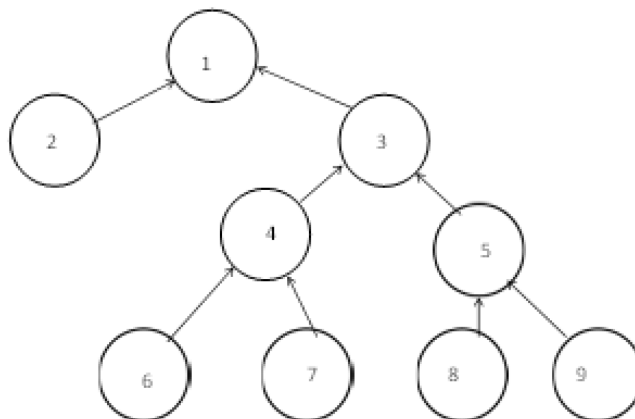
5. Событие формирования оценки текущего путевого угла корабля.

6. Событие оценки текущего положения корабля с использованием СНО.

7. Событие формирования оценки положения корабля по данным лоцмана или СУДС.

8. Событие оценки влияния течения на снос корабля.

9. Событие оценки влияния ветра на снос корабля.



**Граф байесовской сети процесса оценки навигационной обстановки  
(объяснения – в тексте)**

Приведенный граф БС учитывает влияние основных факторов на обеспечение навигационной безопасности и при желании может быть дополнен другими факторами, учитывающими, например, ледовую обстановку при плавании в арктических районах и т. п.

Следуя методу оценки весов событий графа БС на активных путях графа, необходимо определить соответствующие коэффициенты корреляции. При этом нужно помнить, что все временные ряды или последовательности частных событий, относящиеся к элементам активного пути в графе БС, приведены к случайным последовательностям с математическим ожиданием, равным нулю, и стандартным отклонением, равным единице:

$$X_i = (q_i - M(q_i))/\sigma_{qi}, \quad (2)$$

где  $X_i$  – стандартизированный временной ряд (случайная последовательность), соответствующий  $i$ -ой вершине графа;

$q_i$  – исходный временной ряд (случайная последовательность), соответствующий  $i$ -ой вершине графа;

$M(q_i)$  – математическое ожидание исходного временного ряда (случайной последовательности), соответствующего  $i$ -ой вершине графа;

$\sigma_{qi}$  – стандартное отклонение исходного временного ряда (случайной последовательности), соответствующего  $i$ -ой вершине графа.

Следует отметить, что параметры коэффициентов корреляций формально используются для определения весов соответствующих вершин графа БС оценки навигационной обстановки с учетом целей всей системы.

Тогда с учетом второго правила декомпозиции БС можно найти веса каждой вершины в БС оценки навигационной безопасности плавания:

$$R_{64} = P_{64}, \quad R_{74} = P_{74}, \quad R_{85} = P_{85}, \quad R_{95} = P_{64}, \quad (3)$$

$$R_{43} = (6 \rightarrow 4 \rightarrow 3) + (7 \rightarrow 4 \rightarrow 3) = P_{64}P_{43} + P_{74}P_{43}, \quad (4)$$

$$P_{43} = R_{43}/(R_{64} + R_{74}) - \text{вес события 4}, \quad (5)$$

$$P_{53} = R_{53}/(R_{85} + R_{95}) - \text{вес события 5}, \quad (6)$$

$$R_{31} = (6 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 1) + (7 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 1) + (8 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1) + (9 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1) = P_{64}P_{43}P_{31} + P_{74}P_{43}P_{31} + P_{85}P_{53}P_{31} + P_{95}P_{53}P_{31}, \quad (7)$$

$$P_{31} = R_{31}/(P_{64}P_{43} + P_{74}P_{43} + P_{85}P_{53} + P_{95}P_{53}) - \text{вес события 3}, \quad (8)$$

$$R_{11} = (2 \rightarrow 1) + (3 \rightarrow 1) = P_{21} + P_{31}. \quad (9)$$

В качестве примера предположим, что коэффициенты корреляции между временными рядами, соответствующие событиям графа БС оценки навигационной обстановки, определены и составили:



$$R_{64} = R_{74} = R_{85} = R_{95} = 0,5,$$

$$R_{64} = R_{74} = R_{85} = R_{94} = 0,5 - \text{коэффициенты пути событий 6, 7, 8, 9.}$$

В соответствии с выражениями (5) и (6) коэффициенты пути событий 4 и 5 составят 0,6 и 0,4.

Веса коэффициентов пути событий 2 и 3 составили 0,6 и 0,4.

Поскольку коэффициенты пути стандартизированы, то, по сути, их значения равны корню квадратному доли дисперсии в текущем событии в зависимости от предыдущего события, т. е. доля дисперсии в навигационном риске в зависимости от влияния опасных изобат составляет 78 %, а от изменчивости параметров модели движения корабля – 63%. Согласно приведенным данным доля дисперсии положения корабля и углов сноса от ветра и течения по данным радиотехнических СНО и по указаниям СУДС одинакова и составляет 70 %.

Понятно, что реальные данные могут существенно отличаться от принятых выше, но они более полно, чем существующие методы, покажут вероятностные связи между реальными характеристиками параметров НГО, ГМО, СУДС и параметрами модели движения корабля.

Таким образом, показаны принципы построения байесовских сетей, отражающих вероятностные свойства основных факторов, определяющих риски навигационные обстановки.

Байесовские сети оценки навигационной обстановки могут существенно повлиять на применение методов искусственного интеллекта в системах поддержки принятия решений при автоматическом беспилотном кораблевождении, при решении задач выбора оптимальных с точки зрения навигационной безопасности путей движения, а также при текущей процедуре оценки навигационной обстановки и оценке вероятности возникновения навигационных рисков. Кроме того, методы построения БС во многом расширяют и дополняют возможности использования логико-вероятностных методов моделирования качественно-сложных систем.

Особо следует отметить весьма важное направление применение БС в системе подготовки штурманов, благодаря возможностям декомпозиции системы специальных знаний и обработке частных вопросов подготовки с использованием навигационных тренажеров, что позволяет производить обучение БС для каждого обучаемого.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Anonsen K. B., Hallingstad O., Hagen O. K. Bayesian Terrain-Based Underwater Navigation Using an Improved State-Space Model. 2007 Symposium on Underwater Technology and Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, Tokyo, Japan. – 2007. – Pp. 499–505. doi: 10.1109/UT.2007.370773.
2. Hu Shenping, Cai Cunqiang and Fang Quangen. Risk assessment of ship navigation using Bayesian learning. 2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Singapore, 2007. – Pp. 1878–1882. doi: 10.1109/IEEM.2007.4419518.
3. Khan B. Operational risk assessment for shipping in Arctic waters. Memorial University of Newfoundland. – 2020. URL: <https://research.library.mun.ca/14461/1/thesis.pdf> (дата обращения 15.02.2024).
4. Тулупьев А. Л., Николенко С. И., Сироткин А. В. Основы теории байесовских сетей. СПб.: Издательство СПбГУ, 2019. – 399 с.

5. Некрасов С. Н. Оценка навигационных рисков при решении типовых задач кораблевождения // Навигация и гидрография. – 2022. – № 67. – С. 18–28.

***BAYESIAN NETWORKS IN NAVIGATION***

**S. N. Nekrasov, A. N. Soloshchev** (GNINGI JSC)

*A method is given for constructing Bayesian networks for assessing the navigation situation, taking into account a systematic assessment of the influence of the main factors: navigation and hydrographic navigation conditions, hydrometeorological navigation conditions and ship control models that allow assessing navigation risks and evaluating contributions to the variance of the corresponding events of the graph of the Bayesian network for assessing the navigation situation.*

# ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

УДК 355::528;623.64

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА**

**А. М. ШАРКОВ** (АО «ГНИНГИ»),  
**Г. Н. НЕПОМИЛУЕВ, С. С. СТАРОТИТОРОВ** (УНИО МО РФ)

*В статье кратко рассмотрены основные направления развития технических средств Гидрографической службы Военно-Морского Флота России на ближайшие 12–15 лет.*

Ситуация в мире стремительно меняется. Так же стремительно меняется и весь процесс изучения Мирового океана, которым, в том числе, занимается Гидрографическая служба Военно-Морского Флота (ГС ВМФ).

В этой области проявились следующие существенные изменения.

– Практически полностью прекратилось любое взаимодействие зарубежных государств с РФ в области работ на море. Как следствие возникла острая необходимость в импортозамещении океанографических технических средств (ТС) и программного обеспечения (ПО) иностранного производства, которые стоят на вооружении ГС ВМФ.

– Начавшаяся военная операция наглядно показала огромные возможности различных робототехнических комплексов и беспилотных аппаратов, что рано или поздно приведет к их широкому использованию и в процессе изучения Мирового океана.

– Появление мощных компьютеров сделало возможным быстрый анализ больших объемов информации, которая раньше оставалась невостребованной.

– Активное использование судов большого водоизмещения привело к выходу новых международных стандартов, регламентирующих процесс изучения Мирового океана.

Как следствие будут меняться и ТС океанографии. Рассмотрим, по каким направлениям они будут развиваться в ближайшей перспективе.

1. ТС гидрографии:

– изучение рельефа дна.

2. ТС геофизики:

– изучения параметров гравитационного поля Земли;

– изучения параметров магнитного поля Земли.

3. ТС гидрометеорологии:

– ТС измерения параметров метеорологических полей атмосферы

– ТС измерения параметров гидрологических полей Мирового океана.

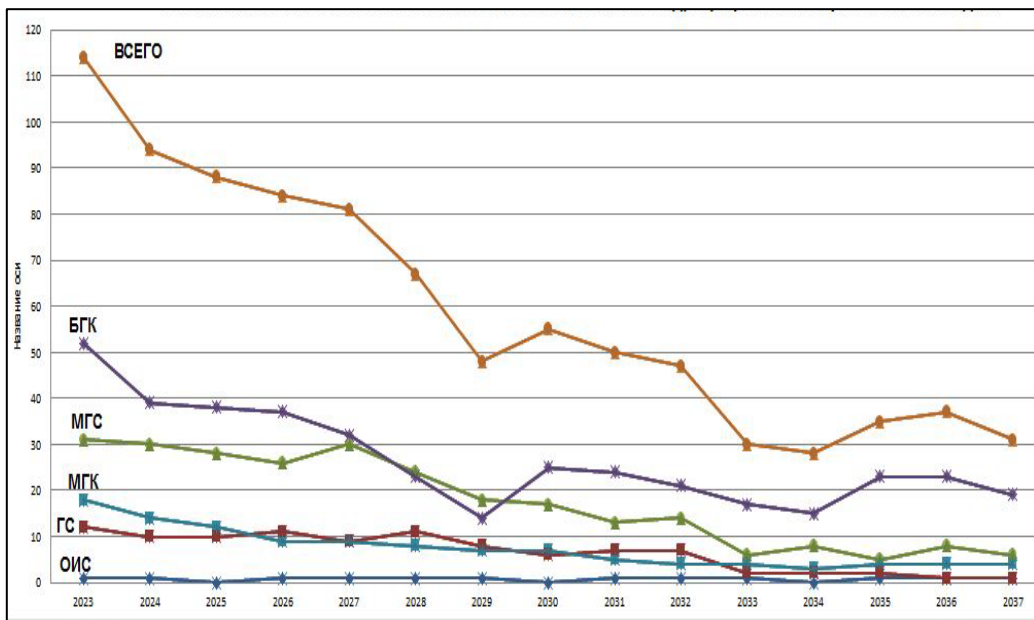
Теперь рассмотрим направления развития этих ТС.

Для определения перспектив развития ТС была изучена информация о состоянии дел в ГС ВМФ в рассматриваемой области. В рамках научно-исследовательских работ (НИР), выполненных АО «ГНИНГИ» в последние годы, проведен совместный анализ следующих положений:

- тенденций развития ТС изучения Мирового океана ГС зарубежных государств;
- современное состояние ТС ГС ВМФ;
- возможности и опыт отечественных предприятий промышленности по созданию ТС, не уступающих по своим тактико-техническим характеристикам (ТТХ) зарубежным образцам;
- состояние исследовательского флота и оснащенность подразделений ГС ВМФ;
- изученность прибрежных морей РФ.

В качестве примера выполнения анализа по одному из перечисленных пунктов на рисунке представлен график прогнозируемого изменения количественного состава судов и катеров ГС ВМФ на ближайшие 15 лет (период до 2037 г.).

График представляет собранные и обобщенные данные по всем флотам, учитывает как списание выслуживших срок судов и катеров, так и введение в строй новых. Выглядит он не очень обнадеживающе, но это именно фактические данные, на которых и строился прогноз.



**График изменения прогнозируемого количественного состава судов и катеров ГС ВМФ на ближайшие 15 лет (до 2037 г.): БГК – большие гидрографические катера, МГС – малые гидрографические суда, ГС – гидрографические суда, ОИС – океанографические исследовательские суда. Объяснения – в тексте**

На основе выполненного анализа перечисленных пунктов определены и согласованы с УНиО МО РФ направления развития ТС океанографии:

### В области гидрографии

Материалы, собранные АО «ГНИНГИ», показывают, что в ГС зарубежных государств доля ТС площадного обследования дна неуклонно растет и в настоящее время составляет почти 60 %. Для сравнения в ГС ВМФ РФ она составляет менее 5 %.

Новые документы ГС иностранных государств и международные стандарты (например, шестая редакция стандарта МГО S-44 «Съемка рельефа дна») существенно увеличивают акватории, в которых рекомендуется выполнение площадного обследования. РФ, как член МГО, не может оставаться в стороне от мировых тенденций, таким образом, *первое направление* развития ТС определяется как переход к использованию площадных ТС изучения рельефа дна. Материалы изученности прибрежных морей РФ, полученные специалистами АО «ГНИНГИ» в рамках НИР, выполненных как по заказу МО РФ, так и по заказу гражданских организаций, показывают, что площади акваторий, в которых проведено площадное обследование дна, крайне незначительны, заметно различаются по морям и, в основном, выполнены только на подходах к отдельным пунктам (портам).

Существенное сокращение численности ГС ВМФ, устаревание парка исследовательских судов и катеров и одновременное требование по увеличению объемов выполняемых гидрографических работ определяет *второе направление* – внедрение в практику выполнения гидрографических работ автономных ТС. Возможности гидрографических морских робототехнических комплексов (МРТК) работать без личного присутствия специалиста-гидрографа определяют их широкое применение в ближайшей перспективе. В ходе, планируемой к выполнению АО «ГНИНГИ» НИР будут разработаны принципы применения МРТК в процессе выполнения гидрографических работ не только одиночно, но и в составе группы.

Общий научно-технический прогресс предопределяет уход от «ручных» методов выполнения работ и обработки полученной информации, что определяет *третье основное направление* развития ТС гидрографии: автоматизация выполнения всех стадий гидрографических работ, создание отечественного специализированного ПО. Специалистами АО «ГНИНГИ» предложены наиболее целесообразные доработки и определен перечень нормативно-правовых актов (документов), необходимых к изданию для их применения в РФ. Они будут разработаны в рамках НИР, планируемой к выполнению АО «ГНИНГИ» в ходе выполнения Государственного оборонного заказа (ГОЗ).

Для достижения поставленных целей в ближайшие годы потребуются принять на вооружение ГС ВМФ и внедрить в практику выполнения гидрографических работ использование следующих ТС:

*Гидрографические комплексы на базе многолучевых эхолотов (МЛЭ)*

Ориентировочное количество определено исходя из планируемого корабельного состава ГС ВМФ до 2035 года:

- большие гидрографические катера (БГК) – оснащаются МЛЭ для малых глубин;
- малые гидрографические суда (МГС), гидрографические суда (ГС) – МЛЭ для малых и средних глубин;
- океанографические исследовательские суда (ОИС) – МЛЭ для средних и больших глубин.

Дополнительно на каждом флоте целесообразно иметь по пять маневренных комплектов МЛЭ для малых глубин на Северный флот (СФ), шесть – на Тихоокеанский флот (ТОФ), пять – Черноморский флот (ЧФ) и по четыре – на Каспийскую флотилию (КасФл) и Балтийский флот (БФ).

Учитывая тенденцию уменьшения количественного состава гидрографических судов и катеров и активно ведущиеся работы в области перспективных морских роботизированных технических комплексов, расчётное требуемое количество гидрографических комплексов на базе МЛЭ, необходимое для функционирования ГС ВМФ, ориентировочно составит:

- для малых глубин с рабочей частотой около 200–400 кГц – 80–125 комплексов (ТС, имеющие диапазоны измерений до 100, 200, 400, 500 м).
- для средних глубин с рабочей частотой около 50–100 кГц – 25–75 комплексов (диапазоны измерений до 2 000, 3 000, 5 000 м).
- для больших глубин с рабочей частотой около 10–20 кГц – 4 комплекса (до 11 000 м).

Разброс в количестве определяется непрерывно меняющимся составом судов и катеров и невозможностью точного определения срока службы еще не созданных и не принятых на вооружение ТС.

*Гидрографические комплексы на базе гидролокаторов бокового обзора (ГБО) МГС, ГС, ОИС – по одному комплекту ГБО.*

Дополнительно на каждом флоте целесообразно иметь по пять маневренных комплектов ГБО (на СФ и ТОФ – по шесть, на ЧФ – пять, на КасФл и БФ – по четыре).

Таким образом, ориентировочно требуемое количество ГБО для ГС ВМФ на ближайшие 15 лет (до 2037 г.) составляет 40–50 комплектов.

*Гидрографические МРТК, оснащенные МЛЭ, ОЛЭ, ГБО*

- малые, для работы в закрытых акваториях – 25 комплекса;
- средние, для работы в прибрежных акваториях – 15 комплекса (в среднем по три на флот);
- большие, для работы в открытом море – 10 комплекса (в среднем по два на флот);

Наиболее целесообразное количество МРТК, поставляемых на каждый флот, будет определено АО «ГНИНГИ» в ходе НИР на основе совместного анализа информации по изученности акваторий, решаемым ВМФ задачам и фактическому составу судов и катеров ГС.

*Программное обеспечение*

С учетом того, что практически все используемое ПО сбора, обработки гидрографической информации разработано за рубежом, необходимо создавать отечественное специализированное ПО. АО «ГНИНГИ» сформулированы и направлены предложения по его разработке не только в ОУ ВС РФ, но и в гражданские организации (Минпромторг).

### **В области геофизики**

*ТС измерения параметров гравитационного поля акваторий Мирового океана*

Современные отечественные гравиметрические комплексы ВМФ «Попугай-ГК» и «Попугай-ГК-А» обеспечивают измерение параметров гравитационного поля с точностями, не уступающими и даже превосходящими возможности ТС измерения параметров гравитационного поля ГС зарубежных государств, но небольшой срок

службы (15 лет) определяет необходимость продолжения их закупки у предприятий промышленности для нужд ГС ВМФ в рамках ГОЗ.

Проблемой в области получения информации о параметрах гравитационного поля до настоящего времени остается большое время расчета значения уклонений отвесных линий (УОЛ) после возвращения исследовательских судов в базу по выполнении работ. Особенно важно быстрое получение значения УОЛ для обеспечения перспективных комплексов применения ракетного оружия.

Для устранения этого недостатка в настоящее время АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» по техническому заданию, разработанному АО «ГНИНГИ», выполняет опытно-конструкторские работы (ОКР), в рамках которых будет создан комплекс ТС, способных определять (в результате расчетов) значение УОЛ близко к режиму реального времени.

В настоящее время машинная обработка гравиметрической информации осуществляется программно-аппаратным комплексом (ПАК) «Ракурс-4», практически выработавшим свой ресурс. АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» приступил к разработке следующей модификации ПАК – «Ракурс-5».

Анализ задач, решаемых ВМФ, определяет, что в ближайшей перспективе ГС ВМФ, в области гравиметрии потребуются иметь на вооружении:

- МГК «Попугай-ГК» – 55 комплексов (на ГС проекта 862, 865 и ОИС по 3 комплекта).
- МГК «Попугай-ГК-А» – 12 комплексов.
- Комплекс получения данных УОЛ, разрабатываемый в настоящее время в рамках ОКР – 5–7 комплексов.
- ПАК обработки гравиметрической информации – 4 комплексов.

*ТС изменения параметров магнитного поля акваторий Мирового океана*

Стоящие ранее на вооружении ГС ВМФ морские буксируемые магнитометры (МБМ) и морские дифференциальные магнитометры (МДМ) выслужили установленные сроки и сняты с вооружения. Магнитометрические партии в составе ГС ВМФ расформированы. Измерение параметров магнитного поля акваторий силами ГС ВМФ не производится.

В настоящее время АО «Радар-ммс» при участии в качестве соисполнителя АО «ГНИНГИ» выполняет в интересах ВС РФ ОКР, в рамках которого будет создан отечественный комплекс средств морской магнитной съемки (КСМС), не уступающий по своим характеристикам зарубежным образцам.

Расчет, аналогичный расчету потребностей ГС ВМФ в МЛЭ, показывает, что на ближайшие 15 лет (до 2037 г.) потребуется КСМС, разработанный в рамках проводимых в настоящее время ОКР, – 20 комплектов (по четыре комплекта на флот, за исключением Каспийской флотилии).

Рассматривается вопрос восстановления магнитометрических партий в составе океанографических экспедиций.

### **В области гидрометеорологии**

Основными направлениями развития ТС гидрометеорологии являются:

- создание новых ТС зондирования атмосферы и построения 3D моделей;
- создание новых ТС зондирования толщи вод океана и построения 3D моделей;
- внедрение в практику выполнения работ по измерению гидрометеорологических параметров автономных ТС;

- автоматизация выполнения работ по измерению, обработке и передаче потребителю гидрометеорологической информации на всех стадиях;
- создание ТС, работающих на новых принципах.

Полный перечень ТС гидрометеорологии, который целесообразно иметь на вооружении ГС ВМФ на ближайшие 15 лет (до 2037 г.), будет определен по итогам НИР, планируемого к выполнению АО «ГНИНГИ» в 2024–2026 гг. С высокой долей вероятности можно ожидать, что в ближайшие годы потребуется принять на вооружение ГС ВМФ и внедрить в практику выполнения работ следующее.

**В области метеорологии:**

- комплекс ТС зондирования атмосферы (зонды) – 10 000 комплексов (в среднем по 2 000 на флот: на СФ и ТОФ – по 3000, на ЧФ – 2000, на КасФл и БФ – по 1000);
- надводная буйковая дрейфующая гидрометеостанция (в том числе ледовый вариант) – 1000 комплексов (в среднем по 200 на флот);
- комплекс корабельной автоматизированной информационно-измерительной системы ГМО для оснащения кораблей основных классов и судов ВМФ (замена «Касметео» на новых принципах) – 50 комплексов (в среднем по 10 на флот);
- мобильная компактная метеостанция ВМФ – 50 комплексов (в среднем по 10 на флот).

**В области океанологии:**

- комплекс ТС вертикального зондирования вод океана (зонды) – 10000 комплексов (в среднем по 2000 на флот);
- мареографы, в том числе открытого моря, 75 комплексов (в среднем по 15 на флот);
- измерители вертикальной скорости звука в воде 20000 комплексов (в среднем по 4 000 на флот).

В заключение, обобщая основные направления развития ТС океанографии ГС ВМФ, необходимо отметить следующее:

1. В настоящее время ГС ВМФ испытывает существенный дефицит в современных ТС и ПО по причине широкого использования в последние годы зарубежных ТС изучения Мирового океана.

2. Наиболее благоприятная ситуация сложилась в области геофизики, где предприятиями промышленности сегодня разрабатываются ТС, не уступающие, а по многим параметрам и превосходящие ТС зарубежных государств. Неблагоприятная ситуация складывается в области оснащения ТС гидрографии и гидрометеорологии, где большинство используемых современных ТС произведено за рубежом.

3. Наиболее общими перспективными направлениями развития ТС океанографии являются:

- создание отечественных ТС и ПО изучения Мирового океана; максимальное импортозамещение всех агрегатов и узлов применяемых ТС;
- автоматизация процессов выполнения океанографических работ;
- постепенный переход к использованию площадных ТС изучения рельефа дна к ТС, позволяющим построить 3D модели физических полей океана и атмосферы.



***PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL MEANS OF THE HYDROGRAPHIC SERVICE OF THE NAVY***

**A. M. Sharkov** (GNINGI JSC), **G. N. Nepomiluev**, **S. S. Starotitorov** (Department of Navigation and Oceanography of the Ministry of Defense of the Russian Federation)

*In the article the main directions of development of technical means of Hydrographic Service of the Russian Navy for the next 12-15 years are briefly considered.*

УДК 513.0; 514.8

***ПРИРОДНАЯ СИСТЕМА ПРОСТРАНСТВЕННОГО СЧИСЛЕНИЯ***

**С. Н. ГУЗЕВИЧ** (АО «ГНИНГИ»)

*В статье рассмотрена природная система счисления, построенная по концепции и аксиоматике Евклида, использующая принципы парности и сравнения при отображении вещественного и полевого пространства. Принцип парности связывает противоположности вещественной и полевой материи единой математико-физической основой времени и пространства, построенной на создании парных условий сравнения, для их разделения или объединения. При измерении объектов в пространстве принцип сравнения реализован у всех биологических объектов на Земле.*

**Введение**

Измерение – основной процесс изучения вещественных и полевых объектов природы, без обеспечения достоверности которых никакой прогресс в ее познании невозможен. Все объекты на расстоянии отображаются и измеряются с помощью полей, которые являются внешней формой вещественных объектов. При этом поля касаются вещественной части формы объекта в углах, обеспечивая неразрывную связь их вещественной и полевой частей.

В настоящее время качество измерений оценивается точностью или погрешностью – параметрами, которые прекрасно работают при прямых измерениях, но не при измерениях на расстоянии, особенно там, где контрольные сравнения полученных результатов выполнить невозможно. Для учета влияния этого факта был введен параметр «неопределенность измерений», но он не имеет оценки меры, и поэтому эта оценка не является метрологической. Имеется также параметр качества – «достоверность измерений», но он также не имеет меры метрологической оценки. Достоверность измерений оценивается на основе сравнения размеров образа построенного объекта и размеров самого объекта. При измерении объекта в пространстве с использованием моносистем координат и невозможности его прямых измерений, и эту задачу выполнить невозможно. Решение задачи связано с измерением векторов полей при описании пространства, которые в физике обладает четырехмерностью. Достоверность измерений параметров обеспечивается только на плоскости, отрицая возможность не только точности измерений, но и ее достоверности

из-за невозможности сравнения параметров. На расстоянии мы измеряем только поля, и сравнивать можем только линейные размеры объекта с образом поля или вещественного объекта, но как это сделать, когда размеры являются аргументами?

Существующая физика построена на измерении векторов и использует ортогональность параметров и теорему Пифагора, которая выполняется только на плоскости, но является в настоящее время парадигмой измерений пространства. По результатам измерений двух ортогональных линейных параметров вектора, измерение каждого из которых достоверны только на плоскости, устанавливается характер их взаимодействий в пространстве. Он *не выполняется* как для сферических полей, так и в пространстве, создавая множество противоречий. Учет этих противоречивых факторов – непростая задача, которая, в настоящее время не обеспечена условием достоверности, то есть условием сравнения. В XXI веке физическая наука вступает во все большие противоречия с результатами измерений на практике, получая противоречивые результаты в разных разделах сфер деятельности, не имея логического объяснения (время, гравитация, инерция, закон золотого сечения и т. д.). В их теоретических моделях присутствуют общие нерешенные задачи.

Отметим три основных противоречия современного модельного описания физических явлений, которые исключают возможность достоверности измерений:

- модельно все объекты рассматриваются как точечные, а реально они имеют размеры, которые влияют на получаемый результат, но не учитываются при моделировании;

- система единиц измерений, используемая в настоящее время, опирается на три основных параметра, предложенных Гауссом: длина, время, масса. Гаусс «разделил» отображения на ортогональных осях координат, чем исключил возможность сравнения параметров, отображенных на них, хотя проекции и описывают разные параметры, но одного объекта, которые должны сравниваться;

- описание в трехмерном пространстве четырехмерного вектора, когда достоверно измеряются только линейные параметры и только на плоскости.

Корни этих противоречий заключены в нарушении математикой и физикой основных законов гносеологии. Перед гносеологией стояла задача отыскания принципов получения абсолютно достоверного знания, которое было бы исходным пунктом и вместе с тем предельным основанием всей основной совокупности знаний, дающим им оценку по степени их достоверности и истинности. Ее решение найдено Евклидом в принципе парности.

Принцип парности, выражающийся в двух гносеологических законах, которые определяют условие существования материального мира: закон Единства части и целого и закон Единства и борьбы противоположностей [1].

Закон Единства части и целого имеет два аспекта: часть может рассматриваться только на целом; часть и целое характеризуются одинаковыми параметрами и, следовательно, должны иметь одинаковые метрики.

Закон Единства и борьбы противоположностей обеспечивает условия непрерывного движения и развития. В нем необходимо рассматривать в разных формах отображения единство свойств содержания, которое формирует их совместное действие. Для материи необходимо рассматривать совместные свойства полевой и вещественной материи в единой плоскостной форме познания, используя эту форму без изменений их содержания. Отсутствие этого единства проявляется во взаимодействии физики и математики. Это идиоматическое сочетание обеспечивает

решение большинства противоречий форм и их содержания в природе, но пока не в математике и аналитических зависимостях при описании природы и ее законов.

Математика и физика нарушают законы природы в сочетании сфер познания. Создаваемые геометрическими построениями образы *достоверны ТОЛЬКО на плоскости*, так как в пространстве геометрические построения имеют приближенный характер. Поэтому их использование для построения и описания других элементов, например, вектора, обеспечивается только на плоскости, не допуская его перенос в пространство без потери достоверности. Так, в геометрии вектор – это направленный отрезок прямой линии, имеющий начальную и конечную точки (лат. *vector, несущий*). Его параметры на плоскости могут быть отображены только в виде двух составляющих.

В физике, в отличие от математики, под словом вектор без дополнительных уточнений обычно понимается вектор, связанный с четырехмерным пространством – временем *поля*. Понятию вектор в физике соответствует целый класс направленных отрезков (векторное поле), различающихся началом и концом.

Обобщая позицию физики, вектор – мысленное символическое отображение физических процессов, связанных с его поступательным и вращательным движением и происходящих во времени и пространстве, которые позволяют формализовать процесс его описания математическими зависимостями. Но где расположен центр вращения и куда направлен вектор – задача, не имеющая однозначного ответа.

Эти отличия математики от физики нарушают единство построений и модельного описания образов объектов, т. е. единства научных знаний. Пути достоверного решения задач природы изложены в аксиоматике Евклида еще в 222 г. до нашей эры. Они построены на принципе парности, выражающемся в отображении на плоскости двух образов пространственных объектов, состоящих из двух форм шаровой оболочки – поля и вещества. При взаимодействии двух шаровых оболочек их центры достоверно связываются, определяя отстояние между ними. По аналитическим зависимостям, которые используют в настоящее время, по размерам вещественных объектов оценивают размеры полей объектов [2–3], а реально процесс идет в противоположном направлении.

### **1. Аксиоматика Евклида – понятийная основа системности научных знаний**

Правила построения образов изложены в постулатах Евклида. Они подтвердили свою достоверность построением моделей в различных областях научных знаний, но основные достоинства его аксиоматики не использованы. Исключен четвертый постулат, обеспечивающий взаимодействие сфер. В нем говорится, что «все прямые углы равны», а по нему все касательные к поверхности шара, замыкающиеся радиусами в его центре, могут быть отображены касательными к одной окружности. Он признан тривиальным, а в шаре он обеспечивает пересечение *всех касательных в одной точке, концентрируя в ней всю энергию, распределенную в пространстве по радиусам, отличающимся только параллактическими углами, которые могут быть отображены параметрами окружности и секторами векторов*.

Аксиоматика Евклида построена на принципе парности, которая, прежде всего, проявляется в двух близких понятиях: постулатах и аксиомах.

Что такое аксиомы и их какова роль, достаточно хорошо известно, но постулаты являются совершенно неясным понятием. Роль аксиоматики Евклида как основы системности научных знаний рассмотрена в начале этого века Ф. М. Канаревым [2]. В

его работах показано, что постулаты играют основную роль в аксиоматике Евклида, которую нужно доказывать в конкретных случаях описания процессов в природе.

В своих работах Евклид, определяя постулаты, не приводит решаемой задачи, что является решающим в их понятийном использовании. Задачей Евклида являлось создание методических средств измерения – системы координат, в которой использование постулатов решает проблему построений достоверных образов сферических объектов, контролируемых по этапам общеизвестными линейными зависимостями, например, законом геометрического среднего. А для аксиом отводились безусловные действия по измерению образов и вычислению по ним размеров объектов. *Основным их отличием является условие, что целесообразность использования постулатов необходимо доказывать в выполняемых операциях:*

- *постулаты – основные элементы образов объектов и действий с ними для построения достоверных образов в системах координат;*
- *аксиомы – операционные действия, которые должны выполняться в системах координат для достоверного описания объектов по их образам.*

Все постулируемые Евклидом понятия объединены в его Концепции взаимодействия линейных параметров пространства и времени.

## **2. Концепция строения пространства и времени по Евклиду**

Концепция измерений Евклида построена на принципе парности проецирования шаровых поверхностей друг в друга. Ему удалось соединить в одно целое множество противоречивых фактов, выделить их общие и отличительные стороны, выполнить доказательство ряда постулатов, расположив их в логическую цепь геометрической системы, построенной на принципе парности. Данная система опирается на шаровое пространство и прямоугольные треугольники при использовании зависимостей геометрического среднего, т. е. теория Евклида превращала трехмерное пространство в двумерное плоскостное, но сферическое. Все физические поля Земли (электрическое, магнитное, гравитационное) являются сферическими образованиями и характеризуются двумя взаимно ортогональными параметрами как в пространстве, так и во времени. Представление физических полей Земли в виде шаров является реальной формой их существования, и доказательством этого является замкнутость каждого из физических полей, т. е. сумма каждого из параметров физических полей по замкнутому контуру равна нулю как в пространстве, так и во времени.

В пространстве физические поля характеризуются радиусом и амплитудой, которые равны по модулю, а метрологически связаны плотностным коэффициентом.

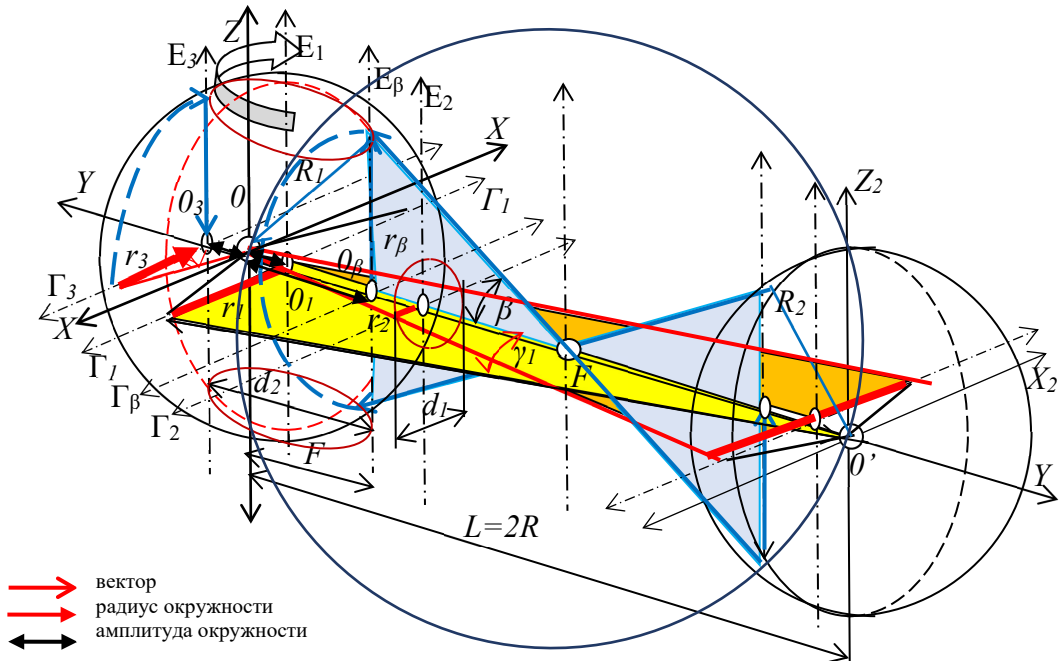
Во времени физические поля характеризуются линейным параметром – длиной волны (радиусом) и относительным параметром – углом, который может быть точно оценен только на плоскости. Отсутствие однозначной связи между центрами полей и условий проведения плоскости между полями, исключают точную оценку углового параметра и достоверности измерений времени и всех физических полей на Земле.

Евклид предложил рассматривать *строение материи в парной форме, состоящей из поля идеальной формы в виде шара и вещества произвольной формы, заключенной в поле шаровой формы.*

Шаровая форма поля участвует во взаимодействии с полями других объектов такой же формы и позволяет, построив пространственную плоскость, достоверно измерить два параметра поля – амплитуду и диаметр, равный максимальным размерам вещественного объекта. Размеры вещественной формы объектов, заключенных внутри

полевой формы, оцениваются сравнением с диаметром поля. Идеальную форму шарового поля транслирует Солнце, находящееся на расстоянии от Земли, значительно большем ее радиуса, а угол – форма взаимодействия между полями.

Пересечение ортогональных параллактических углов формирует ось  $Y$ , связывающая центры полей, разделяя их на четыре части, связанные с их системой пространственных координат, обеспечивая условия их синхронизации и синфазирования в каждой фазе цикла их вращения.



**Рис. 1. Взаимодействие шаровых полей объектов в пространстве.**  
Объяснения – в тексте

Примерно 100 лет назад перед наукой стояла близкая по сути проблема повышения точности электромагнитной локации для оценки расстояний между объектами. При использовании электромагнитных полей точность измерений заключалась в оценке радиуса поля принятого сигнала относительно сигнала стабилизированной частоты, которая была достигнута по измерениям фазы сигналов, выполняемой по линейным функциональным зависимостям, реализованная во множестве технических решений, например, в навигационной системе «Галс».

Сейчас эта же задача стоит в определении радиуса источника поля по разности фаз двух принятых сигналов, разнесенных на известной базе. Ее решение реализовано в природе сравнением парных измерений двух измерителей у всех биологических объектов на Земле.

Близкая по форме, но не по сущности, задача решена при использовании парных проективных стереоскопических систем координат [4]. Их существенным отличием от предложенных Евклидом является отсутствие модельной связи центров взаимодействующих объектов (объекта и измерителя) и их полей, что исключает однозначность измерений.

Парность является основным принципом природы, где противоположные свойства сочетаются *в едином*, и обеспечивается единство свойств *в противоположностях*. Это идиоматическое сочетание отражает закон единства и борьбы противоположностей, который обеспечивает решение большинства неразрешимых противоречий в природе, в том числе, и в дальнейшем изложении.

Из сказанного выше основным наблюдаемым процессом в природе является поле, форма которого – шар. Шар – это объект, который характеризуется одним параметром – радиусом. Размещение двух точек разных радиусов друг в друге образует шар с центром, положение которого в пространстве характеризуется только центром, а его размер – радиусом. Поле образуется вращающимся вектором, обладающим двумя линейными параметрами – амплитудой и радиусом, линейные размеры которых равны в шаре.

Измерения могут выполняться только на плоскости и только для линейных параметров. Поэтому линия и точка являются частью плоскости и отображаются параметрами объекта на плоскости. Все отображения на плоскости, описываемые с помощью прямых и сферических линий, являются образами объектов. Линия имеет две идеальные формы в виде прямой и окружности. Точка описывает положение прямой линии и окружности на плоскости, а их размеры описываются размерами радиуса. Точка описывается радиусом окружности, ширина которой совпадает с мерой измерений или ценой деления.

Два измерителя на базе обеспечивают построение двух образов шарового поля объекта, положение которых на плоскости описывается разным расположением проекций точки относительно центра базы, связанной осью с центром поля. Это свидетельствует о том, что:

- точка центра является основным измеряемым элементом образа объекта, характеризующим его пространственное положение;
- единственным измеряемым параметром поля в пространстве является вектор, отображаемый в виде ортогональных прямых линий – радиуса и амплитуды, связанных с центром шара и их проекций на ортогональных осях координат;
- вектор обеспечивает построение шарового поля и возможность по двум проекциям описывать его параметры.

Аксиоматическими условиями достоверного описания взаимодействия пространственных процессов (полей) является их равновесие, которое достигается при использовании принципа парности, реализуемого на плоскости. Результатом правильности решения этой задачи, *выполняемой без использования допущений и вычислительных средств*, является равенство параметров полей, например, радиусов или амплитуд физического поля на всех осях  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , при равенстве, например, размеров радиусов только на оси  $Y$ .

Аксиоматика, систематизирующая свойства полученных знаний, превращает физику в науку, которая должна достоверно описывать природные процессы во всем их многообразии. Физика развивается на основе получения новых знаний о природе в их временных и случайных проявлениях. Но знания, введенные в систему

общепринятой аксиоматики, описанные ранее, в основном имеют приближенный характер. Поэтому аксиоматика, чтобы быть единой, должна связать временные и пространственные процессы двумя ортогональными плоскостями, которые возможно построить при использовании свойств шара, как основы методологии измерений полей.

### 3. Основы методологии измерения полей

#### 3.1. Управление положением полей планетарных объектов

Все объекты на расстоянии отображаются и измеряются с помощью их полей. При этом поля касаются поверхности объектов независимо от их формы в особых точках – углах, обеспечивая неразрывную связь их вещественной и полевой частей. Поэтому задача измерений полей объектов шаровой формы является основной в обеспечении достоверности и точности описаний взаимодействия объектов в пространстве. Достоверность измерений сферических объектов будет обеспечиваться, если они будут описываться, как и вещественные (геометрические) объекты, линейными зависимостями.

*Измерение шаровых объектов [5–7] можно реализовать по измерениям линейных параметров секторов, связанных с их радиусами и замыкающими хордами, и сравнением положения центров относительно линейных размеров базы с измерителями.*

Секторные измерения при обеспечении их линейности должны иметь твердую аксиоматическую основу, построенную на основных общеизвестных свойствах:

- *Все шаровые поля замкнуты. Математическое ожидание суммы их полей и периметров на осях координат равно нулю.*
- *Излучаемый потенциал в секторе шара на плоскости измерений независимо от расстояния является постоянной величиной.*

Первая аксиома не требует пояснений, так как является отражением закона сохранения энергии. Вторая аксиома является отражением закона равновесия, который известен для гравитационного поля, но не известен для любых полей в пространстве. Она следует из закона сохранения энергии в шаре, так как сумма их сторон и потенциалов в шаре по замкнутому контуру равна нулю.

Евклид разделил решение задачи на две части: постулаты и аксиомы. Для постулатов он использует простейшие элементы: точки; прямые линии; окружности с центром, и прямые, обладающие ортогональностью и параллельностью. В общем случае все элементы, используемые в его построениях, являются шаровыми, то есть обладают замкнутостью в пространстве.

Методику использования этих элементов он назвал постулатами. Она обеспечивает построение системы координат, решающей проблему построений образов объектов в пространстве с помощью лучей, соединяющих точки на объекте и точки на базе, получая их отображения на оси, параллельной базе. Эту конструкцию сейчас называют проективной системой координат, но у Евклида это не только система измерений, а система взаимного обмена информацией. Правила использования двух полученных проекций объектов в системе координат он изложил в аксиомах – *операционных действиях, в основном аддитивных, которые должны выполняться для описания объектов по их образам.*

Рассмотрим процесс взаимодействия двух шаровых полей разных радиусов  $R_A$  и  $R_B$  связанных лучами, проведенными из центров и их поверхностей, касательными к

их поверхностям (рис. 1, 2). Шаровые поля расположены в трехмерных декартовых системах координат  $0XYZ$  с индексами  $a$  и  $b$ , имея общую ось  $Y$ , связывающую их центры. Проведя радиусы из центров полей в точки касания к поверхностям шаров, показанных на рис. 2а, получаем плоскостные отображения их пространственного взаимодействия на плоскостях наблюдений в парной параллактической системе координат. Отображения в парной параллактической системе координат невидимы, но в них происходят все физические процессы, связанные с обменом информацией. На рис. 2б показано отображение взаимодействия полей на плоскости измерений, которая ортогональна плоскости наблюдений, через которую происходит обмен информацией. Рассматривать будем процессы только в одном поле – меньшем из двух.

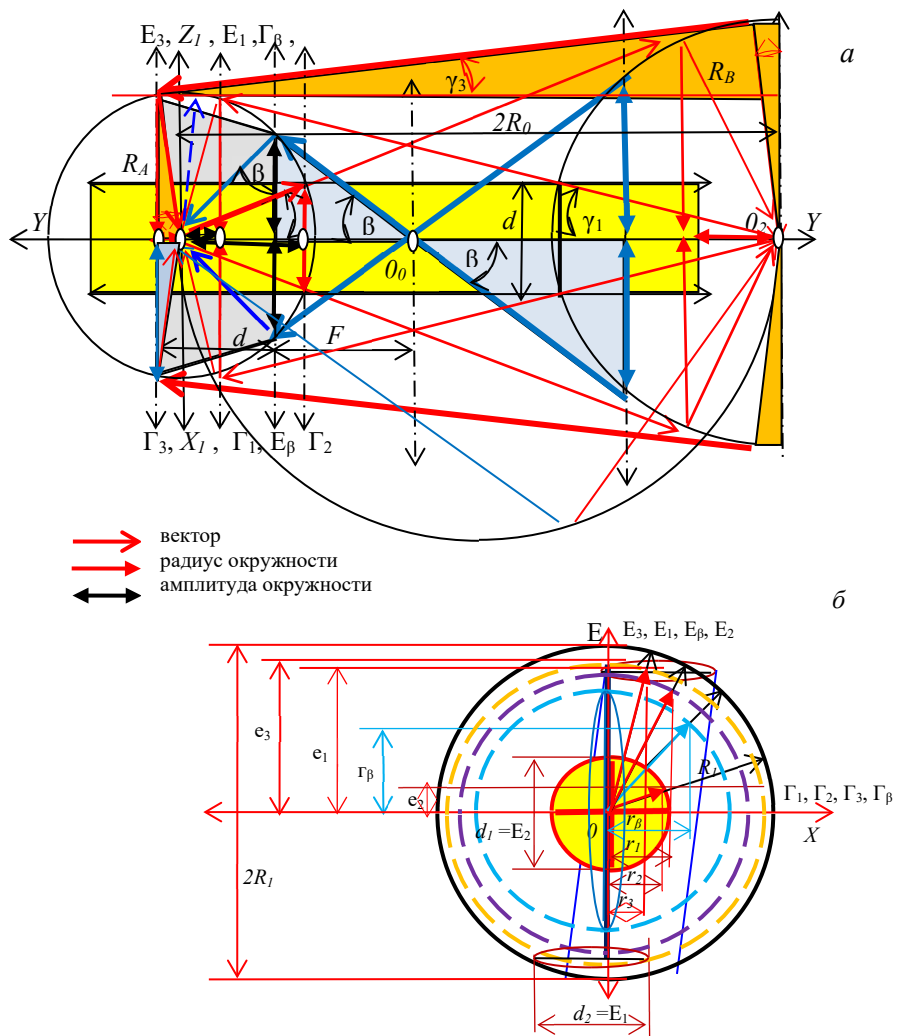


Рис. 2. Параллактические взаимодействия полей объектов в пространстве.  
Объяснения – в тексте



Шаровая форма взаимодействия между полями гарантирует их зеркальность и достоверность при плоскостном отображении в парной параллактической системе координат. Получаем одинаковые отображения в окружностях двух шаров 1 и 2, которые образуют парную сферическую систему координат, связанную параллактической системой координат с ортогональными параллактическими углами  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  и  $\beta$ .

Парная шаровая параллактическая система координат является пространственной формой проективной системы, основа последней – шаровая форма полей объектов, в которой связь центров полей объектов обеспечивает их продольную симметрию, а шаровая форма – поперечную.

Взаимодействие шаровых полей выполняется в четырех пространственных конусах, связанных с вращением параллактических углов вокруг оси  $Y$ , лучи которых являются векторами, образуя проекции на оси  $Y$  и на осях координат параллактических окружностей. Они образуют в каждом шаре  $R_A$  и  $R_B$  параллельные плоскости взаимодействия, являющиеся кругами различных диаметров и имеющие равные по модулю векторы, но различные проекции на плоскостях трансляции по осям координат. Равные по модулю плоскостные ортогональные векторы имеют парные условия, обеспечивающие их равенство и отличия в плоскостных проекциях.

Плоскости, ограниченные симметричными лучами, характеризуют потенциалы их взаимодействий в параллельных плоскостях измерений  $S$  и продольных плоскостях наблюдений  $U$  парной параллактической системы координат. Для обозначения измерительных осей в парной параллактической системе координат введены обозначения, связанные и буквами греческого и русского алфавитов. Для продольной оси используются обозначения  $\Gamma$  с индексами обозначения углов, на них проецируется пространство в метрах. Для поперечной оси используются обозначения  $E$  с индексами обозначения углов, на них проецируются время или параметры полей, связанные в шаре постоянным коэффициентом, т. е. есть в каждом из параллактических окружностей шарового поля сохраняются общность и отличия.

Три сечения параллактическими углами  $\gamma_1, \gamma_2$  и  $\gamma_3$  расположены в одной плоскости и взаимосвязаны, образуя поперечную плоскость взаимодействия, и обозначены на всех рисунках линиями красного цвета. При этом на плоскости измерений (рис. 2б) показаны все плоскостные образы в шаре, которые отображаются при вращении параллактических лучей. При вращении параллактических лучей вокруг оси  $Y$  происходит изменение положения параллактических лучей, и оси  $E$  и  $\Gamma$  изменяют свое положение, сохраняя линейные размеры своих проекций, т. е. сохраняя неизменными векторы каждой из плоскостных окружностей, равные радиусу шара  $R_A$ .

Таким образом, простое сравнение отображений окружностей относительно центра системы координат на плоскости измерений  $O\Delta Z$  обеспечивает условия взаимного управления положением полей объектов на оси  $Y$ , соединяющей их центры, без использования каких-либо вычислителей, что и осуществляется в природе как между Землей и Солнцем, так и между глазами животных.

Плоскости, ограниченные симметричными лучами, характеризуют потенциалы их взаимодействий в параллельных плоскостях измерений  $S$  и продольных плоскостях наблюдений  $U$  парной параллактической системы координат. Для обозначения измерительных осей в парной параллактической системе координат введены обозначения, связанные и буквами греческого и русского алфавитов. Для продольной оси используются обозначения  $\Gamma$  с индексами обозначения углов, на них проецируется

*пространство в метрах.* Для поперечной оси используются обозначения  $E$  с индексами обозначения углов, на них проецируются время или параметры полей, связанные в шаре постоянным коэффициентом, т. е. есть в каждом из параллактических окружностей шарового поля сохраняются общность и отличия.

Три сечения параллактическими углами  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  и  $\gamma_3$  расположены в одной плоскости и взаимосамкнуты, образуя поперечную плоскость взаимодействия, и обозначены на всех рисунках линиями красного цвета. При этом на плоскости измерений (рис. 2б) показаны все плоскостные образы в шаре, которые отображаются при вращении параллактических лучей. При вращении параллактических лучей вокруг оси  $Y$  происходит изменение положения параллактических лучей, и оси  $E$  и  $G$  изменяют свое положение, сохраняя линейные размеры своих проекций, т. е. сохраняя неизменными векторы каждой из плоскостных окружностей, равные радиусу шара  $R_A$ .

Таким образом, простое сравнение отображений окружностей относительно центра системы координат на плоскости измерений  $OXYZ$  обеспечивает условия взаимного управления положением полей объектов на оси  $Y$ , соединяющей их центры, без использования каких-либо вычислителей, что и осуществляется в природе как между Землей и Солнцем, так и между глазами животных.

### 3.2. Процесс взаимодействия шаровых полей во внешнем пространстве

Вращение системы координат  $O_AXYZ$  вокруг оси  $Z$  вызывает также пространственное вращение параллактических окружностей, образующих две цилиндрические поверхности. Окружности в поперечной плоскости, связанные с параллактическими углами  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  и  $\gamma_3$ , показаны на рис. 2б красными линиями. Окружность, связанная с параллактическим углом  $\beta$ , расположена в продольной плоскости и показана на рис. 2 синими линиями. Полученные пространственные конусы в каждом объекте зависят от параллактических углов  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ , под которым они наблюдаются из центра другого объекта. Плоскостные треугольники, построенные в продольном сечении конусов в каждом объекте, образуют системы из четырех подобных треугольников, связанных зависимостями геометрического среднего, что позволяет преобразовать отношения сферических поверхностей, замыкаемых хордами в стороны прямоугольных треугольников, связанных геометрическими отношениями. Из подобия этих треугольников следует связь отношений их сторон, выраженная зависимостью геометрического среднего:

$$\frac{d}{2R_A} = \frac{R_B}{2R_0} \quad ; \quad \frac{d}{2R_B} = \frac{R_A}{2R_0} \quad ; \quad (d)^2 = \frac{R_A^2 \cdot R_B^2}{R_0^2} \quad (1)$$

где  $R_A$ ,  $R_B$  и  $d$  – радиусы шаровых полей, описывающих размеры наблюдаемой стороны объекта, и струны, связывающей объекты, соответственно;

$R_0$  – радиус сферы, расположенной между центрами полей  $R_A$ ,  $R_B$ .

Образованная база взаимодействия  $d$  является природной линейной основой описания взаимодействия шаровых объектов как база проективных – параллактических измерений. Она обеспечивает синхронизацию вращения параллактических углов с вращением полей, являясь частотной опорой и одновременно – мерной линией, нормированной в метрах.

Проведем из центра  $O_1$  на рис. 2 прямую параллельную перекрестному лучу до пересечения с поверхностью сферы радиуса  $R_0$ , образуя прямоугольный треугольник,

опирающийся на диаметр окружности  $R_0$ . В этой точке она должна пересечься с радиусом окружности наблюдаемого поля  $R_A$ , образуя прямоугольный треугольник с параллактическим углом  $\beta$ , расположенный на том же шаре радиусом  $R_A$ . Соотношения сторон между углами  $\beta$  в этих треугольниках построены на отношениях радиусов, имеющих отображения на параллельных плоскостях, ортогональных оси, связывающей центры объектов:

$$\frac{2R_0}{R_A + R_B} = \frac{R_A}{F} = \sin \beta \quad ; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin \beta}{D/2} = \frac{2R_0 \cdot 2}{(R_A + R_B)D} \quad ; \quad F = d \left( \frac{R_A}{R_B} + 1 \right) \quad , \quad (2)$$

где  $F$  – отстояние спроецированной плоскости от центра поля  $O_1$ .

Размеры внешней полевой оболочки двух объектов радиусом  $R$  связаны замкнутостью параллактических углов  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ , которые формируют «продольную» плоскость, связывающую центры полей объектов, определяя положение и максимальный размер полей и объектов, заданных зависимостью геометрического среднего. В поперечной плоскости взаимодействие параллактических углов выполняется линейным проектированием, обеспечивая расположение центра вращения  $F$  на общей оси  $Y$  системы их взаимодействия.

Потенциалы в продольной  $S_1$  и поперечной  $S_2$  плоскостях шара должны быть уравновешены, что должно отображаться в равенстве их площадей:

$$S = 2R_0d = R_A \sin \gamma_1 \cdot R_B \sin \gamma_2 = (R_A + R_B) \cdot R_0 \cdot \cos \beta = (R_A + R_B) \cdot R_0 \cdot \frac{D}{2R_A} \quad .$$

$$S = 2Rd = \frac{(R_A + R_B)}{2} \cdot \frac{R_0 \cdot D}{R_A} \quad . \quad 4d = \left( 1 + \frac{R_B}{R_A} \right) D \quad . \quad (3)$$

В продольной плоскости образовался сектор поля, обеспечивающий равновесный обмен информации между продольной и поперечной плоскостями:

$$d = \frac{R_A R_B}{R_0} = \frac{(R_A + R_B)}{2} \cdot \cos \beta = D \cos \beta \quad . \quad (4)$$

Равенство (4) является условием равновесного взаимодействия физических полей объектов в пространстве, отражая роль и связь геометрического и арифметического среднего радиусов полей и равновесия угловых параметров и линейных параметров при измерении пространства.

Таким образом, преобразования систем координат в природе строятся на основе установления общности и отличий парных параметров в различных системах координат, открывающих новые стороны их взаимодействия.

Шаровые поля расположены в трехмерных декартовых системах координат  $OXYZ$  с индексами 1 и 2, имея общую ось  $Y$ , связывающую их центры. Проведя радиусы из центров полей в точки касания к поверхностям шаров, показанных на рис. 2а, получаем плоскостные отображения их пространственного взаимодействия на

плоскости наблюдений в параллактической системе координат, которые невидимы, но в них происходят все физические процессы, связанные с обменом информацией. На рис. 2б показано отображение взаимодействия полей на плоскости измерений, ортогональной плоскости наблюдений, через которую происходит обмен информацией. Рассматривать будем процессы только в одном поле – меньшем из двух.

Шаровая форма взаимодействия между полями гарантирует их зеркальность и достоверность при плоскостном отображении в парной параллактической системе координат. Получаем одинаковые отображения в окружностях двух шаров 1 и 2, которые образуют парную сферическую систему координат, связанную параллактической системой координат с ортогональными параллактическими углами  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  и  $\beta$ .

Парная шаровая параллактическая система координат – это пространственная форма проективной системы, основой которой является шаровая форма полей объектов, в которой связь центров полей объектов обеспечивает их продольную симметрию, а шаровая форма полей – поперечную.

Взаимодействие шаровых полей выполняется в четырех пространственных конусах, связанных с вращением параллактических углов вокруг оси  $Y$ , *лучи которых являются векторами, образуя проекции на оси  $Y$  и плоскости параллактических окружностей*. Они образуют в каждом шаре  $R_1$  и  $R_2$  параллельные плоскости взаимодействия, являющиеся кругами различных диаметров, имеющими равные по модулю векторы, но различные проекции по осям координат, обеспечивающие парности: равенств и отличий.

Плоскости, ограниченные симметричными лучами, характеризуют потенциалы их взаимодействий в параллельных поперечных плоскостях измерений  $S$  и продольных плоскостях наблюдений  $U$  парной параллактической системы координат. Для обозначения измерительных осей в парной параллактической системе координат введены обозначения, связанные и буквами греческого и русского алфавитов, *имеющих две равные вращающиеся метрики, в различных мерах*. Для продольной оси используются обозначения  $\Gamma$  с индексами обозначения углов, *на них проецируются пространство в метрах*. Для поперечной оси используются русская буква  $E$  с индексами обозначения углов, *на них проецируются время или параметры полей, связанных в шаре постоянным коэффициентом*. Таким образом, в каждой из окружностей шарового поля сохраняются общность и отличия.

Три сечения параллактическими углами  $\gamma_1, \gamma_2$  и  $\gamma_3$  расположены в одной плоскости и взаимосвязаны, образуя поперечную плоскость взаимодействия. Окружности в поперечной плоскости, связанные с параллактическими углами  $\gamma_1, \gamma_2$  и  $\gamma_3$  показаны на рис. 2б красными линиями. Окружность, связанная с параллактическим углом  $\beta$ , расположена в продольной плоскости и показана на рис. 2 синими линиями. Вращение системы координат  $OXYZ$  вызывает пространственное вращение и полей параллактических окружностей, образующих две шаровые поверхности физических полей Земли.

Параллактическая окружность, связанная с продольной плоскостью измерений  $S$ , имеет ось вращения, незначительно удаленную от центра шарового поля, формирует внешнее магнитное поле Земли. Параллактическая окружность, связанная с поперечной плоскостью измерений  $U$ , имеет ось вращения, значительно удаленную от центра шарового поля, формирует электрическое поле Земли. В результате

образовались три шаровых поля Земли, связанные в пространстве аксиоматическими зависимостями.

Эта система плоскостного отображения пространственных полей объектов является достаточной для формирования устойчивой пространственной структуры, обладающей равновесием, а при измерениях – достоверностью.

Суммарный потенциал линейных размеров параллактических углов в поверхностях шаров связан замкнутой угловой зависимостью, отображенной в полях трех сфер, характеризуя его пространственную замкнутость:

$$\gamma_1 = \gamma_2 - \gamma_3 ; \quad \beta = \gamma_1 + \gamma_3 ; \quad \pi/2 - \beta = \gamma_2 - \gamma_1 . \quad (5a)$$

Выражение (5a) в сферическом описании имеет вид:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_3 &= \operatorname{tg} \gamma_2 - \operatorname{tg} \gamma_1 ; \quad \operatorname{tg} \gamma_1 = \operatorname{ctg} \beta + \operatorname{tg} \gamma_2 ; \\ 1 / \operatorname{ctg} \beta &= \operatorname{ctg} \gamma_2 - \operatorname{ctg} \gamma_1 = 1 / \operatorname{tg} \gamma_2 - 1 / \operatorname{tg} \gamma_1 . \end{aligned} \quad (5b)$$

Выражение (5a) в линейном описании имеет вид:

$$\frac{r_1}{2R} = \frac{r_2}{2R} - \frac{F}{r_1} ; \quad \frac{D}{2r_1} = \frac{r_1}{2R} + \frac{r_3}{2R} ; \quad \frac{F}{r_1} = \frac{D}{2R} - \frac{d}{2R} . \quad (5b)$$

Первая из трех зависимостей отражает пространственную связь параллактических углов в плоскости  $YOG$ , вторая – в плоскости  $YOZ$ , третья – в плоскости  $ZOG$ , в которых построения отображаются.

### 3.3. Процесс взаимодействия шаровых полей во внутреннем пространстве

В параллактической системе координат передача информации в пространстве реализуется параллактическими углами взаимных наблюдений на продольной плоскости проектированием (последовательный перенос) и проецированием (параллельный перенос), а их воздействие отображается на шаровой поверхности полей объектов. Поведение лучей в поле измерителя одинаковое, поэтому рассмотрим только парные лучи, исходящие из центра.

Лучи, выходящие из точки  $\theta_1$  под параллактическим углом  $\gamma_1$ , освещают хорду  $D$  «шара-измерителя» и касаются его поверхности в точках 1 и 2. Лучи делятся на две части, одна из которых продолжает движение до пересечения с измерительной осью  $X$ , а другая поворачивает по радиусу  $r$  к центру шара  $\theta$ . Лучи, двигающиеся по радиусам к центру  $\theta$ , взаимодействуют, а их составляющие по осям координат суммируются, компенсируясь по оси  $X$  и отображаясь по оси  $Y$  отрезком  $f$ , который характеризует отстояние центра шара  $\theta$  от хорды  $D$  при этом положении оси  $X \parallel D$ . Это свойство шара обеспечивает как повышение плотности энергии внутри шара, так и возможность установления стоячей волны внутри него. Радиусы, проведенные из центра шара к точкам касания, обеспечивают построение системы подобных прямоугольных треугольников с параллактическим углом  $\gamma_1$  (выделены на рис. 3 цветом).

Касательные, проведенные из точки  $\theta_1$  к поверхности шара-измерителя, в каждой из точек 1 и 2 образуют систему из трех прямоугольных подобных треугольников, имеющих равный угол  $\gamma_1$  и связанных следующими зависимостями:

$$S_1 = \frac{1}{2}(2R)^2 \operatorname{tg} \gamma_1 \quad ; \quad s_1 = \frac{1}{2}(f)^2 \operatorname{tg} \gamma_1 \quad ; \quad f = 2R \cdot \operatorname{ctg}^2 \gamma_1 \quad ; \quad S_1 / s_1 = \operatorname{ctg}^3 \gamma_1 \quad (6)$$

где  $S_1$  и  $s_1$  – площади поверхностей большого и малого треугольников.

В соответствии с уравнением (6) проецирование в шар обеспечивает тройное сжатие пространства в продольной плоскости наблюдений по закону геометрического среднего, отображаемого на осях  $X$  и  $Z$ . Таким образом, внутри поле сжимает информацию пропорционально кубу котангенса параллактического угла наблюдения, что позволяет обеспечить одинаковую разрешающую способность измерений большого и малого треугольников, масштабы отображений которых отличаются в кубической зависимости на осях  $X$  и  $Z$ .

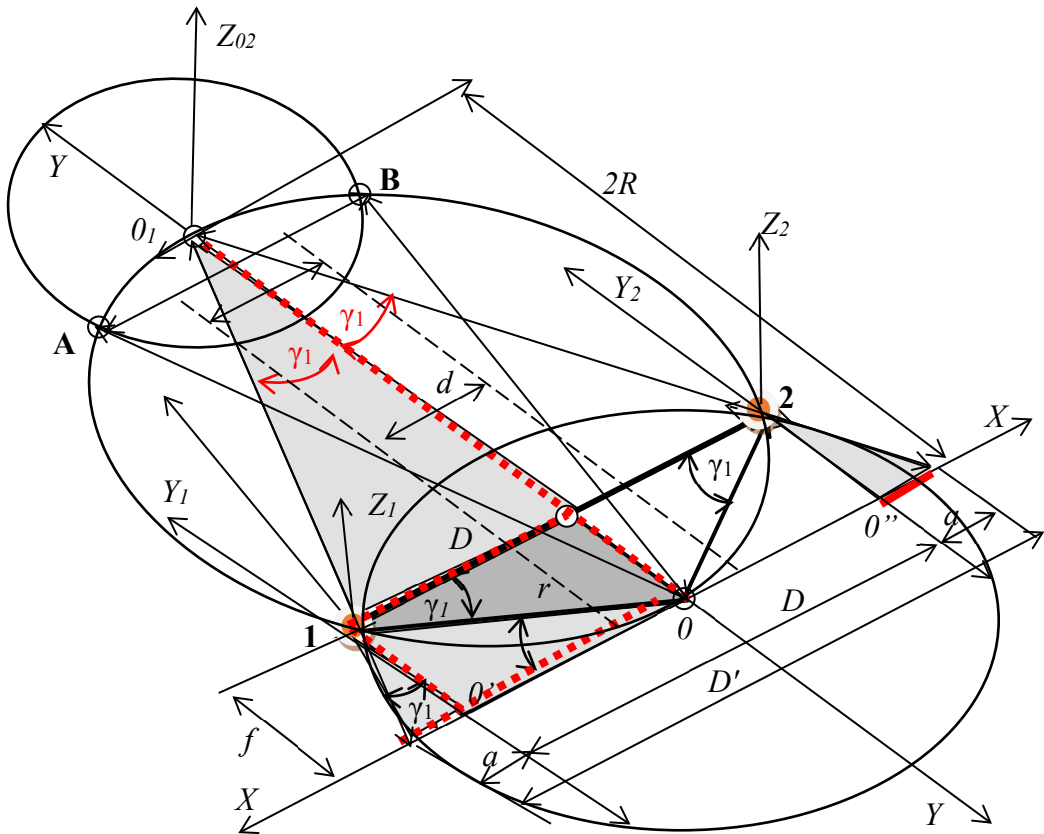


Рис. 3. Модель внутреннего взаимодействия параллактических лучей в шаре.  
Объяснения – в тексте

Полностью аналогичные построения могут быть выполнены для второго параметра шаровых систем координат – амплитуды, которая только сдвинута по фазе на  $\pi/2$ .

Это позволяет результаты сравнений амплитуды поля в двух точках расположения измерителей использовать как опорные для оценки равновесных положений, а результаты оценки протяженностей по базе  $d$  между измерителями использовать для оценки радиусов и взаимного положения. *В этом сочетаются абсолютные измерения пространства и относительные измерения времени и полей в нем.*

Достоверность описания физических процессов по постулатам Евклида основана на реализации равновесия (равенства отношений) между реальными размерами измеряемых полей объектов и модельными образами поля, связанных постоянным коэффициентом пропорциональным кубу котангенса угла взаимных наблюдений. Это позволяет сохранить разрешающую способность измерений амплитуд поля для оценки размеров полей объектов. Вычисление значений поля в них, например, магнитного, можно выполнить по сумме текущих значений приращений поля  $N$  между ними и по числу измерений на базе  $n$ . При этом разрешающая способность между экстремальными значениями увеличивается пропорционально их произведению  $Nn$  или равно числу пикселей на отображении линии. Если разрешающая способность по всем осям одинакова и максимальна, то число пикселей в отображении будет, например,  $(Nn)^3$ . Так, если разрешающая способность базы в 1 м составляет  $1\text{нм}=10^{-9}\text{м}$ , то по оценке потенциала она будет иметь разрешение  $10^{-729}\text{м}$ , которую достичь любым известным методом невозможно.

### Выводы

Достоверность описания физических процессов по постулатам Евклида основана на реализации принципов парности и сравнения при рассмотрении взаимодействия материальных объектов, состоящих из полевой и вещественной частей. Трансляция информации между полями в пространстве осуществляется с помощью параллактических углов, обеспечивающих построение «плоскостного сферического пространства», в котором выполняются все постулаты плоскостных измерений как в геометрии, так и физике.

1. Парность – основной принцип построения и взаимодействий материальных объектов в природе, который реализует достоверность построения, преобразования и измерения образов на основе их сравнения в пространстве и использует линейные и временные меры для измерения пространства.

2. Материя состоит из полевых и вещественных объектов.

3. На принципе парности построена как концепция связи времени и пространства, так и аксиоматика их измерений. Концепция взаимодействий пространства и времени отражает реальные процессы управления взаимным положением Земли и Солнца в природе.

4. Время преобразует трехмерное пространство в два плоскостных, построенных на ортогональных парных параллактических углах.

5. Время является парной относительной системой описания угловыми параметрами шарового пространства снаружи и внутри, которые образуют прямой угол между плоскостями взаимодействия.

6. Радиус физического поля, охватывающий объект, является характеристикой максимальных размеров объекта и должен использоваться как *метрологическая мера*

*физических полей в пространстве, измеряясь в единицах длины – метрах и мере измерений амплитуды поля.*

7. Основой измерений линейных отрезков с помощью времени является равенство их парных образов на ортогональных осях плоскости измерений или измеренных в одинаковой фазе.

8. Физические поля, как и время, являются относительными понятиями и описываются в виде приращений их измеряемых параметров.

9. Поля в природе описываются законом геометрического среднего, охватывая их максимальные размеры. Следовательно, закон геометрического среднего является законом взаимодействия и вещественных объектов через физические поля, обеспечивая их построение по закону «золотого сечения».

10. Достоверность использования постулатов Евклида подтверждается взаимодействием Солнца и Земли при сравнении пары касательных векторов, действующих встречно на границах полей без использования вычислителей. Такое взаимодействие возможно, только если поля имеют шаровую форму. И только шаровая форма полей реализует закон геометрического среднего и его воплощении в «золотом сечении» объектов на Земле.

Концепция взаимодействия пространства и времени Евклида достоверна и требует дальнейшего развития для исключения противоречий в познании природы и формирования на основе принципа парности новой метрологической системы измерений в пространстве. Содержание статьи требует обсуждения.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Солопов Е. Ф. Предмет и логика материалистической диалектики. – Л., Наука: 1973. 202 с.
2. Канарев Ф. М. Кризис теоретической физики. Третье изд. – Краснодар. 1998. – 200 с.
3. Гузевич С. Н. Парная параллактическая сферическая система координат // Навигация и гидрография. – 2022. – № 68. – С. 45–57.
4. Лобанов А. Н. Фотограмметрия. – М.: Недра, 1984. – 552 с.
5. Гузевич С. Н. Время, пространство и их физическая сущность // Навигация и гидрография. – 2023. – № 71. – С. 75–86.
6. Гузевич С. Н. Постулаты Евклида – условие модельного равновесия в природе // Прикладная физика и математика. – 2022. – № 10. – С. 3–14.
7. Гузевич С. Н. Природная система счисления, обладающая достоверностью // Прикладная физика и математика. – 2022. – № 10. – С. 15–25.

#### **THE NATURAL SPATIAL NUMBER SYSTEM**

**S. N. Guzevich (GNINGI JSC)**

*The article considers the natural number system, based on the concept and axiomatics of Euclid, using the principles of pairing and comparison in the mapping of real and field space. The principle of pairing connects the opposites of real and field matter with a single mathematical and physical basis of time and space, built on the creation of paired comparison conditions for their separation or unification. When measuring objects in space, the principle of comparison is implemented in all biological objects on Earth.*



## **РАСЧЛЕНЕННОСТЬ РЕЛЬЕФА МОРСКОГО ДНА И ПЛАГИН QGIS ДЛЯ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

**А. В. КОСТЕНИЧ, И. К. МИХАЛЬ, В. Ю. БАХМУТОВ,  
А. А. ВЕСЕЛОВ, Е. А. ГОРДЕЕВА (АО «ГНИНГИ»),  
Д. А. КОСТЕНИЧ (АО «НПФ «СИСТЕМА-СЕРВИС»)**

*Рассматривается один из методов определения горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа морского дна и приводится описание алгоритма ее расчета с использованием плагина для геоинформационной системы QGIS.*

Понятие «расчлененность рельефа морского дна» обычно отождествляется с одноименным морфометрическим параметром и, следовательно, рассматривается в дисциплине «Геоморфология». При этом данный параметр имеет как важное общенаучное, так и большое практическое значение, его влияние необходимо учитывать во многих областях морской деятельности.

1. Экология:
  - расчет распределения (миграции и аккумуляции) загрязнений от источников различного происхождения под воздействием течений [1];
  - проведение численного моделирования трансформации волн цунами в рассматриваемых акваториях [2].
2. Морские инженерные изыскания.
3. Сооружения на шельфе:
  - подводно-технические работы;
  - прокладка трубопроводов;
  - строительство гидротехнических сооружений (ГТС).
4. Гидрография:
  - безопасность мореплавания;
  - создание цифровых моделей рельефа дна (ЦМРД);
  - создание гидроакустических моделей акваторий.
5. Военное дело:
  - навигация по рельефу [3];
  - определение положения, расчет размеров и создание полигонов для навигации по рельефу для автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) [3];
  - планирование разведывательно-диверсионных операций;
  - планирование десантных операций;
  - планирование морских минных постановок и противоминной обороны;
  - планирование специальных подводно-технических и аварийно-спасательных работ;
  - планирование путей безопасного прохода и мест покладки на грунт подводных лодок и АНПА с учетом гидроакустической тени.
6. Разработка и эксплуатация гидроакустических средств (стационарных) подводного наблюдения, в том числе прогноз их потенциальной дальности действия.

7. Энергетика. Освоение технологий выработки электрической энергии с использованием приливо-отливных явлений, прибрежных приводных ветров и ветровых волн, температурного градиента воды, термальной энергии и течений.

8. Рыбная промышленность. Расчлененность рельефа морского дна рассматриваются как одно из условий успешного применения промыслового оборудования и как важный фактор среды обитания промысловых рыб.

В настоящее время известно несколько различных типов характеристик, употребляемых для количественной оценки степени расчлененности рельефа дна [4–6]. Более того, и само понятие расчлененности рельефа дна трактуется разными исследователями по-разному.

Так в работе [7, с. 66] «вертикальная расчлененность рельефа изучалась методом разбиения батиметрической основы на элементарные ячейки. Элементарная ячейка выбиралась из следующего условия – в ее пределы должно попадать не менее 10 батиметрических отметок (такому условию соответствует площадь 256 км<sup>2</sup>). В пределах элементарной ячейки определялась *разность между минимальной и максимальной глубиной*, далее ячейка сдвигалась на 1/3 и операция повторялась заново. В итоге отстраивались изолинии вертикальной расчлененности рельефа. Вычисленное поле вертикальной расчлененности рельефа сглаживалось с целью вычленения региональной и локальной составляющих. Сглаживание проводилось с помощью различных круговых палеток».

В работе [8] за показатель вертикальной расчлененности принималось *вертикальное расстояние между ближайшими точками перегиба рельефа*.

В работе [9, с. 290] с использованием метода скользящего окна производится «...вычисление производного показателя "*среднеквадратическое отклонение*", который можно интерпретировать как характеристику вертикальной расчлененности рельефа. Значение показателя вычисляется на основе несмещенной оценки дисперсии по формуле:

$$\text{с. к. о } S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (z_k - \bar{z})^2}, \quad \text{среднее } \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n z_k, \quad (1)$$

где через  $n$  обозначено количество узлов сетки модели, попавших в скользящее окно, а через  $z_k, k = 1, \dots, n$  – значения исходного показателя в отобранных узлах сетки».

При этом в двух работах [7, 8] горизонтальное расчленение рельефа вообще не определялось.

Мы считаем, что надо использовать классическое определение этих характеристик рельефа, данное в фундаментальном труде контр-адмирала доктора технических наук А. И. Сорокина [10], в соответствии с которым вертикальную и горизонтальную расчлененность рельефа дна можно представить, как статистические характеристики вертикальных и горизонтальных размеров аномалий относительно заданного среднего уровня.

Расчлененность поля рельефа характеризуется отклонением глубин  $Z_a$  «аномального» поля от глубин  $Z_n$  так называемого «нормального» поля, за которое принимается либо средняя глубина района, либо наклонная или сглаженная поверхность крупных форм рельефа. За нормальную поверхность может быть принята

поверхность, соединяющая точки перегиба (нулевые значения второй производной рельефа) [4].

На основе данного подхода для использования показателя расчлененности при решении широкого спектра практических расчетных задач авторами разработан плагин «Расчлененность» для географической информационной системы с открытым кодом *QGIS* [11]. Этапы работы по созданию плагина и его алгоритмизации приведены ниже.

### **Постановка задачи**

В ходе постановки задачи были определены требования к разрабатываемому плагину и его основные функции:

1. Реализовать программную обработку результатов съемки рельефа дна, представленных в цифровом виде, с целью определения параметров расчлененности этого рельефа.

2. Обеспечить возможность вычисления расчлененности по отдельному профилю, а также по площади, используя метод скользящего окна.

3. Обеспечить возможность вычисления отдельно горизонтальной и вертикальной расчлененности, а также их максимальных значений как отдельных параметров.

4. В качестве исходных данных использовать файлы растровых изображений в формате *GeoTiff*. Выходные данные для площадных вычислений также помещать в растровые файлы этого формата.

### **Реализация задачи**

#### *Выбор вида конечного программного обеспечения (ПО)*

Изначально рассматривалось несколько вариантов реализации поставленной задачи:

- в виде самостоятельного приложения;
- в виде плагина для одной из популярных геоинформационных систем (ГИС).

Разработка в виде отдельного приложения позволит достичь гарантированной закрытости исходного кода, а также даст возможность выполнить проектирование и реализацию только необходимого для решения задачи функционала. Недостатком данного подхода будет потеря универсальности и совместимости с существующими системами анализа и обработки геоданных. Также, вероятно, потребуются дополнительные трудозатраты на создание базового инструментария по работе с файлами растровых изображений в формате *GeoTiff*, либо при использовании готовых внешних специализированных библиотек – на подбор библиотек с необходимым функционалом, изучение особенностей их применения и устранение возможных проблем их интеграции в основное ПО.

Реализация в виде плагина для ГИС позволит унифицировать работу с входной и выходной информацией и использовать функционал ГИС для предварительной или последующей обработки. Также весь необходимый инструментарий для работы с файлами растровых изображений (цифровыми моделями рельефа дна) предоставляет сама ГИС. Недостатком данного подхода будут дополнительные трудозатраты на изучение программного интерфейса ГИС (*API*) для интеграции плагина, а также необходимость следования внутренним ограничениям архитектуры ПО ГИС.

В результате изучения существующих специализированных библиотек и ГИС был выбран вариант реализации задачи в виде плагина для системы *QGIS*. Данная ГИС

имеет возможность реализации плагина с закрытым исходным кодом, довольно богатый функционал по работе с файлами растровых изображений и поддерживает множество форматов исходных и выходных данных (в том числе и *GeoTiff*).

*Использованные языки, стандарты и библиотеки*

Плагин реализован для *QGIS* 3.16 на платформе *Windows*. В качестве языка программирования выбран язык *C++* стандарта *C++17*. *C++*, а не *Python* выбран из соображений закрытости кода. Был использован функционал и архитектура библиотеки *QT* [12] – это обусловлено особенностями архитектуры *QGIS*. Также в ПО использован функционал библиотеки *boost.math* [13].

Разработка проводилась в среде *QT Creator* [14] с использованием средств сборки *MSBuild* [15], совместимых с *Microsoft Visual Studio 2017*.

*Интеграция плагина в QGIS*

Плагин «Расчлененность» встраивается в графический интерфейс *QGIS* и имеет отдельное подменю, с помощью которого можно вызвать команду на выполнение задачи поиска расчлененности либо по отдельному профилю, либо по площади. Вся конфигурационная информация задается в специальном конфигурационном текстовом файле. В нем указываются входные файлы цифровой модели рельефа дна, а также различные параметры алгоритмов обработки данных, которые выполняются в процессе поиска расчлененности.

Для вычисления расчлененности по профилю результат выводится в графический интерфейс *QGIS* в виде сообщения. Для вычисления расчлененности по площади выходные данные формируются в растровых файлах формата *ASC* и далее автоматически подгружаются в *QGIS* в отдельные слои. Формат *ASC* выбран для выходных файлов из удобства анализа, так как является текстовым. Также для обоих вариантов поиска расчлененности есть возможность сформировать для каждого обрабатываемого профиля *CSV* файл с информацией по промежуточным вычислениям. Эта информация может быть полезной для анализа полученного результата (расчлененности) и определения возможно необходимой коррекции параметров используемых алгоритмов для выполнения повторных вычислений.

*Детали реализации*

В основе всех задач, решаемых плагином «Расчлененность», лежит базовая общая реализация математического аппарата поиска расчлененности по единичному профилю. Для поиска расчлененности по профилю эта базовая реализация используется как самостоятельная задача с указанием произвольных координат. А для поиска расчлененности по площади базовая реализация выполняется многократно – для каждого из профилей, полученных в результате работы метода скользящего окна.

Все вычисления выполняются в плоской проекции без использования поправок на искривление поверхности Земли. Вместо этого предполагается, что исходная для вычислений цифровая модель рельефа дна будет подготовлена уже в правильной проекции и необходимых единицах измерения, которые при выполнении вычислений будут переводиться в километры. Настоящая реализация плагина поддерживает следующие единицы измерения: метры, километры, футы, морские мили, ярды, сухопутные мили, градусы, сантиметры и миллиметры. В случае детектирования неизвестных единиц измерения все вычисления будут выполняться как для единиц «градусы».

*Единый математический аппарат поиска расчлененности по профилю*

На вход алгоритма задаются координаты (широта и долгота) конечных точек профиля. Взаимное расположение конечных точек профиля (т. е. направление профиля) значения не имеет. Сам алгоритм можно расписать по шагам следующим образом:

1. Построение трехмерного профиля на основе заданных двух его конечных точек.
2. Анализ полученного трехмерного профиля на непрерывность и построение на его основе набора гарантированно непрерывных фрагментов профиля. Выполнение шагов по поиску расчлененности для каждого такого непрерывного фрагмента отдельно с накоплением результата (далее для краткости каждый непрерывный фрагмент профиля будем называть просто «профиль»).
- 2.1. Перевод трехмерного профиля в двумерный для выполнения дальнейших вычислений.
- 2.2. Выполнение алгоритма сглаживания. Это опциональное действие в зависимости от пользовательских настроек.
- 2.3. Построение нормализованной кривой – по точкам перегиба двумерного профиля.
  - 2.3.1. Поиск второй производной по двумерному профилю.
  - 2.3.2. Поиск корней второй производной и определение точек перегиба двумерного профиля.
- 2.4. Определение показателей для расчета расчлененностей по нормализованной кривой и кривой профиля.
3. Вычисление окончательных значений вертикальной и горизонтальной расчлененности, а также показателей максимального вертикального и горизонтального отклонения.

Далее каждый шаг общего алгоритма поиска расчлененности по профилю будет рассмотрен более подробно.

*1. Построение трехмерного профиля на основе заданных двух его конечных точек*

Входные данные: координаты (широта и долгота) двух конечных точек профиля. Задаются в единицах измерения исходной цифровой модели рельефа дна.

Выходные данные: Вектор точек профиля. Каждая точка имеет три координаты – широту, долготу и глубину. Широта и долгота задается в единицах измерения исходной цифровой модели, глубина – в метрах.

Действия: Вычисления широты и долготы каждой точки выходного вектора выполняются простой линейной интерполяцией вдоль оси  $Y$ . В случае, когда долгота начальной и конечной исходных точек совпадает, вычисления выполняются вдоль оси  $X$ . Для каждой точки выходного вектора по широте и долготу из исходной цифровой модели рельефа дна определяется значение третьей координаты – глубины.

*2. Разбиение профиля на гарантированно непрерывные фрагменты*

Обоснование: Профиль может любой своей частью и произвольное число раз пересекать сушу или другие области, для которых в исходной цифровой модели рельефа дна отсутствуют измерения. В таких областях поиск расчлененности смысла не имеет. Поэтому исходный профиль необходимо разбить на набор гарантированно непрерывных фрагментов, для каждого из которых отдельно вычислить показатели для расчета расчлененности.

Входные данные: Вектор трехмерных точек профиля.

Выходные данные: Накопленные значения по набору непрерывных фрагментов профиля для вычисления показателей расчлененности, а также количество отсчетов, по которым было выполнено накопление.

Действия: Точки входного вектора последовательно перебираются, и для каждой анализируется значение по координате глубины. В случае обнаружения значения «нет измерений», текущий непрерывный участок профиля завершается, и для него выполняются шаги 2.1–2.4. Далее точки входного вектора последовательно перебираются и игнорируются до обнаружения первой точки, у которой по координате «глубина» не будет значения «нет измерений». Эта точка становится началом нового непрерывного участка профиля; для нее и последующих точек входного вектора повторяются все описанные выше действия. Если после полного сканирования входного вектора разрывов профиля не обнаружено, то шаги 2.1–2.4 выполняются для всего вектора.

### 2.1. Перевод трехмерного профиля в двумерный

Обоснование: Все дальнейшие вычисления должны выполняться с двумерным профилем, у которого в качестве оси ординат выступает координата глубины трехмерного профиля. Ось абсцисс синтетическая, направлена вдоль исходного профиля в его горизонтальной плоскости, ее значения рассчитываются по широте и долготе точек исходного профиля как расстояние между соседними точками. Для общности вычислений началом отсчета оси абсцисс должна быть первая точка первого непрерывного фрагмента профиля вне зависимости от номера текущего обрабатываемого фрагмента. Таким образом, полученный двумерный профиль фактически будет проекцией исходного трехмерного профиля на вертикальную плоскость (рис. 1).

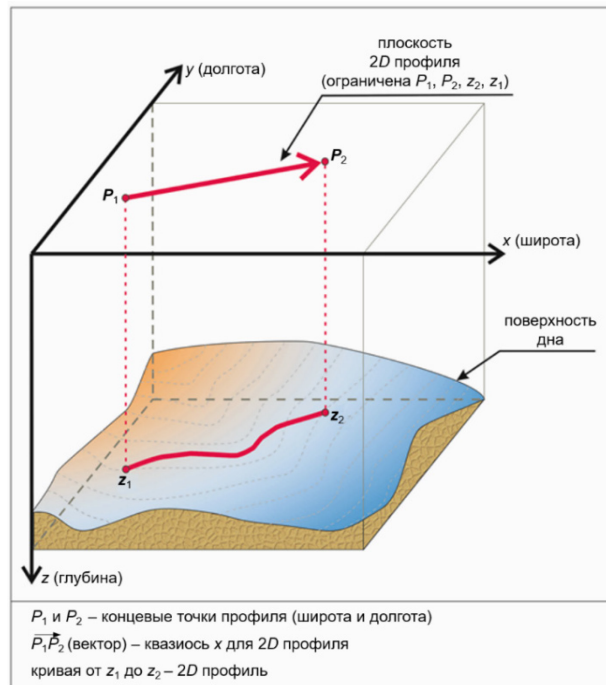


Рис. 1. Формирование двумерного профиля на основе трехмерных исходных данных

Входные данные:

- Вектор трехмерных точек профиля  $P3d$ .
- Первая точка первого непрерывного фрагмента профиля  $P3d_{start}$ .

Выходные данные: Вектор двумерных точек плоского профиля  $P2d$  такой же размерности, как и входной вектор.

Действия: Точки входного вектора ( $P3d_i$ ) последовательно перебираются и для каждой вычисляется двумерная точка ( $P2d_i$ ) по следующим правилам:

$$P2d_i.x = \sqrt{(P3d_i.x - P3d_{start}.x)^2 + (P3d_i.y - P3d_{start}.y)^2},$$

$$P2d_i.y = P3d_i.z.$$
(2)

Каждая полученная двумерная точка добавляется в конец выходного вектора.

## 2.2. Выполнение алгоритма сглаживания

Обоснование: Полученный на предыдущем шаге двумерный профиль может быть сильно зашумлен, что существенно влияет на конечный результат по показателям расчлененности. Причиной зашумления могут быть как методология, так и качество (погрешность) измерений, в результате которых была получена исходная цифровая модель рельефа дна. Для нивелирования влияния шумов на результат можно применить сглаживание двумерного профиля перед использованием его для поиска показателей расчлененности.

В текущей реализации применяется метод скользящего среднего с возможностью параметрирования размера окна осреднения и количества проходов сглаживания

Входные данные:

- Вектор двумерных точек плоского профиля.
- Размер окна осреднения  $N$  точек (должно быть нечетным).
- Количество итераций сглаживания  $S$ .

Выходные данные: Вектор двумерных точек плоского профиля на  $(N - 1)$  меньшей размерности, чем входной вектор.

Условия выполнения: Размер входного вектора больше  $N$ . В случае невыполнения условия все оставшиеся шаги пункта 2 не выполняются, и профиль не участвует в формировании конечного результата расчлененности.

Действия: Для окна осреднения определяется количество точек слева (или справа) от его центральной точки как  $N_w = \text{integer}(N/2)$ . Для вычислений вводится пара промежуточных векторов  $V_1$  и  $V_2$  такой же размерности, как и входной вектор, и вектор  $V_1$  сразу инициализируется входным вектором.  $V_2$  инициализируется заполнением первых и последних  $N_w$  своих точек значениями из входного вектора. Для каждой итерации сглаживания точки вектора  $V_1$  начиная с позиции  $i = (N_w + 1)$  последовательно перебираются, и для каждой вычисляется осредненная точка ( $V_2[i]$ ) по следующим правилам:

$$V_2[i].x = V_1[i].x, \quad V_2[i].y = \frac{\sum_{j=i-N_w}^{i+N_w} V_1[j].y}{N}.$$
(3)

Перебор вектора  $V_1$  завершается, когда в нем будет достигнута позиция  $N_w$  с конца. Далее вектора  $V_1$  и  $V_2$  обмениваются значениями, и производится следующая итерация сглаживания. По достижении выполнения заданного числа итераций сглаживания  $S$  результат находится в векторе  $V_1$ . Из этого вектора удаляются  $N_w$  первых и последних точек, и полученный вектор возвращается как результат выполнения шага 2.2.

### 2.3. Построение нормализованной кривой

Обоснование: Для расчета показателей расчлененности используется нормализованная кривая, которая строится по точкам перегиба исходного (сглаженного) профиля. Для поиска точек перегиба необходимо сначала построить кривую второй производной, затем найти ее корни (координаты абсцисс), а потом определить на исходном профиле значения ординат для этих значений абсцисс.

Входные данные: Вектор двумерных точек плоского профиля. Доступен для всех промежуточных шагов пункта 2.3.

Выходные данные: Вектор двумерных точек нормализованной кривой.

#### 2.3.1. Поиск второй производной по двумерному профилю

Обоснование: Поиск точек второй производной выполняется с помощью алгоритма Ланшоца. Используется реализация алгоритма из внешней библиотеки *boost.math*, которая позволяет указать для результата необходимую степень производной. Данная реализация предполагает, что все точки дифференцируемой кривой имеют между соседними одинаковые расстояния по оси абсцисс (что подходит под наши условия), поэтому на вход принимает одномерный вектор значений ординат и скалярное значение расстояния между соседними точками. Результат (набор точек второй производной) также предоставляется в виде одномерного вектора значений ординат.

Входные данные:

- Вектор двумерных точек плоского профиля.
- Параметры алгоритма Ланшоца – длина фильтра  $N_F$  и порядок аппроксимации  $N_A$ .

Выходные данные: Вектор двумерных точек второй производной входного профиля.

Условия выполнения: Размер  $N$  входного вектора больше 2, а также удовлетворяет условиям для параметров алгоритма Ланшоца ( $N \geq N_F$  и  $N \geq 2 * N_A$ ). В случае невыполнения условия все оставшиеся шаги пунктов 2.3.1 – 2.4 не выполняются, и профиль не участвует в формировании конечного результата расчлененности.

Действия: На основе входного вектора двумерных точек строится вектор только со значениями ординат. Вычисляется расстояние по оси абсцисс между соседними точками. Выполняется алгоритм Ланшоца из библиотеки *boost.math*. Полученный в результате вектор ординат точек второй производной преобразуется в выходной вектор двумерных точек.

#### 2.3.2. Поиск корней второй производной и определение точек перегиба

Обоснование: в дальнейших вычислениях предполагаем, что для построения исходного профиля и кривой второй производной по полученным ранее точкам достаточно кусочно-линейной аппроксимации. Таким образом, для поиска корней второй производной достаточно найти пары соседних точек со значениями ординат, различающимися по знаку, либо нулевыми. Для каждой такой пары точек



определяется координата абсциссы, для которой ордината будет нулевой. Далее по полученной координате абсциссы на исходном профиле определяется значение ординаты.

Входные данные:

- Вектор двумерных точек плоского профиля  $P$ .
- Вектор двумерных точек второй производной входного профиля  $R$ .

Выходные данные: Вектор двумерных точек нормализованной кривой  $Q$ .

Действия: Вектор точек второй производной  $R$  сканируется и определяются пары соседних точек, для которых выполняется условие  $(R_i \cdot y \leq 0 \text{ AND } R_{i+1} \cdot y \geq 0) \text{ OR } (R_i \cdot y \geq 0 \text{ AND } R_{i+1} \cdot y \leq 0)$ . Для каждой такой пары определяется точка пересечения оси абсцисс:

$$X = (R_{i+1} \cdot y * R_i \cdot x - R_{i+1} \cdot x * R_i \cdot y) / (R_{i+1} \cdot y * R_i \cdot y) . \quad (4)$$

Для каждого такого  $X$  определяется точка (ордината) на исходном профиле  $P$ :

$$Y = (X - P_i \cdot x) * (P_{i+1} \cdot y - P_i \cdot y) / (P_{i+1} \cdot x - P_i \cdot x) + P_i \cdot y . \quad (5)$$

Каждая найденная точка перегиба (пара  $(X, Y)$ ) заносится в выходной вектор точек нормализованной кривой  $Q$ .

2.4. *Определение показателей для расчета расчлененностей по нормализованной кривой и кривой профиля.*

Обоснование: Для вычисления вертикальной расчлененности необходимо определить наибольшее расстояние между точками исходного (сглаженного) профиля и нормализованной кривой – отдельно на каждом участке между соседними точками нормализованной кривой. Под наибольшим расстоянием понимается расстояние по оси ординат между парой точек двух кривых, имеющих одинаковое значение по оси абсцисс. Далее накапливается квадрат наибольших расстояний. Для вычисления горизонтальной расчлененности необходимо накапливать квадрат расстояний по оси абсцисс между двумя соседними точками нормализованной кривой (рис. 2).

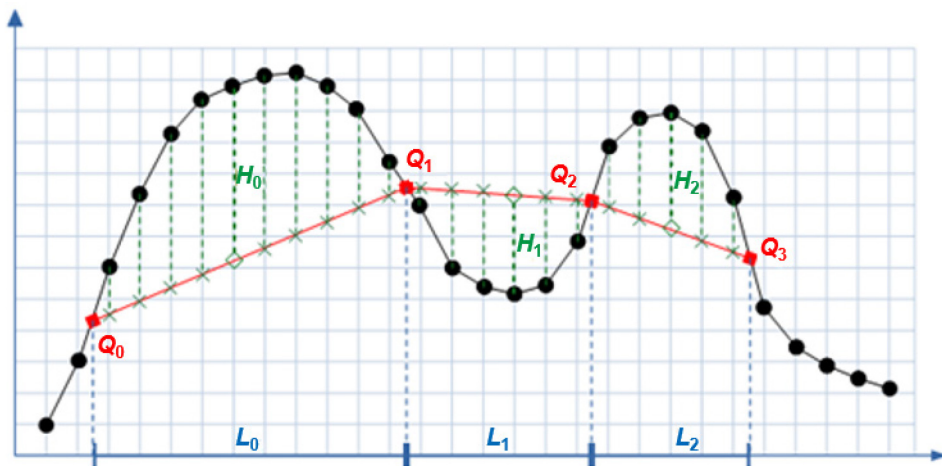


Рис. 2. Вычисление вертикальной и горизонтальной расчлененности с использованием нормализованной кривой

Координаты абсцисс точек, по которым построена нормализованная кривая, не обязательно будут совпадать с координатами имеющихся точек исходного профиля. Также первая точка нормализованной кривой будет иметь большую координату по оси абсцисс, чем первая точка исходного профиля. Из этого следует, что все вычисления нужно проводить на основе сканирования по точкам исходного профиля. Сначала нужно определить первую точку профиля, которая попадет внутрь интервала, ограниченного первой парой точек нормализованной кривой. Далее сканирование нужно проводить по интервалам между парами соседних точек нормализованной кривой и внутри такого интервала продолжать сканирование по точкам исходного профиля – для каждой с помощью линейной интерполяции определять точку на нормализованной кривой с таким же значением по оси абсцисс и для пары этих точек определять расстояние по оси ординат. В результате сканирования по точкам исходного профиля в пределах интервала пары точек нормализованной кривой определять наибольшее расстояние между кривыми по оси ординат. В конце каждого такого интервала фиксировать полученную разность высот, вычислять расстояние между двумя соседними точками на нормализованной кривой и накапливать полученные значения.

Входные данные:

- Вектор двухмерных точек плоского профиля  $P$ .
- Вектор двухмерных точек нормализованной кривой  $Q$ .

Выходные данные: Значения для накопления для окончательного расчета расчлененности (сумма квадратов наибольших расстояний между кривыми, сумма квадратов расстояний между точками перегиба, количество накопленных значений, наибольшее расстояние между кривыми, наибольшее расстояние между точками перегиба)

Условия выполнения: Размер входного вектора нормализованной кривой не меньше 2.

Действия: Вектор точек плоского профиля сканируется ( $i$  счетчик цикла) и определяется точка, для которой выполняется условие  $(P_i \cdot x \geq Q_0 \cdot x)$ , где  $P_i$  – точки исходного профиля,  $Q_j$  – точки нормализованной кривой. Далее сканируется вектор точек нормализованной кривой ( $j$  счетчик цикла), и для каждой пары соседних его точек продолжается сканирование вектора точек плоского профиля (продолжается  $i$  счетчик цикла), при этом вычисляются следующие значения:

$$h = |(Q_{j+1} \cdot y - Q_j \cdot y) / (Q_{j+1} \cdot x - Q_j \cdot x) * (P_i \cdot x - Q_j \cdot x) + Q_j \cdot y - P_i \cdot y|, \quad (6)$$

где  $h$  – модуль разницы высот нормализованной кривой и кривой профиля;

$$H_j = \max(H_j, h), \quad (7)$$

где  $H_j$  – максимальная разность высот в пределах пары соседних точек перегиба;

$$L_j = (Q_{j+1} \cdot x - Q_j \cdot x), \quad (8)$$

где  $L_j$  – расстояние по оси абсцисс между парой соседних точек перегиба.

В конце каждой итерации по точкам нормализованной кривой вычисляется:

$$H_{\max} = \max(H_{\max}, H_j), \quad (9)$$

где  $H_{\max}$  – максимальная разница высот по всем отсканированным участкам;

$$L_{\max} = \max(L_{\max}, L_j), \quad (10)$$

где  $L_{\max}$  – максимальное расстояние по оси абсцисс между соседними точками перегиба по всем отсканированным участкам;

$$DH = DH + H_j^2, \quad (11)$$

где  $DH$  – накопление квадрата разницы высот;

$$DL = DL + L_j^2, \quad (12)$$

где  $DL$  – накопление квадрата расстояний по оси абсцисс между соседними точками перегиба.

По завершении всех итераций в  $H_{\max}$ ,  $L_{\max}$ ,  $DH$  и  $DL$  будут содержаться выходные значения. Количество накопленных значений – число итераций цикла  $j$ .

### 3. Вычисление финальных значений

Обоснование: со значениями, полученными для каждого фрагмента непрерывного профиля, необходимо провести финальные вычисления: для сумм квадратов — просуммировать, для количества просуммированных отсчетов – также просуммировать, для максимальных значений – найти среди них максимальное. И окончательно вычислить расчлененности – суммы квадратов поделить на количество отсчетов и взять корень квадратный.

Входные данные: Значения для накопления для окончательного расчета расчлененности (сумма квадратов наибольших расстояний между кривыми, сумма квадратов расстояний между точками перегиба, количество накопленных значений, наибольшее расстояние между кривыми, наибольшее расстояние между точками перегиба).

Выходные данные: Показатели вертикальной и горизонтальной расчлененности, а также наибольшее расстояние между кривыми и наибольшее расстояние между точками перегиба.

Действия: Для получения результатов вычислений по каждому непрерывному профилю ( $k$  счетчик цикла) рассчитать:

$H_{\max} = \max(H_{\max}, H_{\max_k})$  – максимальная разница высот по всем непрерывным участкам профиля;

$L_{\max} = \max(L_{\max}, L_{\max_k})$  – максимальное расстояние по оси абсцисс между соседними точками перегиба по всем непрерывным участкам профиля;

$DH = DH + DH_k$  – накопление квадрата разницы высот;

$DL = DL + DL_k$  – накопление квадрата расстояний по оси абсцисс между соседними точками перегиба;

$N = N + N_k$  – количество накопленных отсчетов для сумм квадратов.

По завершении обработки всех непрерывных участков профиля вычислить:

$R_h = \sqrt{DH / N}$  – вертикальная расчлененность,

$R_l = \sqrt{DL / N}$  – горизонтальная расчлененность.

По завершении выходные значения будут содержаться в  $R_h$ ,  $R_l$ ,  $H_{max}$  и  $L_{max}$  соответственно.

*Поиск расчлененности по единичному профилю*

Входные данные: Координаты (широта и долгота) конечных точек профиля.

Выходные данные: показатели вертикальной и горизонтальной расчлененности, а также наибольшее расстояние между кривыми и наибольшее расстояние между точками перегиба.

Условия выполнения: Координаты конечных точек профиля находятся в пределах исходной цифровой модели рельефа дна. В противном случае настоящая реализация не выполняет построение профиля только в пределах имеющейся цифровой модели рельефа дна, а прекращает работу с выдачей ошибки о некорректных исходных данных.

Действия: Для получения интересующего результата вызывается на выполнение базовая общая реализация математического аппарата поиска расчлененности по единичному профилю с передачей ей координат конечных точек профиля. Полученные значения расчлененностей и максимальных отклонений выводятся в интерфейс *QGIS* в виде всплывающего сообщения, а также помещаются отдельной записью в окно журнала сообщений.

*Поиск расчлененности по площади*

Описание: для поиска расчлененности по площади используется метод скользящего окна. Суть метода такова:

- выбирается небольшая квадратная область (окно), которая вырезается из исходной области для поиска расчлененности по площади (далее – исходный регион). Размер окна конфигурируется [4].

- изначально окно совмещается с северо-западным углом исходного региона и далее пошагово смещается сначала только по широте на восток на некий задаваемый оператором интервал (шаг окна). По достижении западным краем окна восточной границы исходного региона, окно возвращается к западной границе и смещается на шаг окна на юг, после чего повторяются пошаговые смещения по широте на восток. Смещения окна прекращаются, когда северная граница окна достигнет южного края исходного региона.

- на каждом шаге выполняются следующие вычисления:

1. В пределах области окна строятся четыре профиля, проходящие через центр окна – горизонтальный, вертикальный и два диагональных (рис. 3).



Рис. 3. Пример построения четырех профилей в окне 25x25 км на исходном растровом слое

2. Для каждого из профилей вычисляются показатели расчлененности с использованием базовой общей реализации математического аппарата поиска расчлененности по единичному профилю.

3. Для окна из четырех показателей каждого типа (по четырем профилям) выбирается по одному по следующим правилам:

- вертикальная расчлененность – наибольшее значение из четырех;
- горизонтальная расчлененность – значение от того профиля, у которого наибольшая вертикальная расчлененность;
- максимальное отклонение по вертикали – наибольшее значение из четырех.

4. Значения расчлененностей и максимальных отклонений, вычисленные на каждом шаге, помещаются каждое в собственный выходной растр по координатам широты и долготы северо-западного угла соответствующего окна.

5. Опционально вычисляются значения для дополнительного выходного растра по следующим правилам:

$$H_{\max\_avg_i} = H_{\max_i} / H_{avg_i} * 100, \quad (13)$$

где  $H_{\max_i}$  – элемент растра максимального отклонения по вертикали  $H_{\max}$ ,  $H_{avg_i}$  – средняя глубина (по модулю), полученная для соответствующего окна исходного региона.

Значения вычисляются, только если в конфигурационной информации указан ненулевой процент максимальных элементов растра  $H_{\max}$ , для которых нужно

выполнять дополнительный расчет. Значения вычисляются только для указанного количества максимальных элементов слоя  $H_{\max}$ .

Входные данные:

- Параметры скользящего окна (размер и шаг).
- Процент максимальных элементов раstra максимального отклонения по вертикали (опционально).
- Координаты (широта и долгота) двух противоположащих углов исходного региона для поиска расчлененности по площади только в данной области (опционально).

Выходные данные: растры для вертикальной и горизонтальной расчлененности, а также наибольших вертикальных отклонений. Опционально растр для процентных отношений максимальных отклонений по глубине к средней глубине в данном районе.

Условия выполнения: Если заданы координаты двух противоположащих углов исходного региона, то прямоугольная область, построенная на их основе, должна как минимум пересекаться с областью исходного раstra цифровой модели рельефа дна. В противном случае работа прекращается с выдачей ошибки о некорректных исходных данных – исходный регион вне раstra.

Действия: выполняется определение исходного региона для вычисления расчлененности по площади – если заданы координаты углов, то для рабочей области используется пересечение исходно заданной области и исходного раstra; в противном случае используется весь исходный растр. Для получения интересующего результата выполняются действия по вышеописанному алгоритму скользящего окна с передачей ему координат противоположащих углов рабочей области. Полученные растры расчлененностей, максимальных отклонений и процентных отношений максимальных отклонений по глубине к средней глубине в данном районе выводятся в интерфейс *QGIS* в виде отдельных слоев.

## Выводы

Предлагаемый математический аппарат и разработанный на его основе плагин «Расчлененность» реализует следующие возможности:

1. Построение батиметрического профиля между произвольными точками *A* и *B* по координатам этих точек.
2. Сглаживание построенного профиля методом скользящего среднего с разными параметрами осреднения.
3. Определение вертикальной и горизонтальной расчлененности данного профиля на любой стадии осреднения или без оногo.
4. Определение вертикальной и горизонтальной расчлененности по профилю не только как среднеквадратических параметров, но и в виде максимальных значений.
5. «Выделение» любого прямоугольного участка по координатам углов из ЦМРД.
6. Определение вертикальной и горизонтальной расчлененности в площадном варианте не только как среднеквадратических параметров, но и в виде максимальных значений скользящим окном с возможностью изменения размера и шага окна, а также параметров осреднения профилей внутри окна.

Таким образом, плагин «Расчлененность» расширяет возможности автоматизации расчета геоморфологических параметров в ГИС и может быть использован в практике навигационно-гидрографического обеспечения морской деятельности для решения широкого спектра информационно-расчетных задач.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Никифоров С. Л., Кошель С. М., Либина Н. В. Цифровая модель рельефа дна Белого и Баренцева морей // Геоинформатика. – 2018. – № 2. – С. 32–36.
2. Бежаев А. Ю., Марчук А.Г. Метод создания цифровых массивов глубин океана на регулярных сетках. Труды Международной конференции «Математические методы в геофизике». ММГ2003, Новосибирск 2003., ИВМиМГ (ВЦ) СО РАН, г. Новосибирск, 2003, ч. 2, с. 561–567.
3. Костенич А. В., Веселов А. А., Бахмутов В. Ю. Цифровые модели рельефа морского дна коррекционных полигонов для подводной навигации по рельефу // Навигация и гидрография. – 2019. – № 56. – С. 26–32
4. Каврайский А. В., А. В. Костенич. Определение численных характеристик расчлененности морского дна для морских акваторий и их картографическое представление в геоинформационных системах // Навигация и гидрография. – 2023. – № 56. – С. 26–32.
5. Волков Н. М. Принципы и методы картометрии. – М. – Л.: Изд. АН СССР, 1950. – 328 с.
6. Lepley L. K. Ocean terrain analysis //The International Hydrographic Review – 1966. – Vol. XLIII. – No 1. – Pp. 97–114.
7. Митяев М. В. Хасанкаев В. Б. Вертикальная расчлененность рельефа центральной части Баренцевоморского шельфа // Арктика и Антарктика. – 2007. – Вып. 5(39). – С. 66–71.
8. Авдеев А. И., Белокопытов В. Н. Морфометрические характеристики и расчлененность рельефа дна северной части Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2011. – № 4. – С. 43–63.
9. Никифоров С. Л., Кошель С. М., Сорохтин Н. О., Козлов Н. Е. Цифровые модели рельефа дна и некоторые возможности их морфометрического анализа // Вестник МГТУ. – 2015. – Том 18. – № 2. – С. 287–294.
10. Сорокин А. И. Теоретические основы гидрографических исследований. ГУНиО МО, адм. № 9020, 1972. – 196 с.
11. Сайт проекта QGIS. URL: <https://qgis.org/ru/site> (дата обращения 23.01.2024).
12. Сайт документации проекта QT. URL: <https://doc.qt.io> (дата обращения 25.01.2024).
13. Сайт документации математических инструментов библиотеки Boost. URL: [https://www.boost.org/doc/libs/1\\_83\\_0/libs/math/doc/html/index.html](https://www.boost.org/doc/libs/1_83_0/libs/math/doc/html/index.html) (дата обращения 25.01.2024).
14. Сайт интегрированной среды разработки Qt Creator. URL: <https://www.qt.io> (дата обращения 25.01.2024).
15. Сайт платформы для сборки приложений MSBuild. URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/visualstudio/msbuild/msbuild?view=vs-2022> (дата обращения 25.01.2024).

***THE DISSECTION OF THE SEABED RELIEF AND THE QGIS PLUGIN FOR ITS DEFINITION***

**A. V. Kostenich, I. K. Mikhal, V. Yu. Bakhmutov, A. A. Veselov, E. A. Gordeeva** (GNINGI JSC), **D. A. Kostenich** (Sistemaservice JSC)

*The article discusses one of the methods for determining the horizontal and vertical dissection of the seabed relief and describes the algorithm for calculating them using a plug-in for the QGIS geoinformation system.*

---

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

---

УДК 681.883.44:681.883 26/28

## **ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГО-АКУСТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЮГО-ЗАПАДНОЙ АКВАТОРИИ КАРСКОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ ПОВЕРХНОСТНОГО ОПРЕСНЕННОГО СЛОЯ**

**Н. Н. ЖИЛЬЦОВ** (АО «ГНИНГИ»)  
**А. В. ЕРЫШЕВ, В. Н. ЛОБАНОВ** (ВУНЦ ВМФ «ВМА»)

*В статье рассматривается влияние речных плумов с распресненной поверхностной водной массой Карского моря на условия распространения звука. Получены количественные оценки степени влияния на условия распространения звука в пределах поверхностного опресненного слоя в Карском море таких реальных параметрах мелкого моря как его глубина, тип донного грунта, типа вертикального распределения скорости звука и значения солености. Проведено численное моделирование величины аномалии распространения звука на разных расстояниях от источника звука для различных величин, указанных выше параметров.*

В настоящее время Карское море является одной из акваторий, наиболее активно изучаемых как отечественными, так и зарубежными исследователями. В связи ежегодным отступлением морского ледяного покрова становится более продолжительным период летней навигации, что увеличивает привлекательность Карского моря для добычи энергетических и минеральных ресурсов, морского судоходства и боевого использования кораблей ВМФ РФ.

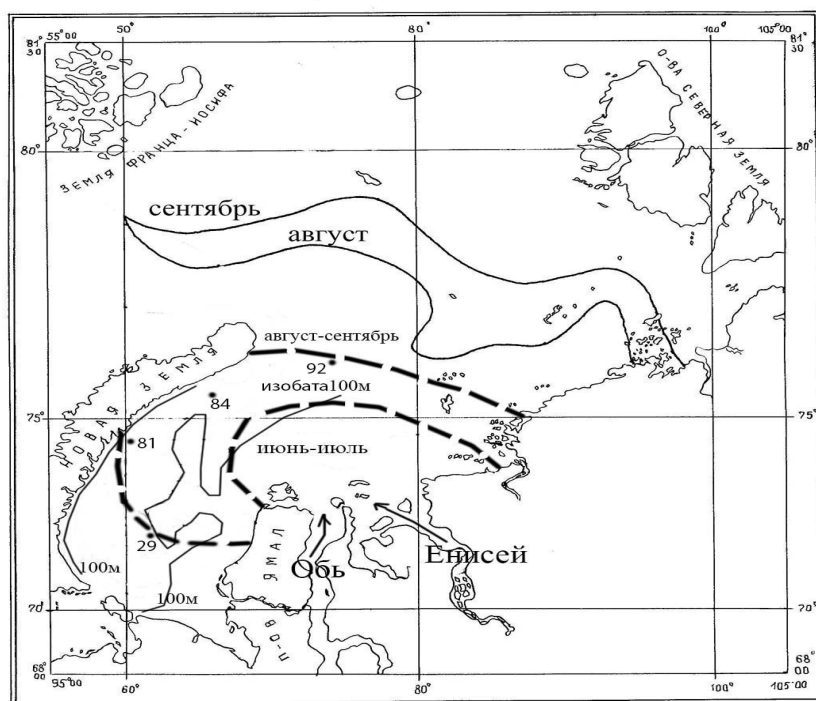
Актуальной задачей является изучение гидролого-акустического режима Карского моря в интересах ВМФ, в связи с чем в данной работе будет рассмотрено влияние речного плюма на условия распространения звука.

Две крупнейшие реки Сибири – Обь и Енисей впадают в Карское море. Объёмы стока этих рек так велики, что их влияние распространяется до северной оконечности Новой Земли. Под действием опресненных речных стоков образуется малоизученное явление речного плюма. Плюм – это мезомасштабные линзы поверхностных вод с пониженной соленостью (10–20 ‰) и плотностью по сравнению с окружающим морем. Они растекаются по поверхности Карского моря слоем толщиной 10–20 м на расстояние в десятки и сотни километров от устья рек Обь и Енисей [1–5]. В зимний период года (ноябрь – май), когда Карское море покрыто льдом, плюм не образуется.

На рис. 1 показаны примерные области распространения (пунктирные линии) поверхностного распресненного слоя (плюма) в Карском море в месяцах: июне – июле и июле – августе [6]. На рис. 1 также нанесены номера четырех глубоководных гидрологических станций с глубиной более 100 м в области плюма, на которых проводились замеры температуры воды, солености и глубины на стандартных горизонтах, выполненных научно исследовательским ледоколом «Отто Шмидт» в

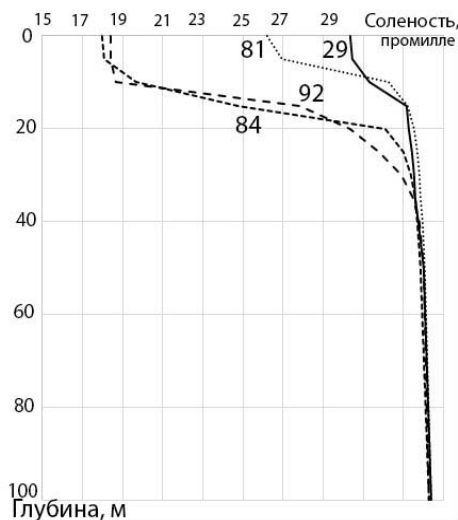


21 рейсе с 02.09. по 18.09.1985 г., а также показана изобата 100 м. На основании полученных данных рассчитывались значения скорости звука на этих же горизонтах.



**Рис. 1. Схема областей распространения (пунктирные линии) поверхностного распресненного слоя (плюма) в Карском море в месяцах: июне – июле и июле – августе. Сплошные линии – средние многолетние границы распространения плавучего льда в месяцах – августе и сентябре; 29, 81, 84, 92 – номера глубоководных гидрологических станций (номер ВРСЗ)**

По этим же материалам гидрологической съемки на рис. 2. приведены графики измеренных вертикальных профилей солености в слое моря 0–100 м на гидрологических станциях 29, 81, 84 и 92, показанных на рис. 1.



**Рис. 2. Профили солености, измеренные на гидрологических станциях в слое моря 0–100 м в сентябре 1985 г. в акватории Карского моря. 29, 81, 84, 92 – номера профилей солености**

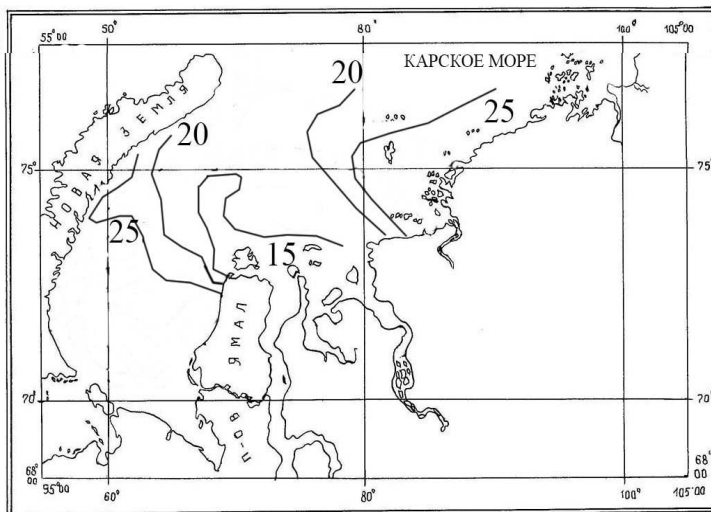
Данные по этим гидрологическим станциям приведены в таблице.

**Результаты замеров параметров водных масс на гидрологических станциях в акватории Карского моря**

Параметр	Сильно распресненные водные массы		Слабо распресненные водные массы	
	Номер гидрологической станции			
	84	92	29	81
Глубина дна, м	300	100	100	300
Соленость на глубине 0 м, ‰	17,2	18,4	30,4	26,2
Скорость звука на глубине 0 м, м/с	1439,9	1439,5	1460,2	1453,6
Перепад скорости звука (м/с) в слое 0–50 м	0,8	2,2	17,3	11,3
Перепад скорости звука (м/с) в слое 50–100 м	2,6	1,7	0,1	2,1
Температура на глубине 0 м, град.	3,0	2,8	3,9	3,7

Из таблицы видно, что на гидрологических станциях №№ 84 и 92 четко выявляется явление речного плюма с распресненной водой в поверхностном водном слое, а на гидрологических станциях №№ 29 и 81 это явление отсутствует из-за большого удаления от речного стока рек.

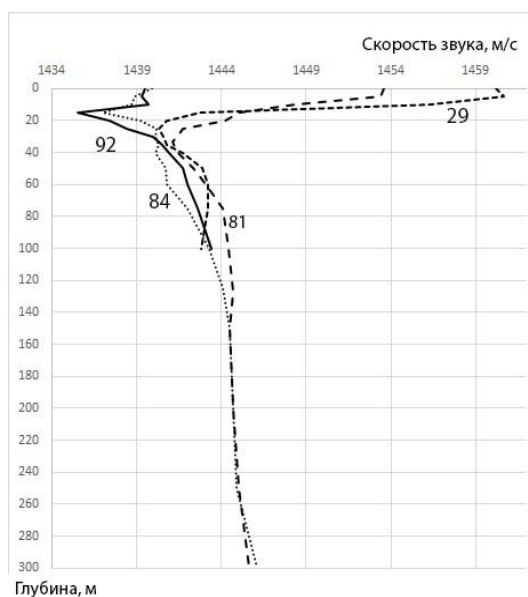
На рис. 3. нанесены области с различной соленостью на всей акватории Карского моря, где проводилась гидрологическая съемка научно-исследовательским ледоколом (НИЛ) «Отто Шмидт» в 21 рейсе. Фронтальной границей служит изолиния солености 25 ‰ [7].



**Рис. 3. Соленость морской воды на акватории Карского моря по материалам гидрологической съемки, выполненной на НИЛ «Отто Шмидт» в 21 рейсе с 02.09. по 18.09.1985 г. Сплошные линии – изогалины (линии равной солености). 15, 20, 25 – значения солености в промилле, ‰**

На рис. 4. приведены графики профилей вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ), рассчитанные по гидрофизическим параметрам морской среды на стандартных горизонтах, измеренные на характерных гидрологических станциях №№ 29, 81, 84 и 92 в сентябре 1985 г. в акватории Карского моря.

Все ВРСЗ в основном относятся к III или VI типам с осью подводного звукового канала (ПЗК) на глубинах 20–40 м.



**Рис. 4. Профили ВРСЗ, измеренные на гидрологических станциях в акватории Карского моря в сентябре 1985 г. 29, 81, 84, 92 – номера ВРСЗ**

Для получения количественной оценки степени влияния на условия распространения звука в условиях поверхностного опресненного слоя в Карском море таких реальных параметров мелкого моря, как глубина моря, тип грунта, типа ВРСЗ, значения солености в поверхностном водном слое, проведено численное моделирование величины аномалии распространения звука (АРЗ) на разных расстояниях от источника звука. Расчет акустического поля и, в частности АРЗ, выполнялся по программе, составленной на основе метода лучевой акустики для плоскопараллельной модели морской среды.

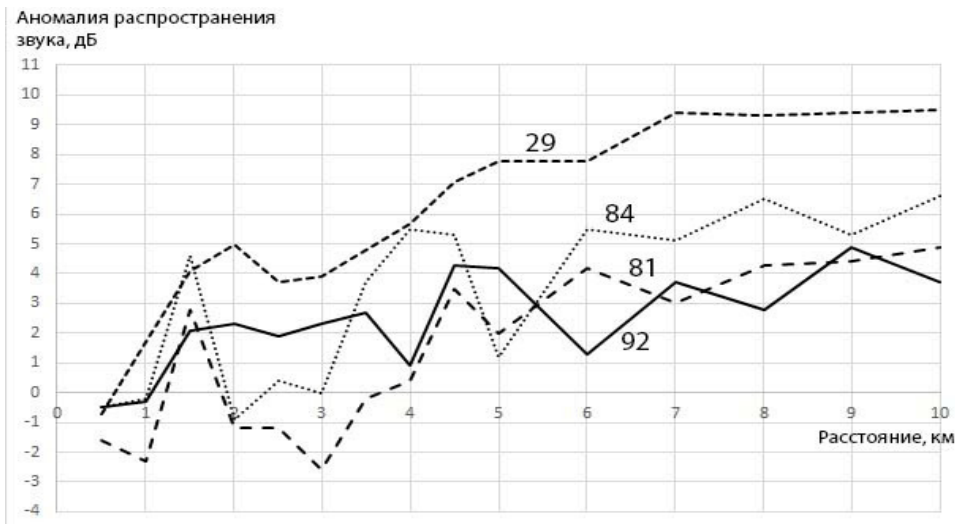
Для моделирования приняты следующие исходные данные: частота – 3 кГц, предельное расстояние расчета АРЗ – 10 км, глубина моря – 100 и 300 м, ВРСЗ №№ 84 и 92 – с сильно опресненным поверхностным слоем, № 81 – со слабым опресненным поверхностным слоем и № 29 – без опресненного поверхностного слоя (табл. 1). Моделирование производилось для двух типов донного грунта илистого песка – «жесткого» дна (ИП) и ила – «мягкого» дна (И) с соответствующими им коэффициентами отражения звука от дна в функции углов скольжения звуковых лучей у дна [8]. Глубины источника и приемника звука приняты равными:  $H_{пр} = 50$  м и  $H_{ист} = 60$  м. При расчетах АРЗ для простоты анализа результатов принята традиционная в гидроакустике плоско-параллельная модель морской среды.

Основные результаты моделирования приведены на рис. 5, 6, где показаны кривые изменения АРЗ с расстоянием в характерных зональных структурах акустического поля в море, рассчитанные для заданных четырех ВРСЗ, двух типов донного грунта и одной частоты, глубины источника звука – 60 м и глубины приёмника звука – 50 м.

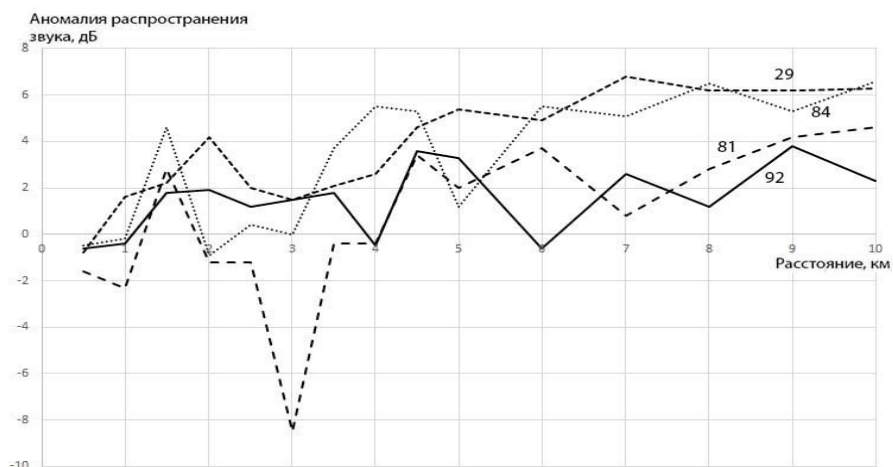
На рис. 5, 6 видно, что кривые изменения АРЗ с расстоянием имеют то положительные, то отрицательные значения. Если АРЗ возрастает с расстоянием, и величина ее больше единицы (в дБ имеет знак «+»), то наблюдаются наилучшие условия распространения звука (зоны акустической освещенности), а когда значения АРЗ в дБ имеет знак «-», то наблюдаются наихудшие условия распространения звука (зоны тени). Изменение АРЗ приводит к изменению расчетной дальности действия гидроакустических станций (ДД ГАС).

При  $H_{пр} = 50$  м и  $H_{ист} = 60$  м (рис. 5) и хорошо отражающем (жестком) грунте типа ИП кривые изменения АРЗ с расстоянием в основном имеют знак «+», т. е. наблюдаются наилучшие условия распространения звука. Максимальная ДД ГАС будет наблюдаться при ВРСЗ № 29 (отсутствует явление речного плюма) при глубине моря 100 м и типе грунта ИП; чуть меньше ДД ГАС будут наблюдаться в зоне речного плюма ВРСЗ № 84 и № 81 при глубинах моря 300 м и ВРСЗ № 92 – при глубине моря 100 м.

При  $H_{пр} = 50$  м и  $H_{ист} = 60$  м (рис. 6) и хорошо поглощающем (мягком) грунте типа И кривые изменения АРЗ с расстоянием в основном имеют знак «+», но по величине АРЗ уменьшаются по сравнению с аналогичными расчетами для грунта ИП (рис. 5), так как при каждом отражении звуковых лучей от дна, особенно с илистым грунтом, сигнал теряет по 8–10 дБ, и, соответственно, наблюдаются наихудшие условия распространения звука. Минимальные ДД ГАС будут наблюдаться при ВРСЗ №№ 92 и 81 при глубинах моря 100 и 300 м. Более высокие ДД ГАС будут наблюдаться при ВРСЗ № 84, при котором наблюдается явление речного плюма, при глубине моря 300 м.



**Рис. 5.** Кривые изменения аномалии распространения звука (АРЗ) с расстоянием: 29, 81, 84 и 92 – кривые ВРСЗ. Частота 3 кГц. Грунт – илистый песок. Глубина источника звука – 60 м, глубина приёмника звука – 50 м



**Рис. 6.** Кривые изменения аномалии распространения звука (АРЗ) с расстоянием: 29, 81, 84 и 92 – кривые ВРСЗ. Частота – 3 кГц. Грунт – ил. Глубина источника звука – 60 м, глубина приёмника звука – 50 м

### Выводы:

1. На акватории Карского моря в летне-весенний период года наблюдается явление речного плюма, которое оказывает влияния на условия распространения звука.
2. Наилучшие (или наихудшие) условия распространения звука в заданной акватории моря будут определяться реальными гидролого-акустическими условиями акватории мелкого моря, такими как глубина моря, тип донного грунта, тип ВРСЗ, значение солёности в поверхностном водном слое.
3. Значения ВРСЗ в акватории моря, где наблюдается явление речного плюма, заметно отличаются от ВРСЗ других акваторий Карского моря.

4. В сентябре 1985 г. на акватории Карского моря, когда наблюдалось явление речного плюма, при проведении гидроакустических расчетов выявлено, что наилучшие условия распространения звука для  $H_{пр} = 50$  м и  $H_{ист} = 60$  м наблюдаются при глубине моря 100 м, типе грунта – илистый песок (ИП) и кривой ВРСЗ типа № 29 с соленостью  $S=30,4$  ‰ в поверхностном водном слое (на границе выхода из зоны речного плюма). Величина АРЗ на расстоянии 10 км от источника звука равна + 9,5дБ (рис. 5). Положительный знак характеризует канальный эффект распространения звука в этом водном слое моря.

5. Наихудшие условия распространения звука для  $H_{пр} = 50$  м и  $H_{ист} = 60$  м наблюдаются при глубине моря 100 м, типе грунта – ил (И) и кривой ВРСЗ типа № 92 с соленостью  $S = 18,4$  ‰ в верхнем распресненном поверхностном водном слое акватории речного плюма. Величина АРЗ на расстоянии 10 км от источника звука равна + 2,3дБ (рис. 6).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Русанов В. П., Васильев А. Н. Распределение речных вод в Карском море по данным гидрохимических определений // Тр. ААНИИ. – 1976. – Т. 323. – С. 188–197.
2. Морецкий В. Н. Распределение и динамика опресненных вод Карского моря // Тр. ААНИИ. – 1985. – Т. 389. – С. 33–35
3. Зацепин А. Г., Кременецкий, Кубряков А. А. и др. Распространение и трансформация вод поверхностного опресненного слоя в Карском море. // Океанология. – 2015. – Т. 55. – № 4. – С. 502–513.
4. Зацепин А. Г., Завьялов П. О., Кременецкий В. В. и др. Поверхностный опресненный слой в Карском море // Океанология. – 2010. – Т. 50. – № 5. – С. 698–708.
5. Завьялов П. О., Ижицкий А. С., Осадчиев А. А., Пелевин В. В., Грабовский А. Б. Структура термохалинных и био-оптических полей на поверхности Карского моря в сентябре 2011 г. // Океанология, том 55 № 4. – 2015. – С. 1–12.
6. Новиков М. О., Ерёмкина Т. Р. Пространственная изменчивость гидрохимических характеристик Карского моря по результатам экспедиции 2019 года // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы VI Всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Москва, 18–24 апреля 2021 г. Москва: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2021, С. 350–351,
7. Дубинина Е. О., Коссова С. А., Мирошников А. Ю., Фяйзуллина Р. В. Изотопные ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ) параметры и источники опресненных вод Карского моря. // Океанология. – Т. 57. – №1. – 2017. – С. 38–48.
8. Абакумова Н. К., Галкин О. П. Угловая зависимость коэффициента отражения от дна для различных типов морских осадков // Вопросы судостроения. Акустика. – 1980. – № 14. – С. 90–100.

#### **PECULIARITIES OF THE HYDROLOGIC-ACOUSTIC REGIME OF THE SOUTHWESTERN WATER AREA OF THE KARA SEA UNDER THE CONDITIONS OF THE SURFACE DESALINIZED LAYER**

**N. N. Zhiltsov (GNINGI JSC), V. N. Lobanov, A. V. Eryshev (Naval Academy)**

*The paper considers the influence of river plumes with distributed surface water mass in the Kara Sea on sound propagation conditions. Quantitative estimates of the degree of influence of such real parameters of the shallow sea as sea depth, type of bottom soil, type of MRSW and salinity values on sound propagation conditions in the conditions of the surface desalinated layer in the Kara Sea are obtained. Numerical modeling of the sound propagation anomaly (SPA) at different distances from the sound source for different values of the above parameters was carried out.*

## **МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВОПРОСУ МОДИФИЦИРОВАНИЯ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ С ЦЕЛЬЮ ВЫЗЫВАНИЯ ОСАДКОВ**

**И. В. ГОНЧАРОВ, А. П. ДОРОНИН,  
Н. А. КОЗЛОВА, В. М. ПЕТРОЧЕНКО**  
(ВКА имени А. Ф. Можайского)

*Статья посвящена разработке методического подхода к вопросу о модифицировании конвективных облаков с целью вызывания осадков для решения широкого круга задач, включая тушение лесных пожаров. Предлагаемый подход состоит из двух этапов: прогнозирование пригодности конвективных облаков к модифицированию и оценивание пригодности их к воздействию.*

### **Введение**

В нашей стране ежегодно возникают десятки тысяч лесных пожаров [1], которые, как известно, относятся к одним из наиболее опасных природных явлений. Кроме экономического ущерба и прямых затрат на их тушение (а в России они составляют 10–20 млн. долларов в год [1]), лесные пожары приводят к возникновению и экологических проблем (выброс в атмосферу огромного количества продуктов сгорания, ухудшение экологической обстановки в мегаполисах (например, в 2010 г. в Москве) [2]).

Наряду с традиционными средствами тушения лесных пожаров (например, применение самолетов-амфибий типа Бе-200), все чаще предлагается использовать средства воздействия на конвективные облака с целью вызывания осадков [3, 4].

Использование средств модифицирования конвективных облаков с целью вызывания осадков должно планироваться и производиться на основе некоторой априорной информации, поставляемой метеорологической службой. На этапе долгосрочного планирования необходимы климатические характеристики конвективных облаков, пригодных к модифицированию. На этапе текущего планирования необходимо спрогнозировать их развитие и пригодность для модифицирования на текущий день. На этапе оперативного обеспечения необходимо оценить пригодность для модифицирования наблюдаемых конвективных облаков.

В настоящее время не существует подхода, удовлетворяющего всем этим требованиям. Поэтому актуальной является задача по его разработке.

В работе [5] на основе обработки результатов многочисленных натуральных экспериментов по воздействию на конвективные облака был получен критерий пригодности таких облаков к модифицированию с целью вызывания осадков, который включает в себя совокупность следующих количественных характеристик:

1. Вертикальная протяженность облаков – не менее 2 км.
2. Температура на верхней границе облаков – не выше минус 5 °С. (1)
3. Фазовое состояние вершины облаков – капельное или смешанное.

В этом случае количество осадков при воздействии на мощно-кучевые облака составляет 5 мм и более, что вполне достаточно для тушения лесного пожара.

С учетом приведенного выше критерия в работе представлены результаты исследований, касающиеся разработки методического подхода, включающего в себя прогнозирование и оценивание пригодности таких облаков к воздействию.

### **Прогнозирование пригодности конвективных облаков к модифицированию**

Прогноз развития конвективных облаков разрабатывается с учетом степени неустойчивости атмосферы с использованием стандартных методов, например, описанного в работе [6].

В нашем случае целесообразно использовать физико-статистический подход, в котором предикторами выступают результаты диагностики состояния атмосферы, доступные на момент прогнозирования, а предиктантом – собственно свойство облаков быть пригодными для модифицирования. Это качественное свойство классифицируется по двухбалльной шкале: «1» – «пригодны», «0» – «не пригодны» в соответствии с приведенным выше критерием пригодности.

С этой целью были привлечены данные самолетного зондирования атмосферы над Москвой за 12 лет (1953–1964 гг.) и данные утреннего радиозондирования атмосферы (карты барической топографии) за те же даты. Объем выборки составил 853 случая.

Известно, что существует связь между значениями метеорологических величин на изобарических поверхностях 850, 700, и 500 гПа в 03 часа утра и пригодностью к модифицированию конвективных облаков, развивающихся к 14–16 часам того же дня. В перечень предполагаемых предикторов вошли значения температуры воздуха и температуры точки росы в районе адвекции на указанных уровнях [7].

В зависимости от типа предикторов и предиктантов для исследования могут использоваться методы регрессионного, дискриминантного, дисперсионного анализов и анализа ранговых корреляций [8].

Поскольку в качестве предикторов рассматривались количественные характеристики, а в качестве предиктанта – качественные, то использовались методы дискриминантного анализа. При выборе дискриминантной функции были выбраны следующие виды функций [9]:

линейная –

$$Y=ax+b, \quad (2)$$

степенная –

$$Y=ax^2+bx+c, \quad (3)$$

комбинация линейной и периодической функций –

$$Y=ax+b+c\sin dx. \quad (4)$$

Для выявления наиболее значимых предикторов использовался метод группового учета аргументов [8]. На архивном материале были образованы обучающая и экзаменационная выборки в соотношении 2:1 (каждый номер



наблюдения, кратный трем, был отнесен к экзаменационной выборке). При отборе предикторов использовалась процедура их последовательного присоединения [8].

В результате была отобрана пара предикторов – температура воздуха на уровне 500 гПа ( $T_{500}$ ) и температура точки росы на уровне 850 гПа ( $Td_{850}$ ).

Оказалось, что линейная дискриминантная функция описывается формулой:

$$T_{500} = 0,89Td_{850} - 20,52. \quad (5)$$

Прогнозирование пригодности конвективных облаков к модифицированию с применением данной дискриминантной функции по экзаменационной выборке показало, что общая оправдываемость прогнозов  $U_{экз}$  составляет 0,71 (71 %).

Степенная дискриминантная функция описывается формулой:

$$T_{500} = 0,25Td_{850}^2 + 1,17Td_{850} - 33,07. \quad (6)$$

Общая оправдываемость прогнозов  $U_{экз}$  в этом случае составила 0,538 (53,8 %).

Дискриминантная функция, представляющая собой комбинацию линейной и периодической функции, описывается формулой:

$$T_{500} = 0,93Td_{850} - 16,96 + 0,1\sin 0,08Td_{850}. \quad (7)$$

Общая оправдываемость прогнозов  $U_{экз}$  в этом случае составила 0,643 (64,3 %).

Видно, что наилучшим качеством обладает линейная дискриминантная функция (5).

С целью оценивания качества предлагаемого подхода была проведена серия численных экспериментов по прогнозированию состояния атмосферы. В ней получены прогнозы развития пригодных к модифицированию конвективных облаков, оправдываемость которых проверялась на независимом материале. Для расчета характеристик оправдываемости прогнозов была составлена матрица сопряженности прогнозов, представленная в табл. 1.

**Таблица 1. Матрица сопряженности прогнозов**

Прогноз	Осуществилось		$\Sigma$
	П	$\overline{\text{П}}$	
П	48	22	70
$\overline{\text{П}}$	16	46	62
$\Sigma$	64	68	132

здесь П – конвективные облака, пригодные к модифицированию;

$\overline{\text{П}}$  – конвективные облака, не пригодные к модифицированию.

Для оценивания успешности прогнозов были рассчитаны следующие характеристики [9].

## 1. Общая оправдываемость прогнозов

$$U = \frac{n_{11} + n_{22}}{n_{00}} = 0,711. \quad (8)$$

## 2. Критерий Н. А. Багрова

$$H_B = \frac{U - U_0}{1 - U_0} = 0,373, \quad (9)$$

где  $U_0 = \frac{n_{01}n_{10} + n_{02}n_{20}}{n_{00}n_{00}}$  – повторяемость оправдавшихся случайных прогнозов при условии, что число таких прогнозов с формулировкой П равно  $n_{10}$ , а с формулировкой  $\bar{П}$  равно  $n_{20}$ .

## 3. Критерий А. М. Обухова

$$Q = \frac{U - U_0'}{1 - U_0'} = 0,348, \quad (10)$$

где  $U_0' = \frac{n_{01}n_{01} + n_{02}n_{02}}{n_{00}n_{00}}$  – повторяемость оправдавшихся случайных прогнозов при условии, что число таких прогнозов с формулировкой П равно  $n_{01}$ , а с формулировкой  $\bar{П}$  равно  $n_{02}$ .

Так, общая оправдываемость прогнозов составила 71,1 %.

Таким образом, исходя из результатов сравнения прогностических выводов, полученных с помощью предлагаемого подхода, с имеющимися данными самолетного зондирования, можно сделать вывод о достаточной степени его адекватности.

### Оценивание пригодности конвективных облаков к модифицированию

Непосредственно перед началом работ по модифицированию (до вылета самолета, проводящего воздействие на облака) органу управления необходимо иметь фактические оценки пригодности конвективных облаков к модифицированию с целью вызывания осадков. Для получения таких оценок исходными данными являются их температурные, геометрические и фазовые характеристики (см. Введение). Непосредственное определение таких характеристик облаков возможно лишь путем проведения самолетного зондирования с помощью самолетов-лабораторий. Оно должно выполняться непосредственно перед проведением работ по модифицированию конвективных облаков. В то же время решение многих практических задач осуществляется в условиях, когда выполнение самолетного зондирования оказывается невозможным, либо когда в распоряжении метеорологов таких самолетов-лабораторий нет.

В частности, при модифицировании конвективных облаков возможность самолетного зондирования в оперативных целях часто исключена (например, при расположении района проведения работ вне зоны действия приводных РЛС). Кроме того, самолетное зондирование является и недостаточно оперативным средством, существенно зависящим от метеословий. При этом преднамеренный вход в мощно-кучевые и кучево-дождевые облака запрещен руководящими документами. В случаях

частого проведения операций по модифицированию, самолетное зондирование значительно повысит их стоимость.

Поэтому авторами статьи разработан методический подход к оцениванию пригодности конвективных облаков к модифицированию по данным наземных, аэрологических и радиолокационных наблюдений. С этой целью оценивание пригодности конвективных облаков к модифицированию осуществлялось по косвенным признакам, не входящим в критерий пригодности.

В предварительный перечень предикторов вошли высота нижней границы облаков  $H_{НГО}$ , толщина облаков  $\Delta H$ , температура у земли  $T_3$  и высота уровня интенсивной кристаллизации ( $-10\text{ }^\circ\text{C}$  изотермы)  $H_{t(-10\text{ }^\circ\text{C})}$ .

При выборе дискриминантной функции были выбраны следующие: линейная вида (2), степенная вида (3), комбинация линейной и периодической функции вида (4).

В результате отбора предикторов была отобрана пара  $T_3$  и  $H_{НГО}$ .

Линейная дискриминантная функция описывается формулой:

$$H_{НГО} = 0,89T_3 - 20,52. \quad (11)$$

Оценивание пригодности конвективных облаков к модифицированию с применением данной дискриминантной функции по экзаменационной выборке показало, что общая достоверность оценок  $U_{экз}$  составляет 0,501.

Степенная дискриминантная функция описывается формулой:

$$H_{НГО} = 0,0015T_3^2 + 0,05 T_3 + 0,73. \quad (12)$$

Общая достоверность оценок  $U_{экз}$  в этом случае составила 0,594.

Дискриминантная функция, представляющая собой комбинацию линейной и периодической функции, описывается формулой:

$$H_{НГО} = 0,07T_3 + 0,1 + 0,16\sin 0,2T_3. \quad (13)$$

Общая достоверность оценок  $U_{экз}$  в этом случае составила 0,74.

Видно, что наилучшим качеством обладает комбинация линейной и периодической функции (13).

Для оценивания качества модели также была проведена серия численных экспериментов. В ней были получены оценки пригодности конвективных облаков к модифицированию, качество которых было проверено на независимом материале. Матрица сопряженности фактических оценок пригодности конвективных облаков к воздействию представлена в табл. 2.

**Таблица 2. Матрица сопряженности**

Оценка	Осуществилось		$\Sigma$
	$\Pi$	$\bar{\Pi}$	
$\tilde{\Pi}$	106	46	152
$\bar{\tilde{\Pi}}$	27	102	129
$\Sigma$	133	148	281

Характеристики качества оценок приведены ниже.

1. Общая достоверность оценок

$$U = \frac{n_{11} + n_{22}}{n_{00}} = 0,740. \quad (14)$$

2. Критерий Н. А. Багрова

$$H_B = \frac{U - U_0}{1 - U_0} = 0,483. \quad (15)$$

3. Критерий А.М. Обухова

$$Q = \frac{U - U_0}{1 - U_0'} = 0,487. \quad (16)$$

Так, общая достоверность оценок составляет 74,0 %.

Таким образом, исходя из результатов сравнения оценок, полученных с помощью предлагаемого подхода, с имеющимися данными самолетного зондирования можно сделать вывод о достаточной степени его адекватности.

### Заключение

1. Для тушения лесных пожаров и профилактики их возникновения в работе предлагается использовать средства воздействия на мощно-кучевые облака с целью вызывания осадков.

2. Рекомендовано использовать в качестве предикторов значения температуры и температуры точки росы в районе адвекции на уровнях 850 и 500 гПа за срок 03 ч, а предиктантом – собственно свойство облаков быть пригодными к модифицированию. Качество предлагаемого подхода оценивалось на независимом архивном материале путем прогнозирования пригодности конвективных облаков к модифицированию. Результаты прогнозирования сравнивались с данными самолетного зондирования атмосферы, т. е. с наблюдаемыми параметрами облаков. Общая оправдываемость прогнозов составила 71 %, что позволяет сделать вывод о достаточной степени адекватности предлагаемого подхода реальной среде.

3. Для оценивания пригодности конвективных облаков к модифицированию в ходе оперативного обеспечения исходными данными являются их температурные, геометрические и фазовые характеристики. Непосредственное определение таких характеристик облаков возможно лишь путем проведения самолетного зондирования, однако преднамеренный вход в мощно-кучевые и кучево-дождевые облака запрещен руководящими документами. В связи с этим предлагается оценивание пригодности наблюдаемых конвективных облаков к модифицированию осуществлять по данным наземных наблюдений. С целью оценивания качества предлагаемого подхода проведена серия численных экспериментов и получены оценки пригодности конвективных облаков к модифицированию, успешность которых была проверена на независимом материале. Достоверность оценок пригодности конвективных облаков к воздействию с целью вызывания искусственных осадков равна 74 %, что говорит о достаточной степени адекватности предлагаемого подхода.

4. Предлагаемый методический подход может быть использован в работах по вызыванию осадков из конвективных облаков не только для тушения лесных пожаров и профилактики их возникновения, но и для решения других задач (очистка атмосферы мегаполисов от загрязняющих примесей, повышение урожайности сельскохозяйственных культур, увеличение запасов воды в водохранилищах и др.)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Снегуров А. В., Снегуров В. С., Шукин Г. Г. К программе построения грозопеленгационной сети Госгидромета // Тр. НИЦ ДЗА (филиал ГГО). – 2004. – Вып. 5(553). – С. 207–222.
2. Доронин А. П., Гончаров В. М., Петроченко В. М., Козлова Н. А., Тимошук А. С. Исследование характеристик конвективных облаков над центральным районом европейской территории России применительно к проблеме профилактики возникновения лесных пожаров и борьбы с ними // Ученые записки РГТМУ. – 2018. – № 50. – С. 28–40.
3. Доронин А. П., Петроченко В. В., Филиппёнок В. В. Облака и туманы естественного и искусственного происхождения в задачах тушения лесных пожаров и профилактики их возникновения / Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе // Материалы Международной научно-практической конференции 27 октября 2022 г., г. Санкт-Петербург. – Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, 2022. – С. 320–323.
4. Данелян Б. Г., Ковалев Н. А., Сажин И. В., Сементин В. Л., Столниченко О. А. Тушение лесных пожаров с помощью искусственного выпадения осадков. Состояние вопроса и предварительные результаты // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы 23 – 27 октября 2017 г., г. Нальчик. – Сборник научных трудов. Ч. 1. – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 229–236.
5. Приходько Г. Ф. Искусственные осадки из конвективных облаков. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 158 с.
6. Скриптунова Е. Н., Шакина Н.П. Автоматизированный метод прогноза зон активной конвекции // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 5. – С. 15–19.
7. Зверев А. С. Синоптическая метеорология. 2-е изд. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
8. Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика. Исследование зависимостей. Справ. изд. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
9. Волконский Ю. Н., Дегтярев А. С. Статистические методы обработки метеорологической информации. Ч. II. – М.: Воениздат, 2000. – 194 с.

#### **METHODOLOGICAL APPROACH TO THE MODIFICATION OF CONVECTIVE CLOUDS IN ORDER TO CAUSE PRECIPITATION**

**I. V. Goncharov, A. P. Doronin, N. A. Kozlova, V. M. Petrochenko** (Military space Academy named after A. F. Mozhaisky)

*The article is devoted to the development of a methodological approach to the issue of modifying convective clouds in order to cause precipitation for solving a wide range of tasks, including extinguishing forest fires, consisting of two stages: forecasting the suitability of convective clouds for modification (stage 1) and assessing their suitability for exposure (stage 2).*

**ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА МЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ**

**Н. Н. ЖИЛЬЦОВ** (АО «ГНИНГИ»)  
**А. В. ЕРЫШЕВ, В. Н. ЛОБАНОВ** (ВУНЦ ВМФ «ВМА»)

*Рассмотрены современные и перспективные технологии и средства производства океанографических работ с учетом пространственно-временной изменчивости процессов, протекающих в морях и океанах. Предложены новые технологии и средства для мониторинга мезомасштабных процессов, которые ранее не выявлялись и не прогнозировались, с использованием численного моделирования. Произведен расчет необходимого количества времени и средств измерений в соответствии с пространственной и временной изменчивостью гидрофизических процессов морской среды.*

В настоящее время в океанологии бурно развивается направление по производству систематических измерений состояния морей, океанов и атмосферы с последующей передачей их по спутниковым каналам связи в береговые центры, где происходит обработка и усвоение этих данных математическими моделями для оперативной оценки текущего и прогнозирования ожидаемого состояния гидрофизических полей океана. Это направление получило название «оперативная океанология».

Одним из мотивов развития оперативной океанологии стало понимание того, что изменчивость океанологических полей – экспериментально установленный факт, осуществляющийся под воздействием вращения Земли, круговорота воды в природе, атмосферных и астрономических воздействий и множества других факторов.

Поэтому все явления в Мировом океане по своим масштабам можно условно разделить на четыре группы, соответствующие основным интервалам структур: крупномасштабному, мезомасштабному, тонкоструктурному и мелкомасштабному. Их пространственно-временные характеристики представлены на рис. 1, где по вертикали отображена временная изменчивость, а по горизонтали – пространственная горизонтальная изменчивость [1].

Технология производства океанографических экспедиций прошлого века заключалась в изучении крупномасштабных процессов в морях и океанах. Она основывалась на выполнении разовых океанографических станций по заранее определенному маршруту, разрезу, полигону с последующей камеральной обработкой результатов измерений на берегу для составления атласов, пособий и пополнения климатических баз данных. Весь цикл от планирования экспедиции до завершения обработки занимал период больше года.

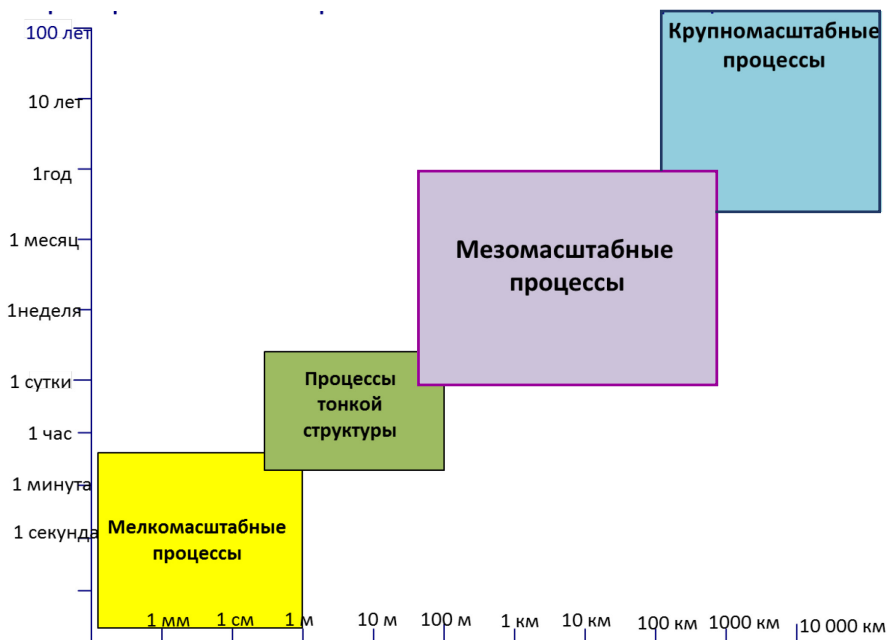


Рис. 1. Пространственно-временные масштабы процессов в океане [1]

В настоящее время установлено, что основной энергетический вклад в изменчивость морской среды (погоды в океане) вносят мезомасштабные океанические процессы, в том числе вихри открытого океана (моря). Их аналогом в атмосфере являются хорошо известные атмосферные циклоны и антициклоны, которые определяют погоду в конкретный срок. Пространственный масштаб этих процессов варьирует от нескольких километров до нескольких сот километров, а временной – от нескольких суток до нескольких месяцев. Выявить и спрогнозировать эволюцию мезомасштабного процесса устаревшей технологией производства океанографических исследований невозможно.

На рубеже XX–XXI веков, с развитием спутниковой навигации, появлением спутниковых каналов связи, миниатюризацией вычислительной техники и сенсорных датчиков, снижении их энергопотребления появились предпосылки к появлению новых технологий получения океанографической информации, основанных не на климатических данных прошлых экспедиций, а на реальных измерениях параметров океана в режиме, близком к реальному.

Актуальным стал вопрос о необходимости разработки принципиально новых технологий и технических средств экспериментальных исследований по созданию измерительных каналов и приборов, позволяющих производить прямые измерения *in situ* (здесь и сейчас) с передачей результатов измерений в береговые центры обработки информации по спутниковым каналам связи.

Необходимо создавать новые технологии мониторинга мезомасштабных процессов на основе создания отечественной системы оперативной океанологии, состоящей из специализированной наблюдательной сети, подсистемы обработки, анализа и прогнозирования, а также потребителей информации о состоянии морской среды.

Центральным местом системы оперативной океанологии является подсистема обработки, анализа и прогнозирования, создаваемая на основе глобальной гидродинамической модели Мирового океана и региональных моделей морской среды. Эти численные модели способны не только рассчитывать гидрофизические параметры морской среды в узлах сетки, но и ассимилировать (усваивать) данные контактных измерений и результаты дистанционного зондирования Земли для уточнения своих прогнозов.

Суть процедур усвоения данных состоит в комбинировании (синтезе) данных наблюдений и результатов расчетов по соответствующей эволюционной модели, которая выступает в роли пространственно-временного экстраполятора для областей, слабо освещенных наблюдениями. Оба компонента – наблюдения и модель – несовершенны и содержат ошибки, в общем случае плохо известные. В конечном итоге процедура усвоения данных сводится к построению оптимальной комбинации из этих двух источников информации с учетом статистической структуры ошибок каждого из них. Получаемая при этом оценка оказывается более точной, чем оценки, извлекаемые порознь из наблюдений или из модельных расчетов [2].

Объединение наблюдений, которых всегда мало, и моделей геофизической гидродинамики посредством процедур ассимиляции данных и моделей позволяет получить принципиально новый продукт в виде обновляемого во времени трехмерного представления свойств изменчивой по пространству и времени океанической среды.

Это новое качество касается и прикладных аспектов океанологии, когда появляется возможность учитывать влияние морской среды не по климатическим атласам и пособиям, а исходя из фактического состояния морской среды, максимально приближенной к реальному и спрогнозированному вперед на несколько суток.

Моделью усваиваются данные дистанционного зондирования Земли в виде температуры поверхности океана, сплоченности льда, альтиметрии (уровневой поверхности океана), а также контактные измерения стационарных и дрейфующих буев, судовые измерения. Для прогнозирования используется также атмосферный форсинг – прогнозный продукт комплексного влияния атмосферы на Мировой океан, включающий атмосферное давление, температуру и влажность воздуха, параметры волнения и ветра в приводном слое, интенсивность осадков и испарения, коротковолновую и длинноволновую радиацию, ледовые условия.

Результаты гидродинамического моделирования гидрофизических полей и получения их прогностических характеристик позволят выявлять нестационарные процессы морской среды (вихри, фронтальные разделы, внутренние волны и т. п.) и прогнозировать их местоположение и время существования.

В свою очередь, модели океанской среды требуют создания адекватного, специализированного измерительного инструмента, удовлетворяющего их по точности, регулярности, дискретности и объемам измерений, а также оперативности получения данных, которые можно было бы использовать для ассимиляции результатов моделирования.

Одна из главных предпосылок интенсификации нынешних разработок по мониторингу состояния океана – это существенное развитие наблюдательной системы, опирающейся как на данные дистанционного зондирования Земли, получаемые с космических аппаратов, так и на контактные измерения в Мировом океане. Причем измерения непосредственно в его толще выполняются только контактными средствами. Тенденции их развития и требования к ним рассмотрим подробнее.



В настоящее время существенно расширен набор средств измерений гидрофизических параметров морской среды для мониторинга мезомасштабных процессов. К немногочисленным и разрозненным эпизодическим судовым измерениям, выполняемым одноразовыми и многоразовыми СТД-зондами, добавилась сеть якорных буев с гирляндами приборов, которые обеспечивают измерения температуры, солености воды и скорости течений. Измерения выполняются несколько раз в сутки и передаются в береговые центры посредством спутниковой связи. Помимо высокой частоты и стационарности поступления данных, к достоинствам этой подсистемы следует отнести и сравнительно высокую точность измерений. К сожалению, сеть стационарных буев также редка и сосредоточена в основном в тропических широтах для диагностики и прогнозирования явлений Эль-Ниньо – Южное колебание.

Основная часть профильных измерений температуры и солености воды в океане приходится на систему автономных «ныряющих» буев Арго, размещение которых началось в 2000 году, и в настоящее время составляет около 4000 буев. В отличие от рассмотренных выше наблюдательных подсистем, которые выполняют измерения в фиксированных точках, данная система построена на принципе дрейфующих буев.

С программой Арго тесно связан наблюдательный проект спутниковой альтиметрии по оперативному мониторингу отклонений свободной поверхности океана с высоким разрешением вдоль спутниковых треков и достаточно высокой точностью ( $\pm 3$  см). Наряду с мониторингом полей температуры поверхности океана (ТПО), спутниковая альтиметрия и данные буев Арго позволяют получать сведения о мезомасштабной изменчивости океана и восстанавливать вертикальную структуру циркуляции вод в бароклинном слое океана [3].

В последнее время подводная наблюдательная сеть дополнилась подводными глайдерами – автономными необитаемыми подводными аппаратами (АНПА), которые приводятся в движение гидродинамическими силами за счёт изменения плавучести (рис. 2).

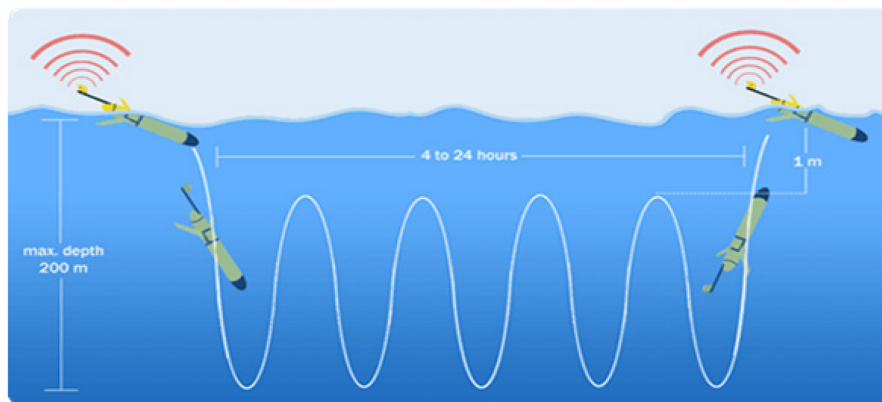


Рис. 2. Схема маневрирования автономного необитаемого подводного аппарата типа «глайдер»

Подводный глайдер представляет собой небольшой АНПА с большой дальностью действия, который способен нести на борту достаточное количество полезной нагрузки в виде различного рода датчиков и получать данные в течение

многих месяцев в море при работе в режиме скрытности благодаря его тихому механизму изменения плавучести [4].

Имея в распоряжении весь этот набор средств измерений гидрофизических параметров, возможно оценить пространственно-временную изменчивость состояния океанической среды в представляющих интерес районах Мирового океана. Поэтому необходимо внедрять современные средства измерений с использованием последних достижений океанологии.

Основной принцип построения измерительной сети определяется пространственной и временной изменчивостью измеряемых гидрофизических параметров морской среды и необходимостью получения их значений для любой точки обслуживаемой территории с требуемой точностью при минимальном числе пунктов измерений [5]. Поэтому плотность наблюдательной сети – пространственная и временная – выбирается из условия: выявить мезомасштабные процессы и обеспечить требуемую потребителю точность вырабатываемой информации по состоянию гидрофизических процессов морской среды (ГФП МС), приемлемую для решения прикладных задач.

Масштаб синоптических и мезомасштабных структур можно оценить значением внутреннего радиуса деформации Россби ( $R_i$ ) как в условиях средних широт, так и в условиях Арктики. Радиус Россби зависит от широты места, глубины в районе и процессов бароклинной неустойчивости (частоты Вайсяля-Брента).

Рассмотрим на примере, как одну и ту же задачу по выявлению мезомасштабных океанографических процессов в локальном районе можно решить разным набором измерительных средств, чтобы определить дальнейшие пути построения измерительной сети и развития технических средств океанологии.

Допустим, что в соответствии с вычисленным радиусом деформации Россби для заданной широты и средней глубины района необходимо выявить мезомасштабные явления в локальном районе  $80 \times 125$  км. Для этого необходимо произвести 308 измерений через 5 км от поверхности до дна. Желательно уложиться в одни сутки, чтобы их могла усвоить региональная модель, выявить мезомасштабные явления диаметром 40–50 км и выдать прогноз их развития на 10 суток.

Как видно из рис. 3, судну с использованием традиционной технологии с многоразовым зондом потребуется 19 суток только на исследования в полигоне даже без учёта времени, затраченного на переход в район, и того, что на одну гидрологическую станцию и переход от станции к станции будет затрачено не более 1,5 часов. С учетом работы гидрологической партии на пределе физических возможностей человека, задача все равно выполнена быть не может. Если использовать одноразовые зонды на ходу судна, движущегося со скоростью 12 узлов, эту задачу можно выполнить за трое суток.

Преимущества одноразовых зондов в том, что измерения ГФП МС ими можно производить на ходу корабля. Зонд обрывной передает результаты измерений по мере погружения на дно по микрокабелю или использует вместо микрокабеля УКВ канал. Однако даже если бы судно было снабжено достаточным количеством одноразовых зондов, то по времени уложиться в одни сутки не получается, что подтверждает невозможность использования технологий прошлого века в современных условиях для выявления мезомасштабных явлений.

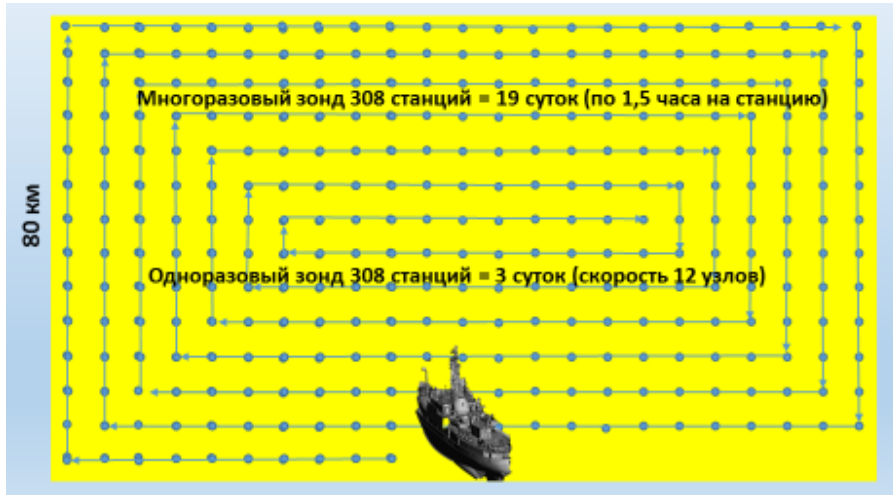


Рис. 3. Схема полигонной съемки судном с использованием многоразового и одноразовых СТД-зондов

Для решения подобных задач необходимо использовать современные технологии. Попробуем смоделировать, что наше экспедиционное судно снабжено безэкипажными катерами (БЭК) с одноразовыми гидрологическими зондами, а также современными специализированными измерительными средствами типа глайдеров. Допустим на борту находятся два безэкипажных катера, оснащенных кассетами с одноразовыми буями и два глайдера. Скорость хода катеров до 30 узлов с дальностью хода до 400 км. По заданной программе они способны автоматически ставить одноразовые зонды и получать от них информацию. Использование глайдеров позволит как бы «шить» в единый массив разряженную сеть одноразовых зондов, что позволит сократить их количество почти вдвое. Результаты расчетов представлены на рис. 4.

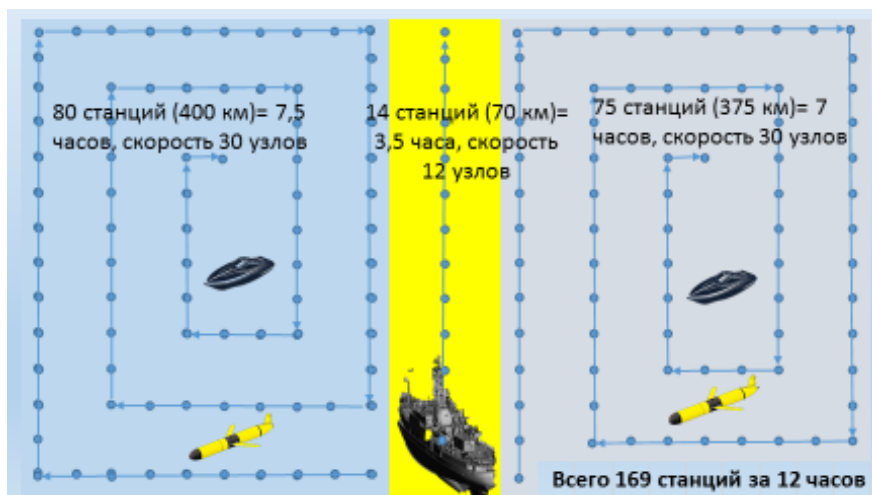
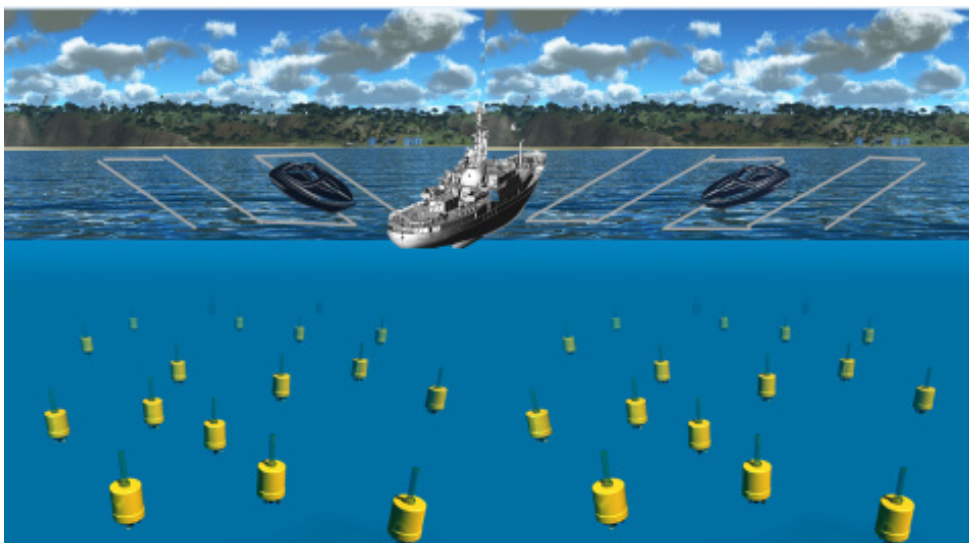


Рис. 4. Схема полигонной съемки судном с использованием двух безэкипажных катеров с одноразовыми СТД-зондами и двух глайдеров

Результаты расчетов показывают, что эту задачу можно решить за 12 часов с учетом спуска, подъема катеров, сбора и передачи информации, используя при этом 169 одноразовых буев. Наша неразрешимая задача решена, полигон обследован менее чем за сутки, включая время доставки информации в береговой центр.

В перспективе и этот набор средств измерений можно оптимизировать, если вместо одноразовых зондов использовать рой мини-роботов, которые доставить может не только судно, но и беспилотный летательный аппарат (БПЛА) или БЭК. Доставленные в район мини-роботы по заданной программе распределяются соответствующим образом, чтобы покрыть весь район с заданной дискретностью или в узлах сетки модели, создавая пространственно-распределенную наблюдательную сеть с заданными параметрами (рис. 5). Далее мини-роботы *синхронно* погружаются на заданную глубину с попутными измерениями ГФП МС, после чего всплывают, уточняют свое местоположение и двигаются к носителю или базовому роботу, который считывает с них информацию и передает её в береговой центр, а далее собирает мини-роботов на судно или БЭК и возвращается, либо ждет дальнейших указаний для повторных измерений или команд по переходу в другой район.



**Рис. 5. Схема полигонной съемки судном с использованием двух безэкипажных катеров с мини-роботами**

Какие преимущества дает такая технология обследования полигона?

1. Использование роя многоразовых мини-роботов вместо дорогих одноразовых зондов, стоимость которых составляет несколько тысяч рублей каждый, позволит сократить расходы на наблюдательную сеть.
2. Возможность создания специализированной пространственно-распределенной наблюдательной сети с заданными параметрами (шаг сетки, глубина измерения), адаптированной к требованиям численных гидродинамических моделей морской среды позволяет значительно повысить точность прогнозов гидрофизических полей.
3. Использование роя мини-роботов позволит выполнять синхронную съемку ГФП МС от поверхности до заданной глубины, чего невозможно добиться при выполнении измерений не только многоразовым, но и одноразовыми зондами. Их измерения

растянуты во времени, что не позволяет отделить пространственную изменчивость от временной.

4. Появление возможности в перспективе отказаться в прибрежных районах от использования судов в качестве средств доставки средств измерений в район работ, как самого дорогостоящего элемента. Возможно ограничится использованием БПЛА или БЭК в организации проведения измерений ГФП МС.

Если рассматривать дальнюю перспективу, то возможен вариант, когда системой оперативной океанологии будет управлять искусственный интеллект, способный по результатам моделирования и процедуры ассимиляции (усвоения данных измерений) определять районы с наибольшей погрешностью прогнозирования и направлять туда рои дешевых автономных самоорганизующихся морских роботов, которые взаимодействуя друг с другом, смогут разворачивать и поддерживать необходимое время пространственно-распределенную наблюдательную сеть в заданных моделью узлах регулярной сетки. Данная технология повысит эффективность прогноза и его заблаговременность для возможности принятия решений по оперативному океанографическому обслуживанию различных групп потребителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ерышев А. В., Жильцов Н. Н., Лобанов В. Н., Микушин И. И. Принципы построения сенсорной подсистемы системы оперативной океанологии // Гидроакустика. – 2023. – № 54. – С. 61–67.
2. Зеленко А. А., Вильфанд Р. М., Реснянский Ю. Д., Струков Б. С., Цырульников М. Д., Свиренко П. И. Система усвоения океанографических данных и ретроспективный анализ гидрофизических полей Мирового океана // Известия РАН. ФАО. – 2016. – Т. 52. – № 4. – С. 501–513.
3. Зеленко А. А., Реснянский Ю. Д., Струков Б. С., Свиренко П. И., Цырульников М. Д., Мониторинг крупномасштабной структуры гидрофизических полей океана // *Gidromet\_Book.indb*. Гидрометцентр России, Москва. – 2010. – С. 131–172.
4. Селезнев И. А., Ясников А. И. Перспективы применения подводных глайдеров для океанографии и освещения подводной обстановки. Обзор по материалам зарубежной печати // Подводные исследования и робототехника. – 2023. – № 1 (43). – С. 4–13.
5. Кузьмич С. А., Логункова Е. Л. Научные принципы построения наземной метеорологической сети как средство улучшения обеспечения гидрометеорологической информацией // Минск: Электронная библиотека БГУ, 2015 <https://elib.bsu.by/handle/123456789/118385>

#### **TECHNOLOGIES AND TOOLS FOR MONITORING MESOSCALE PROCESSES OF THE MARINE ENVIRONMENT**

**N. N. Zhiltsov (GNINGI JSC), V. N. Lobanov, A. V. Eryshev (Naval Academy)**

*Modern and promising technologies and means of oceanographic work production are considered, taking into account the spatial and temporal variability of processes occurring in the seas and oceans. Technologies and tools that provide them are proposed for monitoring mesoscale processes using a mathematical model that assimilates measurement results. The calculation of the required amount of time and measuring instruments is carried out in accordance with the spatial and temporal variability of hydro physical processes.*

**ПЛАНЫ МИНОБОРОНЫ США ПО АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА****С. И. МАСТРЮКОВ, В. Ю. БАХМУТОВ**  
(АО «ГНИНГИ»)

*Обобщены результаты деятельности Минобороны США по адаптации к изменениям климата. Климатические изменения из потенциальной угрозы уже перешли в разряд реальной опасности для всех видов человеческой деятельности, и в Минобороны США их рассматривают как экзистенциальную угрозу для функционирования. Оценка текущего состояния принимаемых ведомством мер по борьбе с изменениями климата может быть интересна специалистам в области военной климатологии в нашей стране.*

**Актуальность проблемы для мирового сообщества**

По данным Европейского агентства по окружающей среде [1] в период с 1980 по 2022 гг. экстремальные погодные и климатические явления привели к экономическому ущербу, который для государств-членов ЕС оценивается в 650 млрд евро, т. е. в среднем – по 15 млрд евро в год. При этом суммарный ущерб в 2021 и 2022 гг. составил 110 млрд евро, что в 7 раз больше, чем в среднем за последние 40 лет. В России с 1998 по 2022 гг. согласно «Докладу об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год» РОСГИДРОМЕТА [2] среднегодовое число опасных явлений, повлекших экономический ущерб, выросло от 200 до 600. Налицо тенденция роста потерь от изменений климата во всём мире.

Изменение климата и ухудшение состояния окружающей среды рассматриваются мировым сообществом как наиболее серьёзный вызов текущего столетия. В рамках 27-й Международной конференции ООН по климату [3] мировые лидеры назвали борьбу с изменениями климата битвой за выживание человечества. Риски, вызванные изменением климата (климатические риски), по вероятности наступления и ожидаемому размеру убытков были оценены как беспрецедентные и угрожающие миру уже сейчас. При этом отмечено, что запланированные ранее меры по сокращению выбросов парниковых газов выполнены не были.

**Климатические риски и ущерб от них**

Термин «климатические риски» был введён Международной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) в 2012 г. Климатические риски – это потенциальные риски, которые могут возникать вследствие опасных природных явлений (ОПЯ) и долговременных фоновых изменений климата.

К ОПЯ относят метеорологические явления (засухи, волны тепла и холода, ураганы, бури, смерчи), гидрологические (сгонно-нагонные явления, наводнения, сели, цунами, подтопления, изменение уровня грунтовых вод, абразия берегов морей), геофизические (землетрясения, извержения вулканов, оползни, обвалы, снежные лавины, мерзлотные деформации грунта, термокарст, термоэрозию), а также природные пожары и другие явления.

Фоновые изменения климата проявляются в росте средней температуры воздуха, распреснении верхнего слоя океана, закислении океана, деградации криосферы, подъёме среднего уровня моря, нарушении других свойств природной среды, что приводит к нарушению систем циркуляции атмосферы и океана и другим не всегда очевидным последствиям.

### **Оценка роли проблемы изменения климата в Минобороны США**

Для достижения своих экономических, политических и военных целей США создали огромную сеть военных баз по всему миру. Их поддержание в нормальном состоянии в условиях изменения климата вынуждает США нести дополнительные затраты и даже отказываться от использования некоторых из них [4]. Поэтому не случайно Министр обороны США Ллойд Остин в 2023 г. заявил, что «для обеспечения безопасности нации [5] Министерство обороны (DOD) должно снизить *экзистенциальную угрозу от изменения климата*».

Особенно уязвимыми для воздействия изменений климата признаются объекты прибрежной инфраструктуры Минобороны США [6]. Считается, что изменения климата приведут к росту конкуренции за ресурсы, создадут дополнительное бремя для экономики, общества и систем управления и выступят в качестве мультипликатора других угроз для национальной безопасности. Перечень материалов с оценкой роли проблемы изменения климата для Минобороны США доступен на сайтах [7, 8].

### **Ключевые климатические риски для Минобороны США**

Считается, что среди трёх видов ВС наибольшее влияние изменений климата испытывают Военно-морские силы (ВМС). Для оценки влияния изменений климата на ВМС в 2011 г. по поручению Начальника военно-морских операций США был создан специальный комитет, результаты работы которого были опубликованы [9]. В числе основных климатических факторов, влияющих на инфраструктуру и деятельность ВМС США и их союзников, были выделены:

- наблюдаемые и ожидаемые более высокие температуры поверхности, тропосферы и океана;
- увеличение количества ОПЯ, осадков, экстремальных засух и волн тепла;
- таяние арктического морского льда, ледяных щитов, деградация вечной мерзлоты;
- повышение уровня моря.

Рост температуры воздуха приводит к увеличению частоты волн тепла и холода, засух, пожаров, ужесточает условия эксплуатации техники, увеличивает расход топлива, а также приводит к деградации почв, снижению производства сельскохозяйственной продукции, голоду, миграции и повышенной смертности населения, к росту инфекционных заболеваний, вредоносному цветению водорослей, закислению океана, затрудняет снабжение войск и населения пресной водой и т. п. Неравномерное потепление ведет к нарушению привычных форм атмосферной циркуляции.

Повышение количества и интенсивности осадков в отдельных районах, увеличение частоты штормов и наводнений способны привести к эрозии берегов, селям, оползням, ущербу посевам, росту миграции населения и социальной напряжённости, к разрушениям береговой инфраструктуры.

Деградация криосферы в условиях потепления приводит к сокращению многолетнего морского льда в Арктике, меняет геополитические условия доступа к ресурсам и путям транспортировки грузов, обостряет борьбу за топливные и иные ресурсы в Арктике. Таяние вечной мерзлоты способно привести к нарушению береговой инфраструктуры. Таяние ледников приводит к росту уровня моря, к распреснению поверхностного слоя океана, нарушению глобальной циркуляции океана.

Повышение уровня моря, вызванное как тепловым расширением воды, так и таянием ледовых щитов Гренландии и Антарктиды, может привести к весьма опасным последствиям для береговых военных баз, засолению источников пресной воды в прибрежной зоне, учащению нагонов, миграции населения и т. п.

Более подробно механизмы влияния изменений климата на ВС США изложены в работах [5, 6, 10, 11].

### **Нормативная основа борьбы с климатическими вызовами в Минобороны США**

Впервые серьёзное внимание к изменениям климата на правительственном уровне было привлечено в 1970-х годах с принятием Д. Картером закона «О национальной климатической программе». Меры, предпринимаемые Минобороны США по борьбе с климатическими рисками, регламентированы нормативно-правовыми документами федерального уровня. Действующая в настоящее время в Минобороны США нормативная база по борьбе с изменениями климата разработана в соответствии с Директивой 4715.21 [12], согласно которой Минобороны должно адаптировать свои операции к негативным последствиям изменения климата. Ответственность за реализацию политики Минобороны в этой сфере возложена Директивой 4715.21 на заместителя министра обороны по закупкам и устойчивому развитию. Согласно этому документу при планировании и выполнении своей деятельности ВС США должны:

- выявлять и оценивать воздействия изменения климата;
- учитывать последствия при разработке планов и процедур реализации;
- прогнозировать и управлять любыми рисками, возникающими в результате изменения климата, для повышения устойчивости.

Нормативной основой в области адаптации стал принятый в 2021 г. План адаптации Минобороны США к изменениям климата CAP 2021 (Climate adaptation Plan, 2021). Этот План дополнен рядом вспомогательных нормативно-методических документов Минобороны [13–17], некоторые из которых представлены на рис. 1.



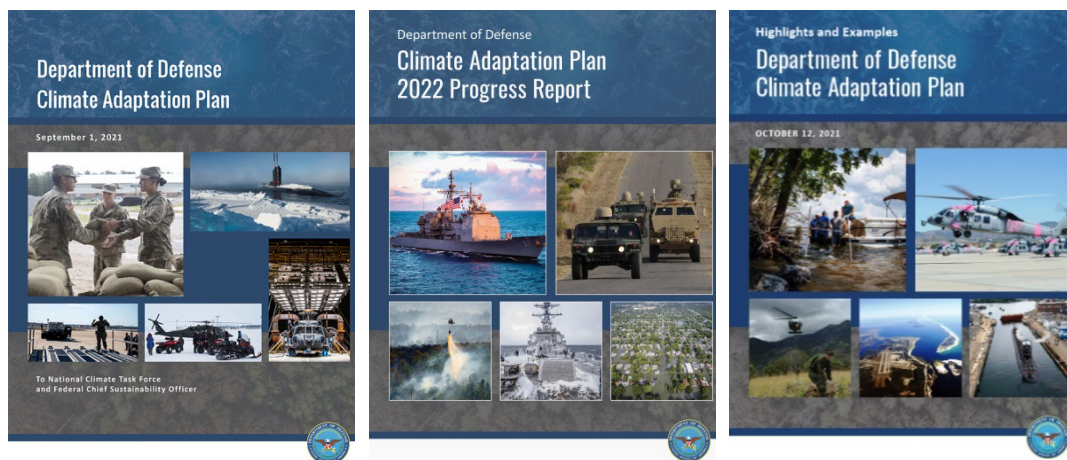
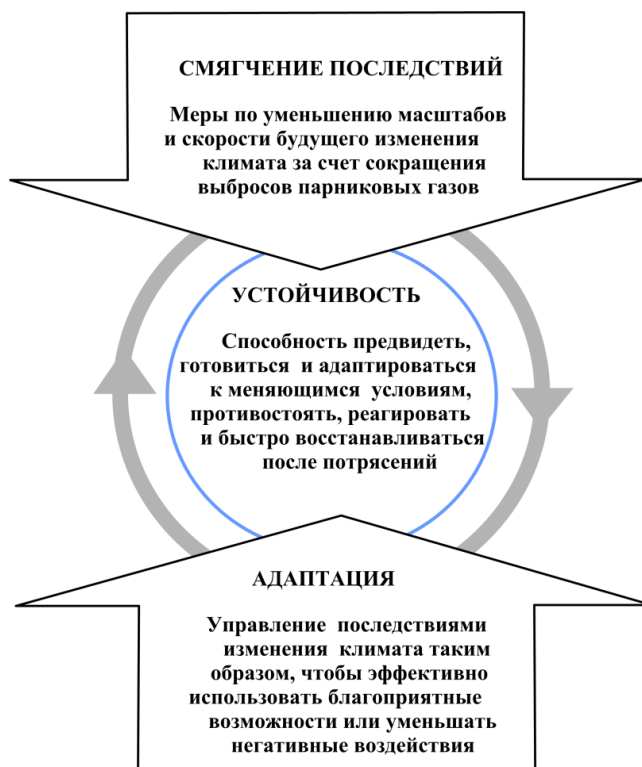


Рис. 1. Документы Плана по адаптации к изменениям климата CAP-2021

### Краткая аннотация ключевых документов Минобороны США в области адаптации к изменениям климата

1. Согласно *Плану CAP 2021* [13] изменение климата в Минобороны рассматривается как серьезная угроза национальной безопасности и как фактор, мультиплицирующий другие угрозы. Целью Плана является обеспечение устойчивости систем Минобороны к изменениям климата. В качестве основного способа обеспечения устойчивости рассматривается адаптация к этим изменениям. Дополнительным способом считается смягчение самих изменений климата (рис. 2).

*Смягчение* направлено на снижение скорости и интенсивности изменений климата. Оно достигается снижением выбросов парниковых газов. Решить задачу снижения нужно было бы намного раньше, сейчас делать это уже поздно и, как отмечено в материалах Конференции ООН по климату 2022 [3], пока нереально. Поэтому Минобороны США рассматривает меры по смягчению климата как дополнительные. При этом ведомство основной целью смягчения климата считает не столько снижение выбросов, сколько снижение уязвимости от сбоев в цепочках поставок ископаемого топлива и от волатильности цен на топливо. Это достигается в основном за счёт повышения топливной эффективности кораблей, самолетов и транспортных средств, а также за счёт перехода на возобновляемые источники энергии, применения новых технологий, таких как, например, гибкие солнечные панели для зарядки батарей.



**Рис. 2. Основные пути достижения устойчивости Минобороны в условиях изменения климата согласно Плану CAP 2021 [13]**

Основные усилия по борьбе с изменением климата Минобороны США направили на разработку мер по *адаптации* – снижению вреда от последствий, по существу, неизбежных изменений климата. Меры по адаптации направлены на снижение потенциальных рисков и/или на использование благоприятных возможностей, вызванных изменением климата. Эти меры должны обеспечить эффективное противостояние и быстрое восстановление от воздействия ожидаемых изменений. Подходы к адаптации могут сильно различаться и не являются универсальными. Меры по адаптации могут заключаться в постройке защитных сооружений, в реконструкции объектов инфраструктуры, систем коммуникации, систем вооружения, в использовании новых технологий применения сил и т. п. Все эти меры предусматривают использование наиболее достоверной информации об ожидаемых изменениях, переход на новые стандарты для учёта ожидаемых изменений климата. При планировании мер по адаптации в условиях неопределённости ожидаемых изменений возникает вопрос о выборе стратегии принятия решений.

#### **Стратегии принятия решений по адаптации к изменениям климата**

Для адаптации к изменениям климата могут быть выбраны разные стратегии. Среди таковых выделяют «беспроеигрышные» стратегии. Они имеют смысл независимо от того, оправдаются или нет прогнозы по изменению климата. Например, установка резервных генераторов электроэнергии на возвышенностях повышает эксплуатационную устойчивость военных баз, защищая их от штормовых нагонов и

повышения уровня моря. Инвестиции в более экономичные корабли и самолеты, транспортные средства не только уменьшают негативное влияние военной деятельности на изменение климата, но и повышают устойчивость сил. Все эти инвестиции могут окупиться за счет экономии эксплуатационных расходов, независимо от того, произойдет изменение климата или нет.

Но такого рода стратегии – скорее исключение из правил. Строительство новых военных баз в Арктике или их перемещение на новые места потребует инвестиций в миллиарды долларов, которые не окупятся, если ожидаемые изменения климата не наступят. Инвестиции принесут пользу только в том случае, если прогнозы верны, но при этом и бездействие может привести к катастрофе. Поэтому в Минобороны США кровно заинтересованы в улучшении качества научных прогнозов изменения климата и обычно действуют по поговорке: «Надейся на лучшее и готовься к худшему».

В САР 2021 [13] выделено пять приоритетных направлений по адаптации к изменениям климата:

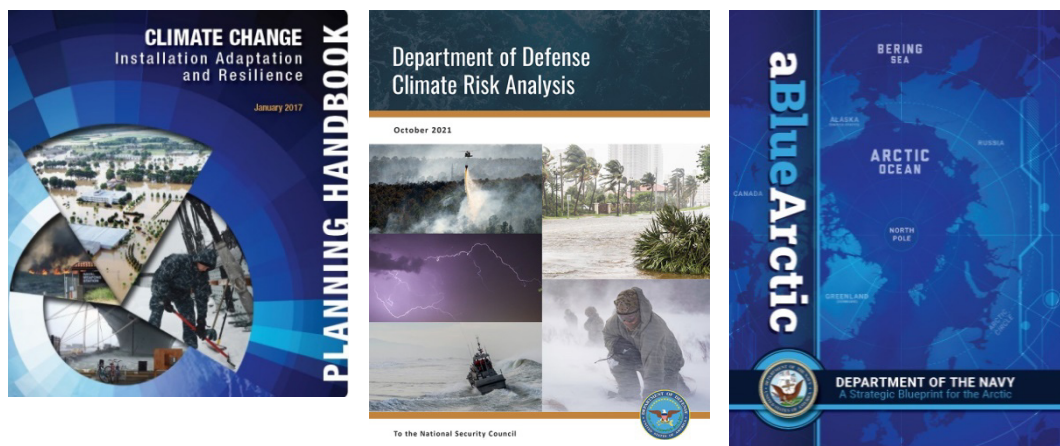
- совершенствование методов принятия решений;
- обучение личного состава к действиям в условиях изменения климата и оснащение сил адаптированным оборудованием, вооружением и средствами защиты;
- проектирование, строительство объектов инфраструктуры с учётом ожидаемых изменений климата; обновление строительных стандартов;
- обеспечение устойчивости логистики и цепочек поставок в условиях изменяющегося климата;
- совершенствование мер по адаптации и устойчивости посредством кооперации и сотрудничества с федеральными агентствами, научными организациями, бизнес-структурами и союзниками.

2. В Отчетах о ходе реализации плана по адаптации к изменению климата, которые можно рассматривать как дополнения к Плану САР 2021, описаны некоторые из усилий по реагированию на изменения климата. В частности, в Отчёте за 2022 г. [14] отмечено, что каждое из подразделений Минобороны подготовило планы по реализации мер по адаптации и смягчению последствий изменения климата, разработало методы и средства анализа климатических уязвимостей, управления климатическими рисками и т. п. Хотя доступ к ведомственным планам закрыт, известно, что они разработаны на период до 2030 г. и согласуются с САР 2021.

Кроме того, в этом отчёте перечислены инструменты, разработанные для анализа климатических данных, изложен состав наиболее авторитетных источников исходных данных.

3. В сопутствующем САР 2021 отчёте [15] освещается имеющийся задел и излагаются методы по учёту климатических факторов в деятельности Минобороны по каждому из отмеченных пяти направлений по адаптации к климатическим изменениям.

4. Среди доступных методических документов в области строительства объектов инфраструктуры в условиях изменения климата наиболее подробная информация содержится в Справочнике [18]. В нём представлена аналитическая основа, а также описаны инструменты и рекомендации, которые помогут проектировщикам понять, как учитывать изменение климата в проектах по развитию инфраструктуры (рис. 3).



**Рис. 3. Нормативно-методические документы Минобороны США в дополнение к CAP-2021**

5. Анализ климатических рисков Министерства обороны (DCRA) является важнейшим этапом для учета последствий изменения климата на стратегическом уровне. Основные принципы анализа климатических рисков в Минобороны изложены в Отчёте [17], в котором рассмотрены:

- ключевые последствия изменения климата для безопасности;
- климатическая политика и обязанности Министерства обороны;
- климатические опасности, риски и последствия для безопасности;
- процедуры учёта изменений климата;
- межведомственные научные продукты и эксперты в области изменений климата.

При анализе последствий изменения климата в этом Отчёте отмечается, что Минобороны США обслуживает более 5000 военных объектов по всему миру. Из них более 1700 находятся в прибрежных районах, наиболее подверженных изменениям уровня моря и экстремальным погодным явлениям. Эти объекты были спроектированы без должного учёта возможного повышения уровня моря и изменения других внешних факторов. Уже сейчас риск подтопления объектов портовой инфраструктуры существенно возрос, а на самой крупной в мире военно-морской базе в Норфолке ожидается, что к 2050 году частота наводнений увеличится с нынешних девяти в год до 280 в год. Повышение среднего уровня моря на 90 см создаст серьёзную угрозу для 55 военно-морских объектов стоимостью 100 миллиардов долларов, а замена имеющихся 111 000 зданий и сооружений береговой инфраструктуры ВМС по всему миру обойдется США в 220 млрд долларов. Уже сейчас реконструкция и замена причалов в Норфолке обходится в более чем 100 млн долларов в год. Весьма значимым для Минобороны является и увеличение частоты опасных погодных явлений. Так, в 2018 г. ураган «Майкл» нанес ущерб базе ВВС Тиндалл во Флориде на сумму около 4,7 млрд долларов, а ураган «Флоренс» нанес около 3,6 млрд долларов ущерба базе морской пехоты Кэмп-Лежен в Северной Каролине. В 2021 г. зимние штормы повредили 694 объекта только на территории США. В бюджетном запросе Минобороны США на 2024 финансовый год предлагается

выделить 5,1 млрд долларов на «повышение боеспособности и снижение климатических рисков» [5].

В рассматриваемом отчёте указано, что анализ климатических рисков требует соответствующих знаний, поскольку климатические опасности могут влиять как прямо, так и косвенно. Пример косвенного влияния – снижение количества и интенсивности осадков приведет к более частым и сильным засухам, снизится доступность воды. Вторичным последствием станет снижение урожайности сельскохозяйственных культур, голод, что может способствовать миграции населения. Порой климатические опасности, накладываясь друг на друга, могут приводить к парадоксальным последствиям. Например, засуха увеличивает вероятность лесных пожаров, которые, в свою очередь, за счёт уничтожения лесов будет способствовать более частым и сильным наводнениям. В совокупности эти опасности могут экспоненциально усугубляться для населения.

В этом документе отмечено, что в соответствии с действующими требованиями климатические соображения должны быть включены в Стратегию национальной обороны, в Руководство по оборонному планированию и в другие документы по стратегии, планированию, управлению и использованию ВС.

6. Отдельно следует отметить стремление США к наращиванию военного присутствия в Арктике, вызванное таянием морского льда. В отчёте [19] отмечено, что в ближайшие десятилетия таяние морского льда и повышение судоходности арктических вод приведут к появлению «Голубой Арктики» с большими пространствами открытой воды. Это создаст новые проблемы и возможности у северных берегов США. В отчёте утверждается, что без устойчивого американского военно-морского присутствия в Арктическом регионе мир и процветание будут подвергаться все большей угрозе со стороны России и Китая, чьи интересы и ценности резко отличаются от интересов США.

В отчёте открыто написано, что конкурирующие взгляды на методы контроля все более доступных морских ресурсов и морских путей могут угрожать интересам и процветанию США. Подчёркнуто, что Россия вкладывает значительные средства в укрепление своего арктического оборонного и экономического секторов, что приводит к многоуровневой милитаризации ее северного фланга. Модернизируя свой военный потенциал, Россия стремится улучшить контроль, инфраструктуру и совместное использование сил для проецирования мощи и защиты своих северных подступов. Утверждается, что «эскалационный» характер военной активности России и «незаконное» регулирование морского судоходства по Северному морскому пути подрывают глобальные интересы, способствуют нестабильности и в конечном итоге ухудшают безопасность в регионе.

Отметим, что в США имеются и иные взгляды на решение проблемы изменения климата. Так, профессор Бостонского университета Нета Кроуфорд предлагает переосмыслить стратегию США по расширению сети военных баз и принять меры по сокращению численности и операций вооруженных сил. Она считает, что стремление США контролировать топливные ресурсы по всему миру приводит к росту их потребления вооружёнными силами и к неоправданному росту выбросов парниковых газов [20]. Более активные критики планов Минобороны считают, что проблемы климата отвлекают военных от их основной деятельности. В лучшем случае, говорят скептики, они отнимают ресурсы для решения более серьезных проблем, таких как

вторжение России на Украину или стратегическое соперничество с Китаем. В худшем случае они фактически ослабляют ВС США.

### **Выводы**

1. С момента признания реальности изменения климата в Минобороны США пройден большой путь по выработке мер борьбы с ними. Признано, что изменения климата являются экзистенциальной угрозой для национальной безопасности США и мультипликатором других угроз, и поэтому проблема борьбы с изменениями климата в Минобороны США приобрела приоритетное значение. В целом изменения климата способны существенно изменить геостратегическую, оперативную и тактическую обстановку в мире. Конкуренция за всё более скромные ресурсы будет увеличиваться, и значимость военного контроля за этими ресурсами возрастёт.

2. Минобороны США имеет около 5000 военных объектов по всему миру. Большая часть этих объектов подвержена воздействию изменений климата. Затраты на безопасную эксплуатацию этих объектов в условиях изменения климата будут неизбежно возрастать. Уже сейчас ежегодные затраты только на ликвидацию последствий влияния текущих изменений климата на инфраструктуру Минобороны оцениваются более чем в 5 млрд долларов. По мере нарастания изменений климата эта ноша может быть непомерна даже для США.

3. В Минобороны США создана развитая организационная, научная, нормативная и методическая основа для борьбы с изменениями климата. Основой борьбы признана адаптация к последствиям изменения климата. В 2021 г. Минобороны опубликовало План CAP 2021 по адаптации к изменению климата, в котором определены пять конкретных направлений усилий ведомства. В каждом виде ВС США также определены пути и действия по реализации CAP 2021 на период до 2030 г.

4. В Минобороны США осознана необходимость получения достоверных знаний об ожидаемых изменениях климата. Это стимулирует поддержку научных исследований климата со стороны Минобороны и тесное сотрудничество с другими федеральными ведомствами, национальными и зарубежными научными организациями.

5. К одной из важнейших проблем для Минобороны США, связанных с изменением климата, отнесено ускоряющееся очищение Северного Ледовитого океана от морского льда. Это создаёт новые риски и открывает возможности в этом регионе. В США ожидают увеличения конкуренции в Арктике с Россией и считают необходимым повышать военное присутствие в этом регионе.

6. В США имеются альтернативные взгляды на деятельность Минобороны в области изменений климата. Скептики считают, что проблемы климата отвлекают военных от их основной деятельности.

В заключение стоит отметить, что и в нашей стране подобных скептиков немало. Их неоправданная уверенность в своей правоте не отвечает принципам выбора оптимальных стратегий принятия решений и может обойтись очень дорого.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Economic losses from weather- and climate-related extremes in Europe. Publ. 06 Oct 2023 / European Environmental Agency. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/economic-losses-from-climate-related> (дата обращения 22.01.2024).

2. Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2022 г. // М.: Росгидромет, 2023. – 108 с. URL: <https://meteoinfo.ru/images/media/climate/rus-clim-annual-report.pdf> (дата обращения 22.01.2024).
3. Конференция ООН по климату 2022: главное о КС-27. 7 ноября 2022 г. Сайт Группы ООН по устойчивому развитию. URL: <https://unsdg.un.org/ru/latest/stories/konferenciya-oon-po-klimatu-2022-glavnoe-o-ks-27> (дата обращения 22.01.2024).
4. Department of Defense Report on Effects of a Changing Climate to the Department of Defense, January 2019. – 22 p. URL: <https://media.defense.gov/2019/jan/29/2002084200/-1/-1/1/climate-change-report-2019.pdf> (дата обращения 22.01.2024).
5. CRS Report. Climate Change and Adaptation: Department of Defense. Updated April 6, 2023. – 6 p. URL: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF12161> (дата обращения 22.01.2024).
6. Reinhardt F. L., Toffe M. W. I. Managing Climate Change: Lessons from the U.S. Navy. // Harvard Business Review July-August 2017. – 102–111p. Сайт журнала Harvard Business Review. URL: <https://hbr.org/2017/07/managing-climate-change> (дата обращения 22.01.2024).
7. Сайт Минобороны США. <https://www.defense.gov/Spotlights/Tackling-the-Climate-Crisis/> (дата обращения 22.01.2024).
8. Сайт Naval Postgraduate School. Climate and security. Resources. URL: <https://nps.edu/web/climate-and-security/resources> (дата обращения 22.01.2024).
9. National Security Implications of Climate Change for U.S. Naval Forces // National Research Council. The National Academies Press, Washington, DC, 2011. – 191 p. URL: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/12914/national-security-implications-of-climate-change-for-us-naval-forces> (дата обращения 22.01.2024).
10. Brosig M., Frawley P. et al. Implications of Climate Change for the U.S. Army // U.S. Army War College, URL: [https://climateandsecurity.files.wordpress.com/2019/07/implications-of-climate-change-for-us-army-army-war-college\\_2019.pdf](https://climateandsecurity.files.wordpress.com/2019/07/implications-of-climate-change-for-us-army-army-war-college_2019.pdf) (дата обращения 22.01.2024).
11. Мاستрюков С. И., Бахмутов В. Ю. Результаты современных исследований климатических изменений, влияющих на морскую деятельность // Навигация и гидрография. – 2023. – № 72. – С. 98–109.
12. DOD Directive 4715.21 Climate change adaptation and Resilience / DOD, 2016. – 12 p. URL: <https://dod.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/471521p.pdf> (дата обращения 22.01.2024).
13. Department of Defense Draft Climate Adaptation Plan, September 2021. – 33p. URL: <https://media.defense.gov/2021/Oct/07/2002869699/-1/-1/0/department-of-defense-climate-adaptation-plan-2.pdf> (дата обращения 22.01.2024).
14. Department of Defense Climate Adaptation Plan 2022 Progress Report, 4 October 2022. – 10 p. URL: <https://media.defense.gov/2022/oct/06/2003092213/-1/-1/0/2022-dod-cap-progress-report.pdf> (дата обращения 22.01.2024).
15. Highlights and Examples for the Department of Defense Climate Adaptation Plan. 2021. – 33 p. URL: <https://media.defense.gov/2021/Nov/03/2002886171/-1/-1/0/highlights-and-examples-for-dod-climate-adaptation-plan.pdf> (дата обращения 22.01.2024).
16. Pinson A. O., White K. D., Ritchie E. E., Conners H. M., Arnold J. R. DoD Installation Exposure to Climate Change at Home and Abroad. U.S. Army Corps of Engineers: Washington, DC. – 2021. – 136 p. URL: <https://media.defense.gov/2021/Apr/20/2002624613/-1/-1/1/dod-installation-exposure-to-climate-change-at-home-and-abroad.pdf> (дата обращения 22.01.2024).
17. Department of Defense Climate Risk Analysis // National Security Council, 2021. – 18 p. URL: <https://media.defense.gov/2021/Oct/21/2002877353/-1/-1/0/dod-climate-risk-analysis-final.pdf> (дата обращения 22.01.2024).
18. Climate Change Planning Handbook. Installation adaptation and Resilience // Naval Facilities Engineering Command Headquarters, 2017. – 193 p. URL: <https://www.wbdg.org/ffc/dod/handbooks/climate-change-planning-handbook> (дата обращения 22.01.2024).
19. A Strategic Blueprint for Arctic // Department of Navy. U.S. National Ice Center, 2021. – 21 p. URL: <https://news.usni.org/2021/01/05/new-navy-marine-corps-strategic-blueprint-for-the-arctic> (дата обращения 22.01.2024).
20. Crawford N. C. The Pentagon, Climate Change, and War / Charting the Rise and Fall of U.S. Military Emissions // The MIT Press. – 2022. – 392 p. URL: <https://mitpress.mit.edu/9780262047487/the-pentagon-climate-change-and-war> (дата обращения 22.01.2024).

***THE PLAINS OF THE UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE FOR ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE***

**S. I. Mastryukov, V. Yu. Bakhmutov (GNINGI JSC)**

*The results of the activities of the US Department of Defense on adaptation to climate change are summarized. Climate change has already moved from a potential threat to the category of a real danger to all types of human activity, and the US Department of Defense considers them an existential threat to functioning. An assessment of the current state of the measures taken by the department to combat climate change may be of interest to specialists in the field of military climatology in our country.*



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

---

**БАХМУТОВ Владимир Юрьевич,**

начальник НИОЦ АО «ГНИНГИ», канд. воен. н.

E-mail: info@gningi.ru

**ВЕСЕЛОВ Алексей Алексеевич,**

заместитель начальника отдела НИОЦ АО «ГНИНГИ».

E-mail: veselov321@mail.ru

**ГОНЧАРОВ Игорь Владимирович,**

доцент кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, канд. техн. н.

E-mail: igor\_goncharov52@mail.ru

**ГОРДЕЕВА Екатерина Александровна,**  
старший научный сотрудник АО «ГНИНГИ».

E-mail: ka\_pir@mail.ru

**ГУЗЕВИЧ Святослав Николаевич,**

старший научный сотрудник АО «ГНИНГИ».

E-mail: guzevich@yandex.ru

**ДОРОНИН Александр Павлович,**

профессор ФГБУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского», докт. техн. н., профессор.

E-mail: doronin52@mail.ru

**ЕРЫШЕВ Алексей Владимирович,**

старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра радиоэлектронного вооружения и формирования информационных ресурсов ВМФ НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия».

E-mail: vunc-vmf-4fil@mail.ru

**ЖИЛЬЦОВ Николай Николаевич,**

старший научный сотрудник АО «ГНИНГИ».

E-mail: nik12345n1k@yandex.ru

**ИСМАИЛОВ Алескер Исмаилович,**

начальник научно-исследовательского отдела АО «ГНИНГИ», докт. техн. н., профессор, заслуженный деятель науки РФ.

Тел.: +7(905)225-46-30

**КОЗЛОВА Наталья Александровна,**

научный сотрудник ФГБУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского».

E-mail: cozlowa.nat2012@yandex.ru

**Vladimir Y. BAKHMUTOV,**

Chief of Research oceanographic center (ROC), GNINGI JSC, CandSc.

E-mail: info@gningi.ru

**Aleksey A. VESELOV,**

deputy chief of division, GNINGI JSC

E-mail: veselov321@mail.ru

**Igor V. GONCHAROV,**

Associate Professor of the Department of the A. F. Mozhaisky Military Space Academy, CandSc.

E-mail: igor\_goncharov52@mail.ru

**Ekaterina A. GORDEEVA,**

Senior Researcher, the Researcher Oceanographic Center, GNINGI JSC.

E-mail: ka\_pir@mail.ru

**Svyatoslav N. GUZEVICH,**

Senior researcher of GNINGI JSC.

E-mail: guzevich@yandex.ru

**Alexandr P. DORONIN,**

Professor, A. F. Mozhaisky Military Space Academy, DSc, Professor.

E-mail: doronin52@mail.ru

**Aleksey V. ERY SHEV,**

Senior researcher of the Research center for electronic weapons of Navy, Naval Academy.

E-mail: vunc-vmf-4fil@mail.ru

**Nikolay N. ZHILTSOV,**

Senior researcher of GNINGI JSC.

E-mail: nik12345n1k@yandex.ru

**Alesker I. ISMAILOV,**

Chief of research division GNINGI JSC, DSc, Professor, honored scientist of the Russian Federation.

Tel.: +7(905)225-46-30

**Natalya A. KOZLOVA,**

Researcher, A. F. Mozhaisky Military Space Academy.

E-mail: cozlowa.nat2012@yandex.ru

**КОСТЕНИЧ Александр Валерьевич**,  
ведущий научный сотрудник НИОЦ  
АО «ГНИНГИ», канд. техн. н.  
E-mail: alkostenich@mail.ru

**Aleksander V. KOSTENICH**,  
Leading researcher GNINGI JSC, CandSc.  
E-mail: alkostenich@mail.ru

**КОСТЕНИЧ Дмитрий Александрович**,  
ведущий специалист АО «Системосервис».  
E-mail: dim-nitch@yandex.ru

**Dmitry A. KOSTENITCH**,  
Leading Specialist of Sistemoservis JSC.  
E-mail: dim-nitch@yandex.ru

**ЛОБАНОВ Вадим Николаевич**,  
научный сотрудник Научно-исследовательского  
центра радиоэлектронного вооружения и  
формирования информационных ресурсов ВМФ  
НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА».  
E-mail: vunc-vmf-4fil@mil.ru

**Vadim N. LOBANOV**,  
Researcher of the Research center for electronic  
weapons of Navy.  
E-mail: vunc-vmf-4fil@mil.ru

**МАСТРЮКОВ Сергей Иванович**,  
ведущий научный сотрудник  
НИОЦ АО «ГНИНГИ», докт. техн. н.  
E-mail: mastr\_si@mail.ru

**Sergey I. MASTRYUKOV**,  
Leading researcher, Research Oceanographic  
Center, GNINGI JSC, DSc.  
E-mail: mastr\_si@mail.ru

**МИХАЛЬ Игорь Кимович**,  
старший научный сотрудник НИОЦ АО  
«ГНИНГИ».  
E-mail: m44m@yandex.ru

**Igor K. MICHAL**,  
Senior Researcher at the Research Oceanographic  
Center of GNINGI JSC.  
E-mail: m44m@yandex.ru

**НЕКРАСОВ Сергей Николаевич**,  
старший научный сотрудник АО «ГНИНГИ»,  
докт. техн. н., профессор  
E-mail: snn00707@rambler.ru

**Sergey N. NEKRASOV**,  
Senior researcher GNINGI JSC, DSc, professor.  
E-mail: snn00707@rambler.ru

**НЕПОМИЛУЕВ Геннадий Николаевич**,  
заместитель начальника Управления навигации и  
океанографии МО РФ, капитан 1 ранга.  
E-mail: unio@mil.ru

**Gennady N. NEPOMILUEV**,  
Deputy Head of Navigation and Oceanography  
Department of the Ministry of Defense of the  
Russian Federation, Captain 1st rank.  
E-mail: unio@mil.ru

**ПЕТРОЧЕНКО Вячеслав Михайлович**,  
доцент ФГБУ ВО «Военно-космическая академия  
имени А. Ф. Можайского», канд. техн. н., доцент.  
E-mail: vmpetrochenko@mail.ru

**Vyacheslav M. PETROCHENKO**,  
Associate professor, A. F. Mozhaisky Military  
Space Academy, CandSc.  
E-mail: vmpetrochenko@mail.ru

**СМОЛИН Владимир Максимович**,  
генеральный директор АО «ГНИНГИ»,  
канд. техн. н.  
E-mail: mail@gningi.ru

**Vladimir M. SMOLIN**,  
Director General of GNINGI JSC, CandSc.  
E-mail: mail@gningi.ru

**СОЛОЩЕВ Александр Николаевич**,  
старший научный сотрудник АО «ГНИНГИ».  
E-mail: info@gningi.ru

**Alexander N. SOLOSHCHEV**,  
Senior Researcher GNINGI JSC.  
E-mail: info@gningi.ru

**СТАВРОВ Константин Георгиевич**,  
главный научный сотрудник НИОЦ АО  
«ГНИНГИ», докт. техн. н., профессор.  
E-mail: stavrov@gningi.ru

**Konstantin G. STAVROV**,  
Head researcher of the Research oceanographic  
center (ROC), GNINGI JSC, DSc, professor.  
E-mail: stavrov@gningi.ru

**СТАРОТИТОРОВ Сергей Станиславович,**  
начальник океанографического отдела  
Управления навигации и океанографии МО РФ,  
капитан 2 ранга.  
E-mail: unio@mil.ru

**ФРАНЦУЗОВ Геннадий Андреевич,**  
адъюнкт кафедры Штурманской службы ВУНЦ  
ВМФ «Военно-морская академия».  
E-mail: shturmanssv@mail.ru

**ЧУБАРОВ Роман Викторович,**  
начальник отдела гидрометеорологии управления  
гидрографии, геофизики и гидрометеорологии АО  
«ГНИНГИ».  
E-mail: hydrograph@list.ru

**ШАРКОВ Андрей Михайлович,**  
начальник управления гидрографии, геофизики  
и гидрометеорологии АО «ГНИНГИ», докт. техн.  
н., доцент.  
E-mail: sharkov-am@mail.ru

**ЯРОШЕНКО Сергей Андреевич,**  
начальник лаборатории АО «ГНИНГИ», докт.  
техн. н., доцент.  
E-mail: serg-tk13@yandex.ru

**Sergey S. STAROTITOROV,**  
Head of Oceanographic Division, Navigation and  
Oceanography Department of the Ministry of  
Defense of the Russian Federation, Captain 2nd  
rank.  
E-mail: unio@mil.ru

**Gennadiy A. FRANTSUZOV,**  
Adjunct of the Department of Navigation service  
at the Naval academy of the Russian Navy.  
E-mail: shturmanssv@mail.ru

**Roman V. CHUBAROV,**  
Chief of Division, GNINGI JSC.  
E-mail: hydrograph@list.ru

**Andrey M. SHARKOV,**  
Chief of Department for Hydrography, Geophysics  
and Hydrometeorology, GNINGI JSC, DSc,  
associate professor.  
E-mail: sharkov-am@mail.ru

**Sergei A. YAROSHENKO,**  
Chief of laboratory GNINGI JSC, DSc, reader.  
E-mail: serg-tk13@yandex.ru

---

# РЕФЕРАТЫ

---

УДК 355/359

**Смолин В. М., Ставров К. Г., Исмаилов А. И.** К 85-летию Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института // Навигация и гидрография. – 2024. – № 1 (74). – С. 7–15.

УДК 656.61.052

**Чубаров Р. В., Французов Г. А., Ярошенко С. А.** Анализ современного состояния и перспектив развития приморской инфраструктуры, обеспечивающей безопасность мореплавания в Азово-Черноморском бассейне // Навигация и гидрография. – 2024. – № 1 (74). – С. 16–26.

В статье приведены результаты анализа современного состояния и перспектив развития приморской инфраструктуры, обеспечивающей безопасность мореплавания в Азово-Черноморском бассейне на основе обработки информации из извещений мореплавателям за 2002–2021 годы. Было установлено, что за последние 20 лет наблюдается замедление темпов ввода в эксплуатацию новых и сокращение количества действующих объектов приморской инфраструктуры региона.

**Ключевые слова:** извещения мореплавателям, безопасность мореплавания, инфраструктура, Азово-Черноморский бассейн.

УДК 629.12+519.2

**Некрасов С. Н., Солощев А. Н.** Байесовские сети в кораблевождении // Навигация и гидрография. – 2024. – № 1 (74). – С. 27–33.

Приведен способ построения байесовских сетей оценки навигационной обстановки с учетом системной оценки влияния основных факторов: навигационно-гидрографических условий плавания, гидрометеорологических условий плавания и моделей управления кораблем, позволяющих оценивать навигационные риски и оценивать вклады в дисперсии соответствующих событий графа байесовской сети оценки навигационной обстановки.

**Ключевые слова:** модели данных, модели знаний, байесовские сети, методы построения байесовских сетей процесса оценки навигационной обстановки, тропинчатые модели, нахождение коэффициентов пути, вклады событий в дисперсии последующих событий.

УДК 355::528; 623.64

**Шарков А. М., Непомилуев Г. Н., Старотиторов С. С.** Перспективы развития технических средств Гидрографической службы Военно-Морского Флота // Навигация и гидрография. – 2024. – № 1 (74). – С. 34–39.

В статье кратко рассмотрены основные направления развития технических средств Гидрографической службы Военно-Морского Флота России на ближайшие 12–15 лет.

**Ключевые слова:** технические средства, Гидрографическая служба, развитие, гидрография, геофизика, гидрометеорология.

УДК 513.0; 514.8

**Гузевич С. Н.** Природная система пространственного счисления // Навигация и гидрография. – 2024. – № 1 (74). – С. 40–55.

В статье рассмотрена природная система счисления, построенная по концепции и аксиоматике Евклида, использующая принципы парности и сравнения при отображении вещественного и полевого пространства. Принцип парности связывает противоположности вещественной и полевой материи единой математико-физической основой времени и пространства, построенной на создании парных условий

сравнения, для их разделения или объединения. При измерении объектов в пространстве принцип сравнения реализован у всех биологических объектов на Земле.

**Ключевые слова:** постулаты и аксиомы Евклида, параллактический угол, образ объекта, база, парная параллактическая шаровая система координат, поля, достоверность, разрешающая способность, равновесие.

УДК 551.462.8+004.42

**Костенич А. В., Михаль И. К., Бахмутов В. Ю., Веселов А. А., Гордеева Е. А., Костенич Д. А. Расчлененность рельефа морского дна и плагин QGIS для ее определения // Навигация и гидрография. – 2024. – № 1 (74). – С. 56–70.**

В статье рассматривается один из методов определения горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа морского дна и приводится описание алгоритма их расчета с использованием плагина для геоинформационной системы QGIS.

**Ключевые слова:** рельеф морского дна, модель рельефа, горизонтальная расчлененность, вертикальная расчлененность, геоинформационные системы, разработка программного обеспечения.

УДК 681.883.44:681.883 26/28

**Жильцов Н. Н., Ерышев А. В., Лобанов В. Н. Особенности гидролого-акустического режима юго-западной акватории Карского моря в условиях поверхностного опресненного слоя // Навигация и гидрография. – 2024. – № 1 (74). – С. 71–77.**

В статье рассматривается влияние речных плумов с распресненной поверхностной водной массой Карского моря на условия распространения звука. Получены количественные оценки степени влияния на условия распространения звука в пределах поверхностного опресненного слоя в Карском море таких реальных параметров мелкого моря как его глубина, тип донного грунта, типа вертикального распределения скорости звука и значения солености. Проведено численное моделирование величины аномалии распространения звука на разных расстояниях от источника звука для различных величин, указанных выше параметров.

**Ключевые слова:** речные плумы, Карское море, вертикальный профиль, соленость, аномалии распространения звука, гидролого-акустические условия.

УДК 551.575+551.576

**Гончаров И. В., Доронин А. П., Козлова Н. А., Петроченко В. М. Методический подход к вопросу модифицирования конвективных облаков с целью вызывания осадков // Навигация и гидрография. – 2024. – № 1 (74). – С. 78–84.**

Статья посвящена разработке методического подхода к вопросу о модифицировании конвективных облаков с целью вызывания осадков для решения широкого круга задач, включая тушение лесных пожаров. Предлагаемый подход состоит из двух этапов: прогнозирование пригодности конвективных облаков к модифицированию и оценивание пригодности их к воздействию.

**Ключевые слова:** методический подход, конвективные облака, модифицирование, осадки.

УДК 551.46.0

**Жильцов Н. Н., Ерышев А. В., Лобанов В. Н. Технологии и средства мониторинга мезомасштабных процессов морской среды // Навигация и гидрография. – 2024. – № 1 (74). – С. 85–92.**

Рассмотрены современные и перспективные технологии и средства производства океанографических работ с учетом пространственно-временной изменчивости процессов, протекающих в морях и океанах. Предложены новые технологии и средства для мониторинга мезомасштабных процессов, которые ранее не выявлялись и не прогнозировались, с использованием численного моделирования. Произведен расчет

необходимого количества времени и средств измерений в соответствии с пространственной и временной изменчивостью гидрофизических процессов морской среды.

**Ключевые слова:** морская среда, океанографические работы, мониторинг, технология, Мировой океан, наблюдения, моделирование.

УДК 551.583

**Мастрюков С. И., Бахмутов В. Ю. Планы минобороны США по адаптации к изменениям климата**  
// Навигация и гидрография. – 2024. – № 1 (74). – С. 93–103.

Обобщены результаты деятельности Минобороны США по адаптации к изменениям климата. Климатические изменения из потенциальной угрозы уже перешли в разряд реальной опасности для всех видов человеческой деятельности, и в Минобороны США их рассматривают как экзистенциальную угрозу для функционирования. Оценка текущего состояния принимаемых ведомством мер по борьбе с изменениями климата может быть интересна специалистам в области военной климатологии в нашей стране.

**Ключевые слова:** изменения климата, минобороны США, научные исследования, климатические риски, адаптация, нормативно-методические документы.

## ABSTRACTS

---

**Smolin V. M., Stavrov K. G., Ismailov A. I. To the 85<sup>th</sup> Anniversary of the State Research Navigation-Hydrographic Institute** // Navigation and hydrography. – 2024. – No. 1 (74). – P. 7–15.

**Chubarov R. V., Frantsuzov G. A., Yaroshenko S. A. Analysis of the Current State and Prospects for the Development of the Coastal Infrastructure that Ensures the Safety of Navigation in the Azov-Black Sea Basin** // Navigation and hydrography. – 2024. – No. 1 (74). – P. 16–26.

The article presents the results of the analysis of the current state and prospects for the development of the coastal infrastructure that ensures the safety of navigation in the Azov-Black Sea basin based on the processing of information from notices to mariners for 2002-2021. It was found that over the past 20 years, there has been a slowdown in the pace of commissioning of new and a reduction in the number of existing facilities of the coastal infrastructure of the region.

**Keywords:** Notices to mariners, safety of navigation, infrastructure, Azov-Black Sea basin.

**Nekrasov S. N., Soloshchev A. N. Bayesian Networks in Navigation** // Navigation and hydrography. – 2024. – No. 1 (74). – P. 27–33.

A method is given for constructing Bayesian networks for assessing the navigation situation, taking into account a systematic assessment of the influence of the main factors: navigation and hydrographic navigation conditions, hydrometeorological navigation conditions and ship control models that allow assessing navigation risks and evaluating contributions to the variance of the corresponding events of the graph of the Bayesian network for assessing the navigation situation.

**Keywords:** Data models, knowledge models, Bayesian networks, methods for constructing Bayesian networks of the navigation situation assessment process, path models, finding path coefficients, contributions of events to the variance of subsequent events.

**Sharkov A. M., Nepomiluev G. N., Starotitorov S. S. Prospects for the Development of Technical Means of the Hydrographic Service of the Navy** // Navigation and hydrography. – 2024. – No. 1 (74). – P. 34–39.

In the article the main directions of development of technical means of Hydrographic Service of the Russian Navy for the next 12-15 years are briefly considered.

**Keywords:** Technical means, Hydrographic service, development, hydrography, geophysics, hydrometeorology.

**Guzevich S. N. The Natural Spatial Number System** // Navigation and hydrography. – 2024. – No. 1 (74). – P. 40–55.

The article considers the natural spatial number system, based on the concept and axiomatics of Euclid, using the principles of pairing and comparison in the mapping of real and field space. The principle of pairing connects the opposites of real and field matter with a single mathematical and physical basis of time and space, built on the creation of paired comparison conditions for their separation or unification. When measuring objects in space, the principle of comparison is implemented in all biological objects on Earth.

**Keywords:** Euclid's postulates and axioms, parallactic angle, object image, base, paired parallactic spherical coordinate system, fields, reliability, resolution, equilibrium.

**Kostenich A. V., Mikhal I. K., Bakhmutov V. Yu., Veselov A. A., Gordeeva E. A., Kostenich D. A. The Dissection of the Seabed Relief and the QGIS Plugin for its Definition** // Navigation and hydrography. – 2024. – No. 1 (74). – P. 56–70.

---

The article discusses one of the methods for determining the horizontal and vertical dissection of the seabed relief and describes the algorithm for calculating them using a plug-in for the QGIS geoinformation system.

**Keywords:** Seabed relief, model, horizontal dissection, vertical dissection, geoinformation system, development, software.

**Zhiltsov N. N., Eryshev A. V., Lobanov V. N. Peculiarities of the Hydrologic-Acoustic Regime of the Southwestern Water Area of the Kara Sea Under the Conditions of the Surface Desalinated Layer** // Navigation and hydrography. – 2024. – No. 1 (74). – P. 71–77.

The paper considers the influence of river plumes with distributed surface water mass in the Kara Sea on sound propagation conditions. Quantitative estimates of the degree of influence of such real parameters of the shallow sea as sea depth, type of bottom soil, type of MRSW and salinity values on sound propagation conditions in the conditions of the surface desalinated layer in the Kara Sea are obtained. Numerical modeling of the sound propagation anomaly (SPA) at different distances from the sound source for different values of the above parameters was carried out.

**Keywords:** River plume, Kara Sea, vertical profile, salinity, sound propagation anomaly, hydrologic-acoustic conditions.

**Goncharov I. V., Doronin A. P., Kozlova N. A., Petrochenko V. M. Methodical Approach to the Modification of Convective Clouds in Order to Cause Precipitation** // Navigation and hydrography. – 2024. – No. 1 (74). – P. 78–84.

The article is devoted to the development of a methodological approach to the issue of modifying convective clouds in order to cause precipitation for solving a wide range of tasks, including extinguishing forest fires, consisting of two stages: forecasting the suitability of convective clouds for modification (stage 1) and assessing their suitability for exposure (stage 2).

**Keywords:** Methodical approach, convective clouds, modification, precipitation.

**Zhiltsov N. N., Eryshev A. V., Lobanov V. N. Technologies and Tools for Monitoring Mesoscale Processes of the Marine Environment** // Navigation and hydrography. – 2024. – No. 1 (74). – P. 85–92.

Modern and promising technologies and means of oceanographic work production are considered, taking into account the spatial and temporal variability of processes occurring in the seas and oceans. Technologies and tools that provide them are proposed for monitoring mesoscale processes using a mathematical model that assimilates measurement results. The calculation of the required amount of time and measuring instruments is carried out in accordance with the spatial and temporal variability of hydro physical processes.

**Keywords:** Marine environment, oceanographic work, monitoring, technology, World ocean, observations, modeling.

**Mastryukov S. I., Bakhmutov V. Yu. The Plains of the United States Department of Defense for Adaptation to Climate Change** // Navigation and hydrography. – 2024. – No. 1 (74). – P. 93–103.

The results of the activities of the US Department of Defense on adaptation to climate change are summarized. Climate change has already moved from a potential threat to the category of a real danger to all types of human activity, and the US Department of Defense considers them an existential threat to functioning. An assessment of the current state of the measures taken by the department to combat climate change may be of interest to specialists in the field of military climatology in our country.

**Keywords:** Climate change, US Department of Defense, scientific research, climate risks, adaptation, regulatory and methodological documents.



## 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 в соответствующей предметной области. 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 ученой степени доктора наук».

Журнал выходит четыре раза в год и в соответствии с Федеральным законом от 29.12.1994 № 77-ФЗ «Об обязательном экземпляре документов» поступает в Российскую книжную палату, крупнейшие библиотеки России и центры научно-технической информации.

Электронные версии выпусков журнала размещаются на сайте Российской государственной библиотеки.

Полный архив журнала в формате PDF доступен на сайте АО «ГНИНГИ» [www.gningi.ru](http://www.gningi.ru).

### 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* без аннотации и списка литературы – от 15 до 30 тыс. печатных знаков, включая пробелы.

*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 на русском и английском языках*.

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 ее содержания.

В сведениях об авторах указываются: фамилия, имя, отчество; ученая степень; ученое звание; место работы с указанием полного наименования учреждения и должности; адрес электронной почты.

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* следует использовать встроенный в пакет *MSOffice* редактор формул.

Кириллица, греческие буквы, скобки и цифры всегда набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набираются *курсивом* как в формулах, так и в тексте, кроме устойчивых форм (max, min, cos, sin, tg, log и пр.)

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.

**Адрес редакции:** АО «ГНИНГИ»,  
199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41  
Телефон: +7(962)727-18-86  
E-mail: info@gningi.ru



# НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

№ 1 (74)

Март 2024

Главный редактор В. М. Смолин

Научный редактор П. И. Малеев

Редактор И. Ю. Бугрова

Технический редактор С. А. Солодухина

Учредитель и издатель – АО «ГНИНГИ».

199106, г. Санкт-Петербург, Кожевенная линия, д. 41

Телефон: +7(962)727-18-86; E-mail: mail@gningi.ru; www.gningi.ru

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 ученой степени доктора наук».

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-43932.

Электронная версия журнала размещена на сайте [www.gningi.ru](http://www.gningi.ru)

Цена свободная

Подписано в печать 22.03.2024 г. Формат 84×108/16

Печать цифровая. Усл. печ. л. 13,65. Тираж 100 экз. Заказ № 9/3/2024-1з

Отпечатано 29.03.2024 г. в типографии ООО «Цифрофсет»,  
199178, г. Санкт-Петербург, 5-я линия В.О., дом 70, литер А, помещение 52/52Н

АО “ГНИНГИ”  
2024

ISSN 2220-0983 “Навигация и гидрография” № 1 (74) Март 2024