

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

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**32
2011**

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

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

Редакционная коллегия:

д. в. н., проф. П. Г. Бродский (первый заместитель главного редактора);
к. т. н. С. Б. Курсин (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. в. н., проф. А. И. Исмаилов;
д. в. н., проф. В. А. Катенин; к. т. н. Н. И. Леденев; к. т. н. С. И. Мастрюков;
д. т. н., проф. Н. Н. Неронов; д. т. н., проф. В. И. Пересыпкин;
акад. РАН В. Г. Пешехонов; к. в. н. Ю. В. Румянцев;
чл.-кор. РАН А. Е. Сазонов; чл.-кор. РАН А. И. Сорокин;
д. т. н., профессор К. Г. Ставров; д. т. н. С. В. Яценко

Журнал «Навигация и гидрография» включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»

Электронная версия журнала размещена на сайте www.gningi.ru

© Открытое акционерное общество
«Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт»
2011

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC
INSTITUTE**

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

PUBLISHED SINCE 1995

**32
2011**

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint-Petersburg

Editor-in-chief
S. P. Alekseyev, DSc, professor

Editorial board

P. Brodsky (first vice-editor-in-chief), DSc, professor;
S. Kursin (vice-editor-in-chief), CandSc; P. Maleyev, DSc (science editor);
I. Bugrova (editor), CandSc; V. Bakhmutov (the issue manager), CandSc;
A. Ismailov, DSc, professor; V. Katenin, DSc, professor; N. Ledenev, CandSc;
S. Mastryukov, CandSc; N. Neronov, DSc, professor;
V. Peresypkin, DSc, professor; V. Peshekhonov, DSc, Acad. RAS;
Yu. Rumyantsev, CandSc; A. Sazonov, CM RAS; A. Sorokin, DSc, CM RAS;
K. Stavrov, DSc, professor; S. Yatsenko, DSc

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

2011

СОДЕРЖАНИЕ

О реализации планов Минобороны России по структуризации подчиненных предприятий навигационно-гидрографического приборостроения. С. П. Алексеев, С. Б. Курсин, О. А. Гуляев.....	8
Методический подход к оценке экономической эффективности программы инновационного развития Открытого акционерного общества «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» (ОАО «ГНИНГИ»). П. Г. Бродский, Б. Н. Шейко, Б. В. Шустов	15
НАВИГАЦИЯ	
Определение параметров магнитного поля судна. В. В. Мелешко	23
ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ	
Комплексные гидрографо-геофизические исследования второго этапа работ по определению и обоснованию внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане. С. П. Алексеев, А. Ф. Зеньков, В. В. Глазко	31
Алгоритмы определения подножия континентального склона на основе батиметрических данных. К. Г. Ставров, А. В. Костенич, А. В. Каврайский, Е. А. Пирогова, О. Н. Граничин, А. Т. Вахитов, Е. В. Степанов, Л. С. Гуревич.....	38
Возможность получения качественной информации многолучевым эхолотом EM-122 в ледовых условиях. К. Г. Ставров, А. В. Костенич, Н. В. Червякова, Пирогова Е.А., Ю. М. Кибиткина, Д. М. Жилин.....	43
Рельеф Земли как математический объект. Ю. Н. Жуков	49
Математические инструменты описания картографического отображения рельефа Земли. Ю. Н. Жуков	60
Математическая модель эхосигналов многолучевого эхолота. М. А. Бородин	70
Морские гравиметрические комплексы и гравиметры Гидрографической службы Военно-Морского Флота. В. В. Глазко, Е. Б. Шустов, Н. Н. Филабок	79
Из истории исследования рельефа дна центрального арктического бассейна с дрейфующих ледовых платформ. Е. В. Медвѣдкин.....	87

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Ядерно-магнитная спектроскопия морских и океанических вод.	
С. Б. Зверев.....	96
Парамагнитные трассеры в морской воде. С. Б. Зверев	101
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	105
РЕФЕРАТЫ	110

C O N T E N T S

On implementing the RF Ministry of Defence plans for structuring the subordinate navigation-hydrographic device engineering enterprises. S. P. Alekseyev, S. B. Kursin, O. A. Gulyaev	8
Methodical approach to evaluation of the cost-effectiveness for the program of innovation development of «GNINGI» OJSC. P. G. Brodsky, B. N. Sheiko, B. N. Shustov	15
NAVIGATION	
Determination of the magnetic field parameters of a vessel. V. V. Meleshko	23
HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY	
Complex hydrographic-geophysical explorations during the second stage of survey with the aim to define and substantiate the outer limit of the RF continental shelf in the Arctic Ocean. S. P. Alekseyev, A. F. Zen'kov, V. V. Glazko	31
Algorithms for defining the foot of the continental slope, based on the bathymetric data. K. G. Stavrov, A. V. Kostenich, A. V. Kavraisky, E. A. Pirogova, O. N. Granichin, A. T. Vakhitov, E. V. Stepanov, L. S. Gurevich	38
The possibility to obtain the high-quality information using the EM-122 multibeam echosounder under the ice conditions. K. G. Stavrov, A. V. Kostenich, N. V. Chervyakova, E. A. Pirogova, Y. M. Kibitkina, D. M. Zhilin	43
Relief of the Earth as a mathematical object. Y. N. Zhukov	49
Mathematical tools describing the cartographic portrayal of the Earth's relief. Y. N. Zhukov	60
Mathematical model of multibeam echosounder signals. M. A. Borodin	70
Marine Gravimetric Complexes and Gravimeters of the RF Navy Hydrographic Office. V. V. Glazko, E. B. Shustov, N. N. Filabok	79
On the history of exploration of the bottom relief in the Central Arctic basin from the drifting ice platforms. E. V. Medvyedkin	87
HYDROMETEOROLOGY	
Nuclear-magnetic spectroscopy of marine and ocean waters. S. B. Zverev	96
Paramagnetic tracers in sea water. S. B. Zverev	101
INFORMATION ABOUT AUTHORS	105
ABSTRACTS	110

**О РЕАЛИЗАЦИИ ПЛАНОВ МИНОБОРОНЫ РОССИИ
ПО СТРУКТУРИЗАЦИИ ПОДЧИНЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

**С. П. АЛЕКСЕЕВ, С. Б. КУРСИН (ОАО «ГНИНГИ»)
О. А. ГУЛЯЕВ (ОАО «Ремвооружение»),**

На основе анализа современного состояния навигационно-гидрографического обеспечения морской деятельности и технического обслуживания морских средств навигации и океанографии рассмотрены организационные подходы и целесообразные пути реализации планов Минобороны по структуризации подчиненных предприятий навигационно-гидрографического приборостроения.

В условиях приведения Вооруженных Сил к новому облику одной из важных задач государственной политики в области обороны является реформирование подведомственных Минобороны России предприятий. Концепцией реформирования организаций, находящихся в ведении Министерства обороны Российской Федерации [1], определены основные пути их реформирования. В связи с этим представляется актуальным рассмотрение организационных подходов и целесообразных путей структуризации подчиненных предприятий навигационно-гидрографического приборостроения.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации и постановлением Правительства Российской Федерации [2, 3] в 2009 г. произведено преобразование в открытые акционерные общества ряда подчиненных Минобороны предприятий навигационного приборостроения – ОАО «ГНИНГИ», ОАО «18 СКТЬ», ОАО «780 РЗ ТСК» и ОАО «СКАТ-28 ВЗ» с включением их в состав ОАО «Ремвооружение», которое входит в созданное государством и контролируемое Министерством обороны РФ ОАО «Оборонсервис».

Для достижения целей Указа Президента Российской Федерации по совершенствованию деятельности организаций Минобороны России, сохранению и развитию их научного и производственного потенциала были подготовлены предложения о создании навигационно-гидрографического центра на базе ОАО «ГНИНГИ» с учетом его роли и места в системе навигационно-гидрографического обеспечения (НГО) морской деятельности. Безопасность и высокая эффективность оборонной и экономической деятельности на море поддерживается системой НГО, являющейся важной составляющей морского потенциала Российской Федерации. Основными направлениями НГО морской деятельности являются:

- разработка, производство, эксплуатация, ремонт и техническое обслуживание морских средств навигации и океанографии (МСНиО);
- оборудование побережья и морских путей средствами навигации в целях обеспечения безопасности мореплавания;

- создание, производство, распространение, поддержание на уровне современности морских навигационных карт и пособий с учетом требований действующих норм и стандартов к гидрографической изученности районов;
- исследование физических полей Мирового океана с целью повышения эффективности военно-морской и научной деятельности;
- информационное обеспечение объектов морской деятельности и потребителей навигационно-гидрографической информацией.

Оценка современного состояния НГО морской деятельности в целом дана на заседании Научно-экспертного совета Морской коллегии при Правительстве РФ от 16.12.2010 г. (протокол № 3 (318)). Отмечено, что проблемы НГО носят системный характер и связаны главным образом с недостатком финансирования. За последние два десятилетия произошло разрушение технологических цепочек производства геоинформационных ресурсов и воспроизводства инфраструктуры НГО, падение уровня управляемости и международного престижа Российской Федерации в сфере НГО морской деятельности. Устаревание имеющихся информационных ресурсов и сокращение гидрографических и океанографических работ по исследованию морских акваторий привело к несоответствию количественных и качественных показателей НГО морской деятельности национальным и мировым стандартам по пространственному охвату, доступности, целостности, точности и достоверности результатов. Это сделало невозможным поддержание в требуемом состоянии национальной коллекции морских карт и фондов государственных геоинформационных данных. Изученность морей и океанов, в том числе морских пространств, находящихся под суверенитетом и юрисдикцией России, снизилась до критического уровня. Свернуты необходимые научные исследования. Фактически прекращено воспроизводство кадрового и производственного потенциалов, что предопределило технологическую деградацию инфраструктуры системы НГО и состояние системы сервисного обслуживания морских средств навигации и океанографии, включающего в себя мониторинг их технического состояния, оперативное восстановление, текущий ремонт с периодичностью, определяемой нормативно-технической документацией, а также поддержание морских средств навигации и океанографии (МСНиО) в установленной степени готовности к использованию по назначению.

До 2009 г. техническое обслуживание и ремонт МСНиО обеспечивала Гидрографическая служба Военно-морского флота (ГС ВМФ), сокращение состава которой существенно ограничило возможности решения стоящих задач. В настоящее время система сервисного обслуживания и ремонта МСНиО в силу объективных причин (реформирования гидрографических служб флотов, низких заработных плат работников) в значительной степени утратила квалифицированные кадры специалистов-ремонтников, а продление назначенных показателей ресурса и срока службы приборов организовано на основе, не имеющей под собой научной базы. Ремонт, как правило, осуществляется по устаревшей ремонтной документации, разработанной до 1990-х годов. Планирование сервисного обслуживания и ремонта МСНиО осуществляется путем экспертной оценки.

Стратегической задачей сегодняшнего дня в области сервисного обслуживания МСНиО является адаптация существующей системы технического обслуживания, ремонта и снабжения к особенностям рыночных отношений. Исходя из необходимости коренного улучшения сложившейся ситуации, были подготовлены

предложения и начата реализация комплекса мероприятий по приведению показателей НГО в соответствие с национальными и мировыми стандартами, повышению уровня управления и международного престижа России в области НГО [4]. По оценке специалистов, реализация указанных предложений обеспечит существенное повышение экономической эффективности ОАО «Оборонсервис» за счет концентрации ресурсов, централизации управления при комплексном предоставлении услуг по НГО морской деятельности.

В соответствии с требованиями приказа Министра обороны Российской Федерации от 6 апреля 2010 г. № 320 «О Концепции адаптации системы обслуживания и ремонта вооружений и военной техники (ВВТ) к новому облику Вооруженных Сил Российской Федерации» основным субъектом, обеспечивающим сервисное обслуживание и ремонт вооружения и военной техники, должен стать субхолдинг ОАО «Ремвооружение». Его предприятия должны осуществлять периодический (по согласованному с Минобороны России плану) мониторинг технического состояния ВВТ с последующим сервисным обслуживанием и ремонтом собственными выездными бригадами и обособленными подразделениями в местах дислокации сил, а также специалистами предприятий-соисполнителей на договорной основе.

В этих условиях по степени владения информацией о реальном положении дел, наличию научного потенциала, методически подготовленных кадров, связей с предприятиями промышленности – разработчиками и изготовителями МСНиО, с подразделениями штурманских и гидрографических служб флотов роль отраслевого центра наиболее эффективно могло бы сыграть ОАО «ГНИНГИ».

Предусмотренный Концепцией Министерства обороны РФ высокий и никогда ранее в России не достигавшийся уровень решения задач сервисного обслуживания МСНиО требует создания специальной сервисной инфраструктуры, позволяющей достигнуть оптимального сочетания территориальных и отраслевых центров обслуживания и ремонта. Блок-схема предлагаемой инфраструктуры представлена на рис. 1.

Региональные сервисные центры по месту базирования кораблей и судов ВМФ в соответствии с документацией предприятий-изготовителей осуществляют:

- организацию предремонтного освидетельствования, ввод в эксплуатацию МСНиО, поступающих на корабли и суда, а также проверку качества их ремонта, доработок и модернизации;
- систематическую диагностику изделий непосредственно на кораблях и судах, участие в периодических регламентных проверках техники;
- учет технического состояния и полноты технического обслуживания каждого изделия на протяжении жизненного цикла от начала эксплуатации до утилизации;
- работы по техническому обслуживанию МСНиО;
- текущий, средний ремонт и организация капитального ремонта штурманской материальной части;
- заказ предприятиям промышленности ЗИП и расходных материалов на основе анализа их фактического наличия, учета потребностей, прогноза расходования, надежности и типовых неисправностей техники;
- организацию системы логистических складов, транспортное обеспечение работ.



Рис. 1. Предлагаемая организация сервисного обслуживания морских средств навигации и океанографии

Кроме непосредственных работ с техникой, им может быть поручена организация работы в регионах обособленных подразделений и выездных бригад других предприятий промышленности, модернизация, утилизация и разделка на лом драгоценных и цветных металлов списанных МСНиО, а также обеспечение готовности к выполнению мобилизационных мероприятий. При этом за органами военного управления ГС ВМФ сохраняются только функции по оперативному информированию о возникающих неисправностях, расстановке приоритетов выполнения задач при возникновении условий ограниченного финансирования или недостаточного наряда сервисных сил и контроля качества работ.

Во исполнение утвержденного Министром обороны плана-графика мероприятий по совершенствованию структуры предприятий ОАО «Оборонсервис» [5] в настоящее время начато объединение научно-технического, проектного, производственного потенциалов ОАО «ГНИНГИ», ОАО «18 СКТБ», ОАО «780 РЗ ТСК» и «ОАО «СКАТ-28 ВЗ», что расширит рынок и позволит на новом уровне выполнять работу по разработке, сервисному обслуживанию, ремонту, а в дальнейшем и по производству и утилизации МСНиО и средств навигационного оборудования (СНО). Инновационный характер проводимых мероприятий по совершенствованию организации управления и оптимизации предприятий навигационно-гидрографического приборостроения, входящих в структуру ОАО «Ремвооружение», обеспечит единый технологический цикл разработки и производства новых морских средств навигации и океанографии, их ремонта, проведения испытаний и сервисного обслуживания. По оценке специалистов

внедрение предлагаемой реорганизации должно повысить эффективность управления сервисным обслуживанием МСНиО и СНО в два раза, а снижение затрат в два-три раза (рис. 2).



Рис. 2. Эффекты от объединения предприятий навигационно-гидрографического приборостроения МО РФ

Объединение предприятий навигационно-гидрографического приборостроения МО РФ позволит:

1. В области финансов:

- сэкономить средства за счет сокращения дублирующих управленческих и обеспечивающих структур – от 9 до 12 млн. руб. ежегодно;
- снизить себестоимость продукции на 7–9% (прогнозируемый годовой эффект от 17 до 32 млн. руб. ежегодно, в зависимости от загрузки предприятий);
- привлекать кредиты без финансовых посредников по более низким процентным ставкам за счет увеличения объема капитализации при объединении предприятий;
- сгладить неравномерность бюджетного финансирования за счет более свободного маневра денежных средств.

2. В области удовлетворения потребности собственников:

- более качественно выполнять поставленные задачи;
- своевременно и более равномерно удовлетворять запросы заказчиков.

3. В области кадровой политики:

- сохранить и нарастить научный и производственный квалифицированный персонал.

4. В области предметной деятельности:

- повысить жизнеспособность и устойчивость в условиях рынка;
- расширить уровень кооперирующих связей с взаимодействующими организациями.

5. В области нематериальных активов:

– направить консолидацию усилий на инновационную, исследовательскую и изобретательскую деятельность.

Дальнейшее развитие, на наш взгляд, предполагает возможность формирования единого информационного пространства о состоянии природной среды Мирового океана. В настоящее время за обстановкой в Мировом океане ведут наблюдение, осуществляют сбор и обработку информации (или заинтересованы в получении этой информации) десятки различных ведомств и организаций. Для этого используются свыше десяти крупных комплексных информационных систем министерств и ведомств РФ, более тридцати различных межведомственных и базовых систем и источников информации, требующихся для освещения и объективной оценки обстановки в Мировом океане. Важнейшими задачами таких систем являются добытие, сбор, обработка, анализ, обобщение и отображение погодной и координатно-объектовой информации о надводной и подводной обстановке, архивной, научной и аналитической информации о Мировом океане в интересах органов государственного и военного управления РФ, а также министерств и ведомств, осуществляющих морскую деятельность России.

Указом Президента Российской Федерации от 4 марта 2000 г. «О совершенствовании морской деятельности Российской Федерации» задача развития глобальных информационных систем, обеспечивающих морскую деятельность, выделена в число приоритетных. Однако работы по созданию информационных систем ведутся по экстенсивному принципу. Ведомствами самостоятельно, без единого замысла и плана осуществляется развертывание систем, подразделений и технических средств освещения обстановки, измерений параметров природной среды, наблюдения и контроля для решения своих узковедомственных задач. При создании информационных систем используются различные, зачастую устаревшие, научно-технические подходы, системные принципы и организационно-технологические решения. Для отображения информации используются картографические основы различных стандартов. Отсутствие скоординированной организационно-технической политики приводит к тому, что действующие и разрабатываемые современные автоматизированные информационные системы технически несовместимы, отсутствует единый государственный информационный ресурс, происходит дублирование функций.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 12 августа 2010 г. № 619 определено, что «...функционирование Единого центра данных океанографических и гидрографических исследований Мирового океана будет осуществляться на базе открытого акционерного общества «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» и федерального бюджетного учреждения «280 Центральное картографическое производство» Министерства обороны Российской Федерации». Используя находящиеся в государственной собственности подведомственные Минобороны России морские картографо-геодезический, океанографический и геофизический фонды, а также соответствующие технико-технологические ресурсы ОАО «ГНИНГИ» и «280 ЦКП ВМФ», целесообразно создать «Центр картографического обеспечения морской деятельности», обеспечивающий подготовку, выпуск и распространение официальных унифицированных с международной системой координат WGS-84 бумажных и электронных морских

карт, а также иной навигационно-гидрографической информации в интересах обеспечения национальной безопасности и плавания по морским путям.

Таким образом, *концентрация* научно-технического, проектного и производственного потенциалов ОАО «ГНИНГИ», ОАО «18 СКТЬ», ОАО «780 РЗ ТСК» и ОАО «СКАТ-28 ВЗ», а в дальнейшем также находящихся в государственной собственности подведомственных Минобороны России морских картографо-геодезических, океанографических и геофизических фондов *в единую навигационно-гидрографическую структуру*, позволит успешно решать возложенные на Министерство обороны задачи в соответствии с принятой правительством РФ стратегией развития морской деятельности Российской Федерации в сфере ответственности Министерства обороны и существенно снизить нагрузку на федеральный бюджет за счёт коммерческой реализации информационной и картографической продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция реформирования организаций, находящихся в ведении Министерства обороны Российской Федерации, 2008 (утверждена Министром обороны РФ 19 февраля 2008 г.).
2. Указ Президента Российской Федерации от 15 сентября 2008 г. №1359 «Об открытом акционерном обществе «Оборонсервис». – Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008. – № 38. – Ст. 4273.
3. Постановление Правительства от 22 ноября 2008 г. № 875 «О мерах по реализации Указа Президента Российской Федерации от 15 сентября 2008 г. №1359 «Об открытом акционерном обществе «Оборонсервис». – Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008. – № 48. – Ст. 5623.
4. Алексеев С. П. Инновационное развитие системы навигационно-гидрографического обеспечения – важный фактор реализации стратегии совершенствования морской деятельности Российской Федерации // Тр. VII Российской научно-техн. конф. «НГО-2011» – СПб, 2011. – С. 24–39.
5. План-график мероприятий по реорганизации ДЗО (дочерних зависимых обществ) в структуру ОАО «Оборонсервис» в форме присоединения к субхолдингам или ДЗО, 2011 (утверждена Министром обороны РФ 16 сентября 2011 г.).

ON IMPLEMENTING THE RF MINISTRY OF DEFENSE PLANS FOR STRUCTURING THE SUBORDINATE NAVIGATION DEVICE ENGINEERING ENTERPRISES

S. P. Alekseyev, S. B. Kursin («GNINGI» OJSC),
O. A. Gulyaev («Remvooruzheniye» OJSC)

The organizational approaches and expedient ways to implementing the MoD plans for structuring the subordinate navigation device-making enterprises, based on the analysis of the current state of navigation-hydrographic support for maritime activities and technical service of the marine aids to navigation and oceanography, are considered.

УДК 658+656.6+551.48

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММЫ ИННОВАЦИОННОГО
РАЗВИТИЯ ОТКРЫТОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ» (ОАО «ГНИНГИ»)**

**П. Г. БРОДСКИЙ, Б. Н. ШЕЙКО,
Б. В. ШУСТОВ (ОАО «ГНИНГИ»)**

В статье рассмотрены общие принципы формирования программы инновационного развития, применимые к любой организации как субъекту хозяйственной деятельности, и предложен подход к расчету показателей ее экономической эффективности. Приведены результаты расчетов показателей эффективности двух проектов Программы ОАО «ГНИНГИ».

В основе создания и развития конкурентных преимуществ ОАО «ГНИНГИ» лежит Программа инновационного развития института, представляющая собой комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных, организационных, финансовых, коммерческих работ и других мероприятий, которые соответствующим образом организованы (увязаны по ресурсам, технологиям и срокам). Программа сопровождается комплектом документации и обеспечивает эффективное решение задач развития института и нахождение конкретных научно-технических путей реализации их результатов.

Программа состоит из комплекса инновационных проектов, таких как:

- разработка инновационных технологий выполнения гидрографических и геофизических работ в тяжелых ледовых условиях;
- разработка технико-технологических решений в области создания и совершенствования средств гидрографии, морской геофизики и океанографии;
- безопасность морской деятельности;
- инновационные ледовые технологии,

Программа включает также ряд других проектов, обладающих совокупностью рисков, но при этом создающих возможность получения высокой отдачи на вложенный капитал. Реализация перечисленных проектов должна способствовать развитию института за счет перевода результатов научных исследований и разработок в коммерческие. Ниже приводится описание предлагаемой авторами методики оценки экономической эффективности Программы инновационного развития ОАО «ГНИНГИ».

Конечный коммерческий результат инновационного проекта зависит от степени его эффективности, которую необходимо оценивать с точки зрения реальных возможностей производства конечной наукоемкой продукции в соответствии с рыночными потребностями. При соответствии эффективности конкретного инновационного проекта уровню корпоративных критериев института данный проект включается в Программу инновационного развития.

Оценка проектов должна производиться поэтапно [1]. Как правило, на первом этапе проводится первоначальная диагностика инновационного проекта. В случае положительного результата на втором этапе осуществляется комплексная оценка инновационного проекта и проработка путей его эффективной реализации.

Первоначальная диагностика инновационных проектов – совокупность методологических средств и технических приемов, используемых для предварительной оценки технологического, коммерческого и рыночного потенциала проектов. Ее цель – с минимальными затратами времени и ресурсов принять решение о необходимости (либо об отсутствии необходимости, если проект откладывается) дальнейшей комплексной оценки эффективности проектов.

Задачи первоначальной диагностики проектов:

- оценка возможностей исполнителей проекта реализовать данный проект;
- проверка на патентную чистоту предлагаемых технологических и технических решений;
- оценка технического уровня предлагаемого инновационного продукта;
- оценка конкурентоспособности предлагаемого инновационного продукта;
- предварительный экспертный анализ предполагаемых экономических результатов от внедрения инновационного продукта и сопоставление их с затратами, связанными с разработкой и реализацией;
- экспертный анализ рисков реализации проекта.

В результате первоначальной диагностики осуществляется отбор предлагаемых инновационных проектов, имеющих наиболее высокую степень инвестиционной привлекательности при приемлемом уровне риска.

Критериями отбора проектов на этапе первоначальной диагностики являются:

- новизна подхода к решению проблемы и уникальность предлагаемой технологии;
- уровень научно-технических разработок, используемых в проекте;
- реалистичность решаемых в проекте задач;
- возможность эффективной правовой защиты результатов разработок;
- отсутствие аналогов предлагаемого нового продукта или мера его технического, коммерческого превосходства перед аналогами;
- степень коммерческой направленности и конкурентоспособности инновационного продукта;
- уровень организационных решений при управлении проектом и наличие опыта реализации проектов;
- социальная направленность результатов проекта;
- уровень безопасности по сферам жизнедеятельности.

Отобранные инновационные проекты должны быть сопоставимы по показателям экономической эффективности и подвергаться анализу с помощью единой системы показателей.

Для комплексной оценки эффективности отобранных на первом этапе инновационных проектов используют множество специальных методов оценки [2–11], которые подразделяются на две основные группы: методы, основанные на дисконтированных оценках, и методы, основанные на учетных оценках. Выбор метода определяется сроками осуществления проекта, размером инвестиций, наличием альтернативных проектов и другими факторами.

Наиболее часто для оценки эффективности проектов применяют методы, основанные на дисконтированных оценках. Эти методы наиболее точные, так как учитывают инфляцию, изменения процентной ставки, нормы доходности и т. д.

К ним относят методы [3]:

- чистой текущей стоимости;
- индекса рентабельности;
- внутренней нормы доходности;
- текущей окупаемости.

Метод чистой текущей стоимости NPV (Net Present Value) [5] состоит в определении затрат и результатов за определенный период, приведенных к одному, обычно начальному, году, т. е. с учетом дисконтирования результатов и затрат и вычислении разности между результатами и затратами (определении чистой текущей стоимости NPV) за все годы реализации проекта.

Дисконтированные капитальные затраты PVI (Present Value of Investment) могут быть определены по формуле [5]:

$$PVI = \sum_{k=1}^t PVI_k \cdot Ak, \quad (1)$$

где PVI_k – инвестиции, поступившие в k -ом году;

t – количество лет реализации проекта;

Ak – коэффициент дисконтирования для k -го года.

Дисконтированный доход PVR (Present Value Return) может быть определен по формуле [5]:

$$PVR = \sum_{k=1}^t PVR_k \cdot Ak, \quad (2)$$

где PVR_k – доходы, поступившие в k -ом году;

Чистая приведенная суммарная по всем годам реализации проекта стоимость (чистая прибыль) определится как разность между дисконтированным доходом и затратами:

$$NPV = PVR - PVI, \quad (3)$$

Дисконтированный доход и дисконтированные капитальные затраты складываются из всех доходов и расходов соответственно (инвестиционных, операционных и т. д.), связанных с реализацией проекта.

Коэффициент дисконтирования Ak может быть определен по формуле [5]:

$$Ak = 1/(1 + E)^k, \quad (4)$$

где E – норма дисконта, зависящая от банковской ставки, уровня инфляции и риска проекта для каждого 1, 2, ... k ... t года реализации проекта.

Проект эффективен при любом положительном значении NPV . Чем это значение больше, тем эффективнее проект.

Чистую текущую стоимость (поток реальных денег) называют также: интегральный эффект, чистый дисконтированный доход, чистый приведенный эффект.

Метод индекса рентабельности PI (Profitability Index) [5] позволяет проводить ранжирование различных проектов в порядке убывающей рентабельности. PI представляет собой отношение дисконтированного дохода PVR к приведенным инновационным расходам PVI – те же величины, что были использованы для получения чистой текущей стоимости NPV . Здесь сравниваются две части денежного потока: доходная и инвестиционная. Индекс рентабельности показывает величину получаемого дохода на каждый рубль инвестиций. Проект будет эффективным при значении PI , превышающем 1.

Очевидно, что индекс рентабельности тесно связан с интегральным эффектом. Если последний положителен, то $PI > 1$, следовательно, инновационный проект считается экономически целесообразным, и наоборот. Предпочтение должно отдаваться тем инновационным решениям, для которых наиболее высок индекс рентабельности.

Индекс рентабельности имеет и другие названия: индекс доходности, индекс прибыльности.

Метод внутренней нормы доходности IRR (Internal Rate of Return) [5] позволяет определять ту норму дисконта (E), при которой суммарное значение дисконтированных доходов PVR равно суммарному значению дисконтированных капитальных вложений PVI . Внутреннюю норму доходности иногда называют нормой или порогом рентабельности.

Расчет нормы рентабельности часто применяют в качестве первого шага количественного анализа инвестиций, и для дальнейшего анализа отбирают те инновационные проекты, внутренняя норма доходности которых оценивается величиной не ниже 15–20%. Другими словами, норма рентабельности определяется как некое пороговое значение рентабельности, которое обеспечивает равенство нулю интегрального эффекта NPV , рассчитанного за экономический срок жизни инноваций.

Для определения внутренней нормы доходности IRR удобно воспользоваться графиком зависимости чистой текущей стоимости NPV от величины нормы дисконта E . Для этого рассчитывают два значения NPV при двух любых значениях E и строят график (см. рис.).

Искомое значение IRR получаем в точке пересечения графика с осью абсцисс, т. е. $IRR = E_0$ при $NPV = 0$.

Метод внутренней нормы доходности IRR используют, когда необходимо сделать выбор между несколькими альтернативными проектами. Проект считается более выгодным при более высоком значении IRR . В любом случае величина IRR должна быть выше банковской ставки, иначе риск инвестирования денег в инновацию не будет оправдан, поскольку проще и без риска деньги можно будет вложить в банк. Если инновационный проект полностью финансируется за счет ссуды банка, то значение нормы рентабельности указывает верхнюю границу допустимого уровня банковской процентной ставки, превышение которого делает данный проект экономически неэффективным.

Показатель внутренней нормы доходности имеет другие названия: норма рентабельности, внутренняя норма прибыли, норма возврата инвестиций.

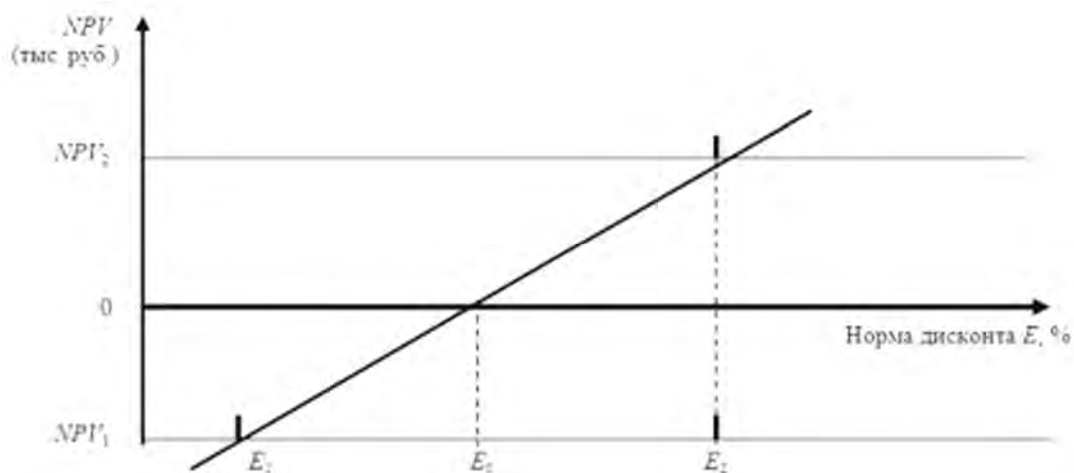


График зависимости чистой текущей стоимости NPV от величины нормы дисконта E

Метод текущей окупаемости позволяет определить временной интервал, за пределами которого чистая текущая стоимость NPV становится положительной величиной, т. е. окупаемость достигается в периоде, когда накопленная положительная текущая стоимость становится равной отрицательной текущей стоимости всех вложений. Это количество лет, которые необходимы для возмещения инвестиций. Данный метод необходимо использовать, когда инвестирование в условиях рынка сопряжено со значительным риском, и этот риск тем больше, чем более длителен срок окупаемости вложений.

Все перечисленные методы оценки эффективности проекта дополняют друг друга, поэтому для комплексной оценки инновационного (инвестиционного) проекта целесообразно использовать данные методы в совокупности.

В качестве основных показателей экономической эффективности программы инновационного развития института авторами предлагается использовать показатели, оценивающие ее экономический результат:

- чистый дисконтированный доход, получаемый при реализации программы (ЧП – чистая прибыль);
- индекс рентабельности программы (ИР);
- внутренняя норма доходности программы (ВНД);
- срок окупаемости капитальных затрат на реализацию программы (T).

Чистая прибыль от реализации программы определяется путем суммирования чистой стоимости реализации каждого проекта, включенного в программу (чистого дисконтированного дохода):

$$\text{ЧП} = \sum_{i=1}^n NPVi, \quad (5)$$

где n – количество проектов в программе;

$NPVi$ – чистый дисконтированный доход от реализации i -го проекта.

Индекс рентабельности программы определяется как среднее арифметическое индексов рентабельности инновационных проектов, включенных в программу:

$$ИР = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Pli, \quad (6)$$

где Pli – индекс рентабельности i – го проекта;

n – количество проектов.

Внутренняя норма доходности программы определяется как среднее арифметическое внутренних норм доходности инновационных проектов, включенных в программу:

$$ВНД = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n IRRi, \quad (7)$$

где $IRRi$ – внутренняя норма доходности i -го проекта;

n – количество проектов в программе.

Срок окупаемости капитальных затрат на реализацию программы определяется по наибольшему сроку окупаемости проекта среди всех проектов, включенных в программу.

Таким образом, программа инновационного развития института должна содержать инновационные проекты, способные привести к коммерческому успеху, обеспечив себе конкурентные преимущества на рынке производимых продуктов и услуг. Предварительный отбор инновационных проектов должен осуществляться с использованием единой системы показателей экономической эффективности.

Предложенный авторами подход к оценке экономической эффективности программы инновационного развития института сформирован на основе анализа существующих методических положений, содержащихся в литературных источниках, неполный перечень которых приведен в конце статьи.

Для оценки коммерческого успеха реализации программы инновационного развития необходимо, помимо показателей экономической эффективности программы, использовать и ряд других (показатели эффективности управления, кадрового потенциала, организации выполнения проектов, реагирования на текущие внешние и внутренние изменения и др.).

В качестве примера рассмотрим экономическую эффективность отдельных элементов Программы инновационного развития ОАО «ГНИНГИ» на 2011–2013 гг. по двум приоритетным областям.

Учитывая тот факт, что любая организация проходит этап первоначального становления или фазу коренной реорганизации, при оценке эффективности проектов часто приходится использовать планируемые значения вместо значений, не существующих на момент проведения оценки. Для расчетов использовались данные макроэкономической статистики сайта Банк России [12]. Ставка рефинансирования до 2008 г. составляла 10–12% годовых, кризисные явления заставили ее поднять, но

сейчас сохраняется устойчивая тенденция к ее снижению до уровня 8,25% (с 3 мая 2011 г.).

Рассмотрим два проекта – «Безопасность морской деятельности» и «Инновационные ледовые технологии» в рамках раздела «Обеспечение инновационного развития наукоемких направлений деятельности института путем создания и развития технико-технологической базы для разработки и внедрения высокотехнологичной и наукоемкой продукции» с учетом того, что каждый из проектов состоит из совокупности подпроектов.

Результаты расчетов показателей проекта «Безопасность морской деятельности» составили:

- дисконтированные капитальные затраты $PVI_{\text{без}} = 547\,933,0$ тыс. руб.;
- коэффициент дисконтирования $A_{2011} = 1,0$;
- коэффициент дисконтирования $A_{2012} = 0,926$;
- коэффициент дисконтирования $A_{2013} = 0,797$;
- дисконтированный доход $PVR_{\text{без}} = 778\,064,8$ тыс. руб.;
- чистая приведённая стоимость $NPV_{\text{без}} = 230\,131,8$ тыс. руб.;
- индекс рентабельности $PI_{\text{без}} = 1,42$ (42%);
- срок окупаемости проекта составил – 32 месяца.

Результаты расчетов показателей проекта «Инновационные ледовые технологии» составили:

- дисконтированные капитальные затраты $PVI_{\text{лед}} = 378\,421$ тыс. руб.;
- коэффициент дисконтирования $A_{2011} = 1,0$;
- коэффициент дисконтирования $A_{2012} = 0,877$;
- коэффициент дисконтирования $A_{2013} = 0,718$;
- дисконтированный доход $PVR_{\text{лед}} = 450\,320,9$ тыс. руб.;
- чистая приведённая стоимость $NPV_{\text{лед}} = 71\,899,9$ тыс. руб.;
- индекс рентабельности $PI_{\text{лед}} = 1,19$ (19%);
- срок окупаемости проекта составил – 39 месяцев.

Приведенные данные свидетельствуют о весьма высокой экономической эффективности вложения средств в рассмотренные проекты Плана инновационного развития института при допустимом уровне всех рисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инновационная деятельность малого предпринимательства. Экспертиза инновационных проектов (<http://www.dist-cons.ru/modules/innova/section7.html>).
2. Тришкина Н. А. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности. Московский институт экономики, менеджмента и права. Центр дистанционных образовательных технологий. Электронное издание, учебно-методический комплекс, ч. 2. – 2010. – 38 с.
3. Власова В. М. Методы оценки эффективности инвестиций. Электронная версия. Санкт-Петербургский государственный университет (www.elitarium.ru).
4. Непомнящий Е. Г. Инвестиционное проектирование. Таганрог: Изд-во Таганрогского радиотехнического университета, 2003. – 262 с. Электронная версия.
5. Финансовый анализ. // Информационный он-лайн справочник (<http://financial-analysis.ru/>)
6. Тумина Т. А. Методология оценки эффективности инновационной деятельности // Транспортное дело России, № 1, 2009. – 6 с.
7. Нарышкин С. Е. Инновационная составляющая инвестиционных процессов // Вопросы экономики, № 5, 2007. – С. 52–64.
8. Коршун О. В. Формирование методики оценки эффективности инновационных проектов // Екатеринбург, Изд-во Уральского государственного экономического университета – 2004. – 120 с.

9. Лосев В. С. Эффективность инноваций // Экономика строительства. – 1998. – № 9. – 41 с.
10. Ефименко А. З. Содержание и эффективность инновационного проекта // Экономика строительства. – 1998. – № 9. – 95 с.
11. Волков А. С., Марченко А. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. М.: РИОР, 2006. – 111 с.
12. Основные экономические показатели // Сайт Банка России, Макроэкономическая статистика (<http://www.cbr.ru/statistics/Prtid=macro>).

METHODICAL APPROACH TO EVALUATION OF THE COST-EFFECTIVENESS FOR THE PROGRAM OF INNOVATION DEVELOPMENT OF «GNINGI» OJSC

P. G. Brodsky, B. N. Sheiko, B. N. Shustov («GNINGI» OJSC)

The general principles of forming the innovation development program applicable to any organization as a subject of economic activity are considered. The approach to calculation of the cost-effectiveness indices is suggested. The results of calculation of the cost-effectiveness indices for two projects of the “GNINGI” OJSC Program are presented.

НАВИГАЦИЯ

УДК 681.586.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СУДНА

В. В. МЕЛЕШКО

(НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина)

Рассмотрен способ определения параметров намагниченности морского объекта в реальных условиях плавания, позволяющий отказаться от традиционных методик уничтожения широтной девиации.

Магнитное поле в конкретной точке объекта описывают уравнениями Пуассона [1]:

$$\begin{aligned} X' &= X + aX + bY + cZ + P; \\ Y' &= Y + dX + eY + fZ + Q; \\ Z' &= Z + gX + hY + kZ + R; \end{aligned} \quad (1)$$

где X', Y', Z' – проекции вектора напряженности (или индукции) \vec{T}' суммарного магнитного поля на оси, связанные с объектом;

X, Y, Z – составляющие вектора напряженности \vec{T} магнитного поля Земли (МПЗ).

Входящие в эти уравнения коэффициенты a, b, c, \dots, k называют параметрами Пуассона. Они характеризуют влияние магнитомягкого железа. Слагаемые P, Q, R выражают проекции напряженности магнитотвердого железа. Величины P, Q, R остаются практически неизменными. Параметры Пуассона незначительно зависят от широты места. Назовем совокупность параметров Пуассона и слагаемых P, Q, R параметрами *поля ферромагнитного объекта (ПФО)*.

Для вычисления магнитной девиации магнитного компаса на флоте и в авиации применяют формулу:

$$\delta = A + B \sin \psi_k + C \cos \psi_k + D \sin 2 \psi_k + E \cos 2 \psi_k, \quad (2)$$

где A, B, C, D, E – коэффициенты девиации.

Между параметрами ПФО и коэффициентами девиации существуют приближенные зависимости, которые можно использовать при горизонтальном положении объекта:

$$A = \frac{d-b}{2\lambda}, B = \frac{cZ+P}{\lambda H}, C = \frac{fZ+Q}{\lambda H}, D = \frac{a-e}{2\lambda}, E = \frac{d+b}{2\lambda}, \lambda = 1 + \frac{a+e}{2}, \quad (3)$$

Составляющую, описываемую коэффициентом A , называют круговой девиацией, она неизменна при любом курсе объекта. Коэффициенты B и C характеризуют полукруговую девиацию; она изменяется от нуля до максимума за поворот объекта (полкруга). Обычно полукруговые девиации являются определяющими на объекте.

Коэффициенты D и E характеризуют четвертную девиацию, которая изменяется от нуля до максимума за четверть круга.

Как видно из выражений (3), полукруговая девиация зависит от магнитотвердого железа (коэффициентов P и Q), магнитомягкого железа, состояние которого зависит от МПЗ (вертикальной составляющей Z и горизонтальной составляющей H). Поскольку Z и H изменяются в зависимости от координат места, то и полукруговая девиация изменяет свою величину с изменением координат места. В условиях малого волнения (1–2 балла), при которых производится измерение остаточной девиации, коэффициенты (3) достаточно хорошо совпадают с вычисленными по результатам измерений.

Как показывают проведенные исследования, в условиях качки объекта формула (2) с коэффициентами (3) дает весьма приближенную оценку девиации (рис. 3).

Уничтожение девиации судна по традиционным методикам требует больших затрат времени, исчисляемых часами [1], и значительных энергозатрат для обеспечения маневров судна.

Более точную оценку влияния магнитных полей-помех, а значит, и уничтожения этого влияния (т. е. девиации) можно выполнить по параметрам ПФО. Примеры такой оценки можно найти в работе [2].

Для их определения можно предложить следующую методику.

Представим модель (1) в векторно-матричной форме. Для этого введем следующие векторы и матрицы:

$$\mathbf{T}' = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad \mathbf{M} = \begin{bmatrix} P \\ Q \\ R \end{bmatrix}; \quad \mathbf{T}_g = \begin{bmatrix} 0 \\ H \\ -Z_g \end{bmatrix}.$$

Здесь \mathbf{T}' – вектор суммы магнитного поля Земли и объекта в его заданной точке, \mathbf{F} – матрица параметров магнитомягкого железа, \mathbf{T} – вектор магнитной индукции МПЗ в проекциях на оси объекта $Ox_c y_c z_c$ (рис. 1), \mathbf{M} – вектор индукции магнито-твердого железа, \mathbf{T}_g – вектор составляющих (горизонтальной H и вертикальной $-Z_g$) МПЗ в проекциях на оси сопровождающего базиса $O\xi_m \eta_m \zeta$.

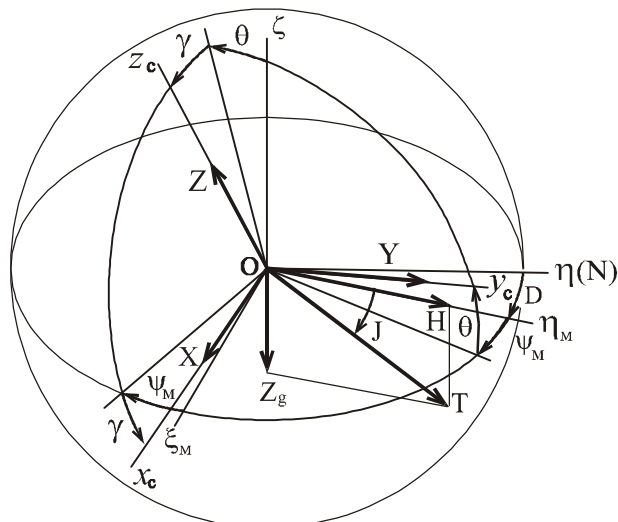


Рис. 1. Углы и системы координат

Вектор \mathbf{T} связан с вектором \mathbf{T}_g соотношением $\mathbf{T} = C^{bg} \mathbf{T}_g$, где C^{bg} – матрица направляющих косинусов между сопровождающим и связанным базисами, взаимное положение которых задано углами магнитного курса ψ_m , дифферента θ и крена γ :

C^{bg}	ξ_m	η_m	ζ
x_c	$\cos \gamma \cos \psi_m + \sin \gamma \sin \theta \sin \psi_m$	$-\cos \gamma \sin \psi_m + \sin \gamma \sin \theta \cos \psi_m$	$-\sin \gamma \cos \theta$
y_c	$\cos \theta \sin \psi_m$	$\cos \theta \cos \psi_m$	$\sin \theta$
z_c	$\sin \gamma \cos \psi_m - \cos \gamma \sin \theta \sin \psi_m$	$-\sin \gamma \sin \psi_m - \cos \gamma \sin \theta \cos \psi_m$	$\cos \gamma \cos \theta$

(4)

Компоненты вектора \mathbf{T} в результате имеют вид:

$$X = H(\cos \psi_m \sin \theta \sin \gamma + \sin \psi_m \cos \gamma) + Z_g \cos \theta \sin \gamma,$$

$$Y = H \cos \psi_m \cos \theta - Z_g \sin \theta,$$

$$Z = -H(-\sin \psi_m \sin \gamma + \cos \psi_m \cos \gamma \sin \theta) - Z_g \cos \theta \cos \gamma.$$

Магнитный курс связан с истинным курсом ψ соотношением $\psi_m = \psi - D$, где D – магнитное склонение. Таким образом, выражения (1) можно записать в виде:

$$\mathbf{T}' = (\mathbf{I} + \mathbf{F})\mathbf{C}\mathbf{T}_g + \mathbf{M} = \mathbf{C}\mathbf{T}_g + \mathbf{F}\mathbf{C}\mathbf{T}_g + \mathbf{M}, \quad (5)$$

Составляющие \mathbf{T}' измеряют трехосным магнитометром, вектор выходных сигналов которого обозначим $\tilde{\mathbf{T}}'$. Направляющие косинусы (4) определяют по

показаниям гирогоризонткомпаса с учетом магнитного склонения D , определяемого из карт или таблиц МПЗ. Составляющие МПЗ можно легко определить, например, с помощью калькулятора *National Geophysical Data Centre*. Для этого необходима информация о координатах объекта, которая может быть получена от спутникового приемника. В результате от (5) перейдем к соотношению:

$$\tilde{\mathbf{T}}' - \tilde{\mathbf{C}}\tilde{\mathbf{T}}_g = \mathbf{F}\mathbf{C}\mathbf{T}_g + \mathbf{M} = \mathbf{F}\mathbf{T} + \mathbf{M}. \quad (6)$$

Волной в этом выражении отмечены измеренные или вычисленные значения. Таким образом, получим разность:

$$\Delta = \tilde{\mathbf{T}}' - \tilde{\mathbf{C}}\tilde{\mathbf{T}}_g.$$

При движении объекта в процессе качки или циркуляции снимаем ряд значений

$$\Delta_i = \mathbf{F}\mathbf{C}_i\mathbf{T}_g + \mathbf{M} = \mathbf{F}\mathbf{T}_i + \mathbf{M}, \quad (7)$$

где i – номер измерения. Представим вектор разностей $\Delta = [\Delta X \quad \Delta Y \quad \Delta Z]^T$.

Запишем выражение (7) в развернутом виде:

$$\begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P \\ Q \\ R \end{bmatrix}.$$

Преобразуем его к виду:

$$\begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c & P \\ d & e & f & Q \\ g & h & k & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix}.$$

При количестве измерений $i=1 \dots n$

$$\begin{bmatrix} \Delta X_1 \dots \Delta X_n \\ \Delta Y_1 \dots \Delta Y_n \\ \Delta Z_1 \dots \Delta Z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c & P \\ d & e & f & Q \\ g & h & k & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \dots X_n \\ Y_1 \dots Y_n \\ Z_1 \dots Z_n \\ 1 \dots 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Введем обозначения матриц:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \Delta X_1 \dots \Delta X_n \\ \Delta Y_1 \dots \Delta Y_n \\ \Delta Z_1 \dots \Delta Z_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{S} = \begin{bmatrix} a & b & c & P \\ d & e & f & Q \\ g & h & k & R \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} X_i \dots X_n \\ Y_i \dots Y_n \\ Z_i \dots Z_n \\ 1 \dots 1 \end{bmatrix}.$$

Тогда (8) можно представить в компактном виде

$$\mathbf{B} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{A}$$

Воспользуемся методом наименьших квадратов (МНК) в пакетной форме [3]

$$\widehat{\mathbf{S}} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}^+ = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}^m \cdot (\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^m)^{-1},$$

где матрица $\mathbf{A}^+ = \mathbf{A}^m \cdot (\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^m)^{-1}$ называется псевдообратной, или в другой форме [4]:

$$\widehat{\mathbf{S}}^T = (\mathbf{N}^T \mathbf{N})^{-1} \mathbf{N}^T \mathbf{B}^T,$$

где $\mathbf{N} = \mathbf{A}^T$.

В результате найдем оценки параметров ПФО $\widehat{\mathbf{S}}$, соответствующие матрице параметров \mathbf{S} .

Рассмотрим возможности такого способа определения параметров ПФО, проведя моделирование.

В качестве характеристики эффективности оценки используем отношение оценки к заданному параметру для основных шести параметров (P, Q, R, a, e, k).

Моделирование показывает такие особенности способа.

Для полной оценки всех параметров движение корабля должно быть пространственным, т. е. качка должна быть как минимум двухосной, или же одноосную качку следует дополнить циркуляцией. Для выполнения оценки необходимы как минимум четыре шага измерений. Это объясняется тем, что для выражения (8) возможна декомпозиция на три векторных уравнения, в каждом из которых содержится четыре определяемых параметра (строки \mathbf{S}). Чем больше изменяется положение судна на шаге качки, тем лучше. Случайность качки способствует повышению качества оценки. Увеличение количества измерений способствует сглаживанию влияния случайных ошибок измерителей.

В заключение приведем результаты конкретного примера. На рис. 2 показаны графики изменения углов курса, крена и дифферента и параметры процесса: Ck, Ct, Cg – частоты качки, $Aksi, Atet, Agam$ – амплитуды качки, $omtc$ – угловая скорость циркуляции, $sigma$ – постоянные ошибки гирогоризонткомпаса, dt – шаг измерений во времени, dTm – случайная ошибка магнитометра, dTg – постоянная ошибка табличных данных о элементах МПЗ, sig_1 – случайная составляющая качки и, наконец, относительные показатели точности $oFo(j,k)$ оценки элементов $S(j,k)$ (1 соответствует безошибочной оценке). Полагаем, что завышение dTg [5] включает также возможные вариации геомагнитного поля. В приведенном примере ошибки

оценки находятся в пределах от 1 до 9%. Точность повышается при уменьшении систематических ошибок гиригоризонткомпа и карт МПЗ.

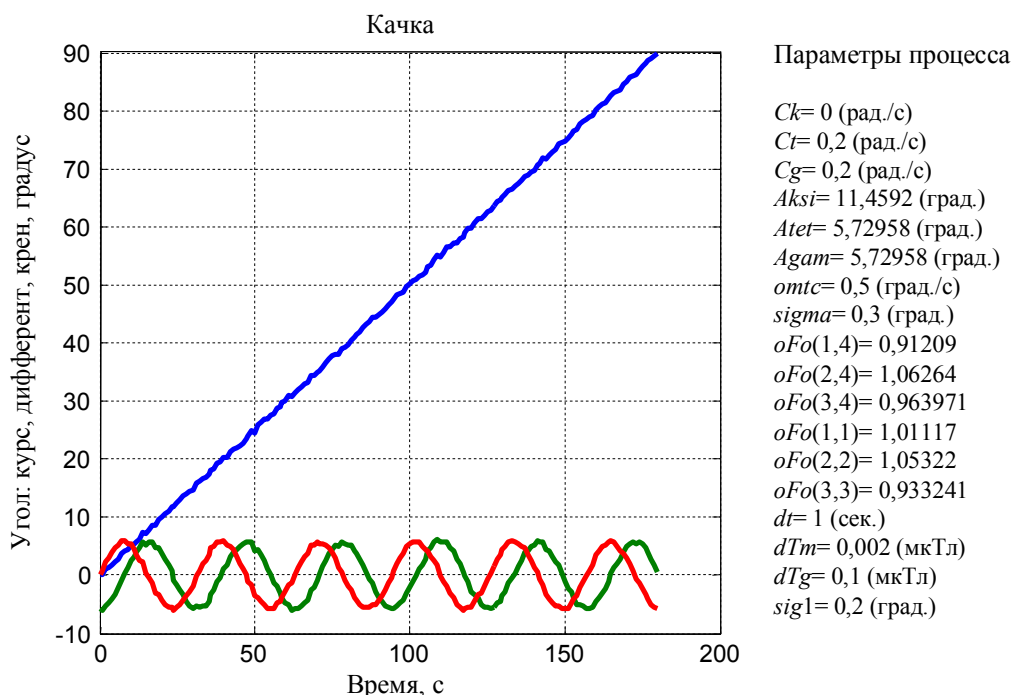


Рис. 2. Данные примера моделирования

Рассмотрим, как точно можно определить девиацию при таких оценках. Рассчитаем девиацию по формуле [6]

$$\delta = \psi_m - \arctg \frac{-(X' \cos \gamma + Z' \sin \gamma)}{(X' \sin \gamma - Z' \cos \gamma) \sin \theta + Y' \cos \theta} \quad (9)$$

Затем рассчитаем девиацию δ_1 по такой же формуле, где вместо составляющих магнитного поля объекта (1) используем составляющие с оценками параметров ПФО:

$$\begin{aligned} \hat{X}' &= X + \hat{a}X + \hat{b}Y + \hat{c}Z + \hat{P}, \\ \hat{Y}' &= Y + \hat{d}X + \hat{e}Y + \hat{f}Z + \hat{Q}, \\ \hat{Z}' &= Z + \hat{g}X + \hat{h}Y + \hat{k}Z + \hat{R}. \end{aligned}$$

В результате получим ошибку оценки девиации $\Delta_\delta = \delta - \delta_1$ (рис. 3).

На рис. 3 показано также (средний график), что истинная девиация, вычисленная по точной формуле (9), может отличаться от девиации по приближенной формуле (2) при заданных углах крена и дифферента на единицы градусов.

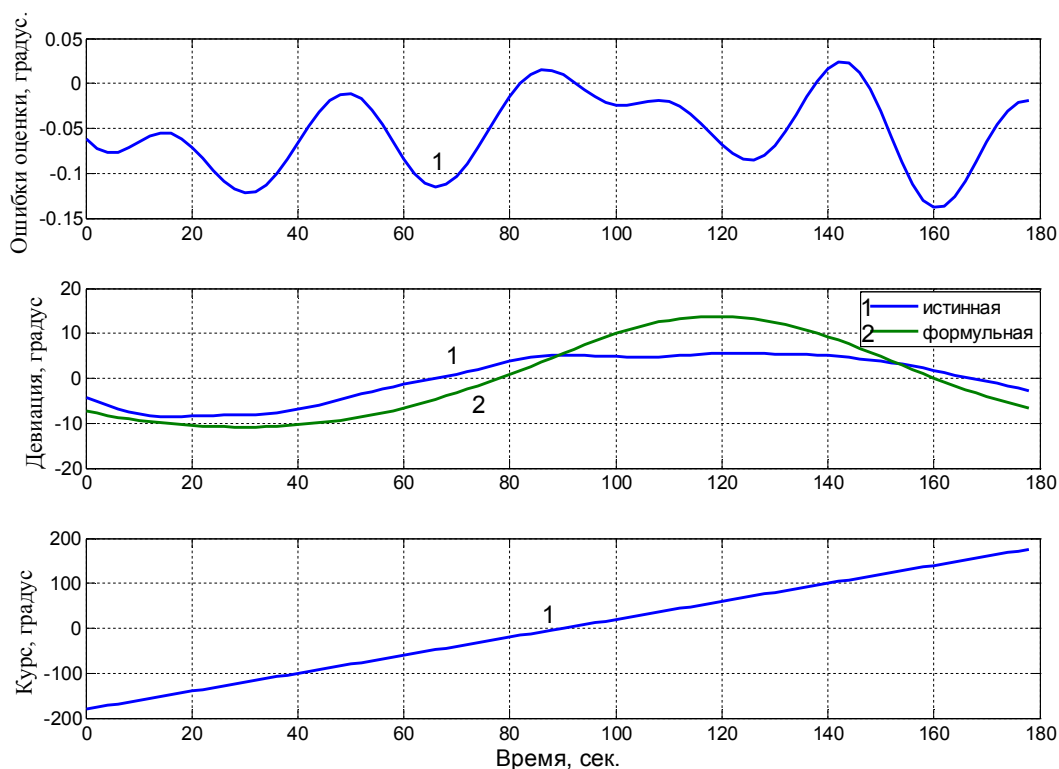


Рис. 3. Девияция и ошибка ее оценки

Выводы

Предложены алгоритм и методика определения параметров магнитного поля судна, позволяющие с достаточной точностью определить эти параметры за единицы секунд в условиях качающегося судна. Можно предположить, что оценка параметров в реальных условиях движения корабля учитывает также влияние магнитной вязкости магнитных материалов. Полученные оценки параметров позволят быстро и с высокой точностью компенсировать (уничтожить) девияцию. Наличие оценок параметров магнитного поля судна позволяет отказаться от традиционных методик уничтожения широтной девияции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронов В. В., Григорьев Н. Н., Яловенко А. В. Магнитные компасы. – СПб.: «Элмор», 2004. – 188 с.
2. Малеев П. И., Смирнов Б. М. Новые методы определения составляющих вектора магнитной индукции магнитного поля Земли с ферромагнитного объекта // Навигация и гидрография. – 1999. – №8. – С. 82–86.
3. Мелешко В. В., Нестеренко О. И. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы. Учебное пособие. – Кировоград: ПОЛИМЕД – Сервис, 2011. – 172 с.
4. Сейдж С., Мелс Дж. Теория оценивания и её применение в связи и управлении. – М.: Связь, 1976. – 496 с.
5. Малеев П. И., Хребтов А. А., Шерemet В. И. Состояние развития и перспективы использования морской магнитометрической аппаратуры // Навигация и гидрография. – 2006. – №23. – С. 91–96.
6. Одинцов А. А., Мелешко В. В., Шаров С. А. Ориентация объектов в магнитном поле Земли. – Киев.: «Корнийчук», 2008. – 160 с.

DETERMINATION OF THE MAGNETIC FIELD PARAMETERS OF A VESSEL

V. V. Meleshko (The National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnical Institute”)

The method of determining the Poisson magnetic parameters describing the magnetic field-interference of a vessel is considered. The method enables the parameters to be determined during the vessel's movement under the roll and pitch conditions, using the data of three-axis magnetometer, gyrohorizon and parameters of the Earth magnetic field, determined by the chart. Having determined the parameters within short period of time (seconds) without numerous vessel's maneuvers, it is possible to compensate for deviation easily.

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

УДК 528.475:550.3

**КОМПЛЕКСНЫЕ ГИДРОГРАФО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ВТОРОГО ЭТАПА РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ И ОБОСНОВАНИЮ
ВНЕШНЕЙ ГРАНИЦЫ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ**

**С. П. АЛЕКСЕЕВ, А. Ф. ЗЕНЬКОВ,
В. В. ГЛАЗКО (ОАО «ГНИНГИ»)**

Рассмотрена организация и основные результаты комплексных гидрографо-геофизических исследований второго этапа работ по определению внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) в Арктике.

2 октября 2010 г. Морской коллегией при Правительстве Российской Федерации под председательством С. Б. Иванова были подведены итоги экспедиции по определению внешней границы континентального шельфа РФ в Арктике в 2010 г. и поставлены задачи работ в 2011 г. Решением Морской коллегии ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» (ОАО «ГНИНГИ») был определен основным исполнителем данных работ в 2011–2012 гг..

В рамках поставленных задач ОАО «ГНИНГИ» в кооперации с ГУ «АНИИ», ФГУП «Атомфлот», ОАО «Севернефтегаз», ФГУНПП «Севморгео», ОАО «Гидро-Си», ФГУП «ВНИИОкеангеология», ЗАО «ГАЗАВИА» и иностранной компанией «ION-GXT» (США) организовало и возглавило экспедиционные исследования в 2011 г.

Данные исследования являлись продолжением работ 2010 г. [1] и ставили перед собой цель определения внешней границы континентального шельфа РФ по точкам однопроцентной мощности донных осадков.

Исходными данными для планирования экспедиционных работ являлись результаты батиметрических исследований 2010 г., ретроспективные данные по работам прошлых лет и координаты сейсмических профилей, подготовленные специалистами «ВНИИОкеангеология». Схема района работ показана на рис. 1.

В короткие сроки навигации 2011 г. предстояло выполнить:

- не менее 6000 пог. км сейсмической съемки МОВ-ОГТ;
- 75 зондирований методом отражённых волн;
- не мене 6000 пог. км попутной батиметрической съёмки.

Опыт проведения экспедиционных работ в 2010 г. и анализ ледовой обстановки 2011 г. показали, что оптимальным периодом для проведения комплексных гидрографо-геофизических работ в Арктическом районе является август – сентябрь.

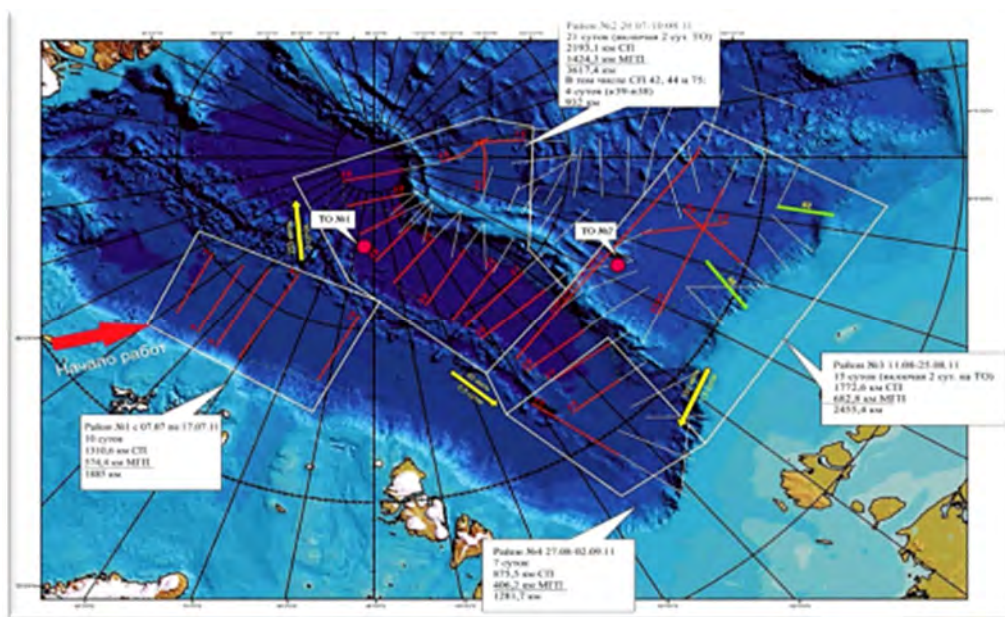


Рис. 1. Схема района работ

Однако в связи с предложенными сроками использования научно-экспедиционного судна (НЭС) «Академик Фёдоров» и большим объёмом исследований, необходимо было начать работы в июле 2011 г.

В составе экспедиции принимали участие подразделения и группы от:

- ЗАО «Севернефтегаз» и ФГУП «ВНИИОкеангеология» (обработка результатов сейсмической съёмки МОВ-ОГТ);
- ФГУНПП «Севморгео» (обеспечение регистрации морских сейсмических зондирований МОВ-МПВ);
- ОАО «ГНИНГИ» и ЗАО «Гидро-Си» (выполнение навигационно-гидрографического обеспечения сейсмической съёмки и камеральной обработки результатов батиметрической съёмки);
- ФБГУ «АНИИ» (выполнение специализированного гидрометеорологического обеспечения плавания судов и полетов вертолета).

Особенностью экспедиционных работ являлось участие в них американской компании «ION GXT», имеющей некоторый опыт сейсмической съёмки в ледовых условиях и специальную физическую защиту (Skeg) от воздействия льда на заборное сейсмическое оборудование.

Для обеспечения гидрографо-геофизических работ во льдах Арктики были использованы:

- атомный ледокол «Россия» (ФГУП «Атомфлот»);
- вертолет Ми-2 (ЗАО «ГАЗАВИА»).

Выполнение сейсмической съёмки в высоких широтах Арктики осложнялось отсутствием в России специализированного сейсмического судна соответствующего ледового класса, поскольку для решения этой задачи требовалось судно способное самостоятельно преодолевать полярный лед. Выбор был остановлен на НЭС «Академик Фёдоров», принимавшем участие в экспедиции 2010 г. Судно оснащено

современным навигационным и гидрографическим оборудованием и располагает хорошей лабораторной базой. Требовалась лишь установка специального геофизического оборудования.

Переоборудование судна было произведено в Финляндии на судоремонтной верфи Turku Repair Yard Ltd. в рекордно короткий срок (1 месяц) и включало установку геофизического комплекса в составе:

- двух линий пневмоисточников на швартовой палубе;
- кормовой лебедки сейсмической косы на верхней палубе;
- мобильных модулей для операторов управления оборудованием;
- двух мобильных дизель-генераторов;
- ледовой защиты Skeg для обеспечения безопасной буксировки забортного сейсмического оборудования в сложных ледовых условиях (рис. 2).

В дополнение к геофизическому комплексу для выполнения сейсмического зондирования с использованием автономных буев (полевых модулей) на НЭС «Академик Федоров» также был установлен радиотелеметрический комплекс «ВОХ» (рис. 3), определяющий скоростные характеристики осадочного чехла и акустического фундамента методом преломленных волн (МПВ).



Рис. 2. Установка защитной конструкции Skeg в кормовой части НЭС «Академик Федоров»

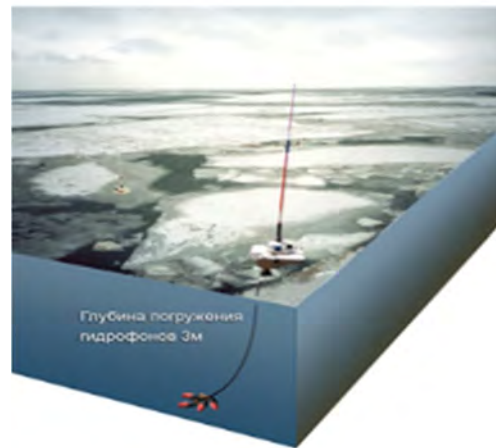


Рис. 3. Полевой модуль радиотелеметрического комплекса «ВОХ»

Для навигационно-гидрографического сопровождения сейсмических работ использовался гидрографический комплекс в составе:

- многолучевого эхолота EM-122;
- однолучевого эхолота EA 600;
- профилографа «Топаз».

23 июня 2011 г. судно вышло из дока порта Турку и взяло курс в район работ. Во время перехода вокруг Скандинавии были проведены морские испытания сейсмического, гидрографического и навигационного оборудования.

Основной задачей испытаний являлась отработка спуска-подъема забортного сейсмического оборудования, определение параметров буксировки сейсмической косы, настройки регистрирующих сейсмических приёмников и гидрографического комплекса.

В ходе испытаний была также проверена работоспособность радиотелеметрического комплекса «ВОХ» и по результатам уточнены методики применения автономных буев (полевых модулей), зарегистрированы сейсмические данные, построены сейсмограммы.

Морские испытания всего оборудования были выполнены успешно, и результаты соответствовали международным требованиям.

Сейсмические работы проводились методом отраженных волн от общей глубинной точки (МОВ-ОГТ) по запланированным профилям с движущегося НЭС «Академик Федоров» под проводкой атомного ледокола «Россия». Главной особенностью работ являлась необходимость поддерживать скорость движения судна не менее 4,5 узлов. В случае снижения скорости могло произойти затопление сейсмической косы, а при увеличении – снижение качества сейсмической съёмки. Приобретенный опыт позволил увеличить скорость до 5,5 узлов.

Необходимым и обязательным условием для спуска заборного сейсмического оборудования являлось наличие за кормой судна водной поверхности, свободной ото льда. Опытным путем определили, что в целях безопасности спуска сейсмической косы для данного типа судна необходимо не менее 200 м такой поверхности. Подъем оборудования был более безопасным и мог осуществляться и при наличии разреженного льда.

Сейсмическая съёмка в основном проводилась с использованием сейсмической косы длиной 600 м и одной линией пневмоисточников, общим объемом 1025 куб. дюймов. Проведение сейсмических работ с оборудованием, имеющим такие параметры, позволяло получать качественные данные, что полностью соответствовало поставленным геологическим задачам.

В ходе работ была выполнена экспериментальная съёмка одного из профилей и косой большей длины. Впервые при сплоченности льда 10 баллов был получен материал сейсмической съёмки высокого качества с использованием сейсмической косы длиной 4500 метров. Однако сложность маневрирования судов в таком льду и высокий риск потери буксируемого оборудования вынудили в дальнейшем отказаться от работы с длинной косой.

При выполнении морских сейсмических работ с буксируемой косой использовалась разработанная американской компанией «ION-GXT» интегрированная навигационная система ORCA, позволяющая контролировать местоположение косы и управлять заглублием ее секций относительно судна.

Для обеспечения выполнения сейсмической съёмки в ледовых условиях на борту ледокола «Россия» и НЭС «Академик Федоров» американскими специалистами была установлена современная система навигации IceNav, сопряженная с системой ORCA, которая получала данные спутниковых снимков и сигналов с радара, обрабатывала информацию о ледовых условиях в районе работ и выводила её на монитор. Визуализация информации позволяла судоводителю корректировать прокладку пути по галсу с учетом фактической ледовой обстановки в режиме реального времени. В данную систему встроена сигнализация о ледовой опасности (торосы, отдельные поля и т. д.), функционирующая на базе обработки радиолокационной информации.

В ходе выполнения работ вся получаемая навигационная информация (координаты, время, курс, скорость) и данные сейсмической съёмки автоматически передавались в обрабатывающий геофизический комплекс. Интерпретация

сейсмических данных МОВ-ОГТ и МОВ-МПВ проводилась в специализированных программных приложениях.

В результате обработки были получены первичные материалы, позволяющие делать выводы о глубинном строении морского дна в районе работ. По результатам оценки качества и определения точки однопроцентной мощности осадков принималось решение о завершении работ на профиле и переходе на следующий.

Навигационно-гидрографическое сопровождение сейсмических работ включало в себя, в первую очередь, предоставление навигационной информации и данных о текущей глубине в геофизический комплекс. Попутная батиметрическая съемка рельефа дна выполнялась на сейсмических профилях и на переходах от профиля к профилю. Вследствие невозможности останова судна из-за буксируемой сейсмокоды измерения скорости звука выполнялись на ходу судна с помощью обрывных зондов ХСТД-2 и ХВТ. Полученные гидрологические данные вводились в качестве поправок в оборудование гидрографического комплекса.

В целом наблюдалась стабильная работа всех измерительных систем гидрографического комплекса. В тяжелых ледовых условиях были получены уникальные данные съемки рельефа дна, пригодные для дальнейшего использования в картографии. Всего за 2010 и 2011 гг. выполнена батиметрическая съёмка в объёме 26550 пог. км, что позволяет уточнить существующие морские навигационные карты с учетом современных материалов.

Для оценки ледовых условий один раз в сутки осуществлялся прием спутниковой информации от ИСЗ ENVISAT и по необходимости (но не реже одного раза за трое суток) – от ИСЗ AQUA и AMSR-E.

Состояние ледяного покрова в районе работ оценивалось в основном по результатам авиационной ледовой разведки, выполняемой специалистами ААНИИ на вертолете Ми-2. Как недостаток необходимо отметить зависимость этого вида обеспечения от метеоусловий.

С использованием судового телевизионного комплекса велась непрерывная регистрация толщины льда и характеристик канала за судном.

Для обеспечения безопасности мореплавания и выполнения судном геофизических работ с сейсмической косой во льду перед началом каждого сейсмического профиля проводилась оценка ледовой обстановки по маршруту и разрабатывалась тактика прохождения судов по галсам. При планировании учитывались:

- требования по поддержанию необходимой скорости движения судна (не менее 5,5 узлов) при буксировке забортного сейсмического оборудования;
- особенности рельефа дна по данным ИВСаО и результатам работ 2010 г.;
- местоположение точки подножия континентального склона (ПКС), определенное по данным съемки 2010 г.;
- расчётное местоположение точки 1% мощности осадков на отрабатываемом профиле;
- ледовые условия.

Проведение сейсмических работ в районе севернее Земли Франца Иосифа с 12 по 20 июля затруднялось ледовой обстановкой, сложившейся в этот период в Арктическом бассейне – практически весь западный район был покрыт дрейфующими льдами сплоченностью 9–10 баллов. Это были преимущественно однолетние льды толщиной 80–150 см, торосистостью до 2 баллов. Наиболее

сложные ледовые условия (сплоченность льда – 10 баллов, обширные поля и сжатия на стыках полей интенсивностью до 1 балла) наблюдались на северных участках профилей.



Рис. 4. Работа НЭС «Академик Федоров» под проводкой атомного ледокола «Россия»

Несмотря на сложные ледовые условия, были получены первые уникальные данные сейсмической съёмки МОВ-ОГТ с длиной косы 600 м и 4500 м в высоких широтах.

Из-за сложившейся ледовой обстановки и полученных повреждений буксируемого сейсмического оборудования работы в районе были временно прекращены. Требовался водолазный ремонт.

После проведенного в порту Лонгйир (Шпицберген, Норвегия) ремонта сейсмического оборудования, работа экспедиции была направлена в Восточно-Сибирское море, где в начале августа ледовые условия были более благоприятными для выполнения поставленных задач. Работы проводились преимущественно на участках с обширными разводьями, в однолетних льдах. Общая сплоченность льда в указанных районах изменялась в пределах 7–9 баллов, разрушенность льда составляла 3–4 балла, а преобладающая торосистость – 1–2 балла.

Однако уже в конце августа по данным спутниковых снимков в районе, расположенном севернее 86° с. ш. и восточнее 105° в. д., наблюдались сплошные однолетние льды сплоченностью 10 баллов и старые льды разрушенностью не более 1–2 баллов. Ледовую обстановку в этом районе осложняло начавшееся ледообразование. Кроме того, в районе Северной Земли происходил дрейф айсбергов, представляющих реальную угрозу безопасности плавания как самих судов, так и буксируемой косы.

3 сентября 2011 г. второй этап гидрографо-геофизических работ по программе ВГКШ был завершен. К сожалению, из-за ледовых условий данной экспедиции не удалось подняться выше 87° с. ш.

В результате за 57 суток экспедиции:

- выполнено 6334 пог. км сейсмической съёмки МОВ-ОГТ;
- произведена постановка 94 буев для зондирования МОВ-МПВ;

- выполнено 1313 пог. км съемки рельефа дна для определения точек ПКС и 10329 пог. км попутной съемки рельефа дна;
- произведены измерения на 42 гидрологических станциях.

По объёму работ, выполненных за один сезон в высоких широтах Северного Ледовитого океана, и количеству полученной информации, отвечающей мировым стандартам качества, результаты экспедиции значительно превышают показатели, достигнутые другими приарктическими государствами. Впервые в мире были проведены комплексные геофизические исследования в тяжелых ледовых условиях по заранее запланированным прямолинейным галсам.

Второй этап исследований в рамках решения государственной задачи по проведению комплексных гидрографо-геофизических работ по определению и обоснованию внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в СЛО завершен в установленные сроки, работы проведены в полном объеме и в соответствии с международными требованиями. В настоящее время специалисты ОАО «ГНИНГИ», ОАО «Севернефтегаз» и ФГУНПП «Севморгео» проводят обработку полученных материалов.

Материалы экспедиционных работ, результаты их обработки вместе с ранее накопленными данными гидрографических исследований Северного Ледовитого океана позволяют ОАО «ГНИНГИ» при взаимодействии с научно-исследовательскими учреждениями Федерального Агентства по недропользованию приступить к подготовке пересмотренного представления (заявки) Российской Федерации по внешней границе континентального шельфа в Комиссию ООН уже в 2012 году.

Необходимо отметить, что батиметрические и сейсмические данные, полученные в ходе экспедиции 2010 и 2011 гг. могут быть использованы не только для обоснования ВГКШ Российской Федерации и расширения фундаментальных научных представлений о природе Северного Ледовитого океана, но и в интересах обороны России на Арктическом стратегическом направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. П. Алексеев, А. Ф. Зеньков, С. Б. Курсин, К. Г. Ставров. Батиметрические исследования ОАО «ГНИНГИ» в центральной части Арктики // Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 9–16.

COMPLEX HYDROGRAPHIC-GEOPHYSICAL EXPLORATIONS DURING THE SECOND STAGE OF SURVEY WITH THE AIM TO DEFINE AND SUBSTANTIATE THE OUTER LIMIT OF THE RF CONTINENTAL SHELF IN THE ARCTIC OCEAN

S. P. Alekseyev, A. F. Zen'kov, V. V. Glazko («GNINGI» OJSC)

The organization and main results of the complex hydrographic-geophysical explorations during the second stage of the survey intended to define the outer limit of the RF continental shelf in the Arctic are considered. The specific features of cooperation of the seismic survey under the complicated ice conditions and using the towed outboard equipment are described.

**АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДНОЖИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО
СКЛОНА НА ОСНОВЕ БАТИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

**К. Г. СТАВРОВ, А. В. КОСТЕНИЧ,
А. В. КАВРАЙСКИЙ, Е. А. ПИРОГОВА (ОАО «ГНИНГИ»)
О. Н. ГРАНИЧИН, А. Т. ВАХИТОВ,
Е. В. СТЕПАНОВ, Л. С. ГУРЕВИЧ (СПБГУ)**

Рассматривается семейство алгоритмов определения положения доверительной полосы, в пределах которой с вероятностью 95% проходит линия подножия континентального склона (ПКС) с учетом неполноты и неточности имеющихся батиметрических данных. Представлены отличительные особенности применения данных алгоритмов по отношению к традиционно используемым. Использование рассматриваемых алгоритмов позволяет получить дополнительную информацию для экспертной оценки ПКС.

В настоящее время бассейн Северного Ледовитого океана (СЛО) представляет собой арену всесторонних национальных и международных исследований многих стран и, в первую очередь, США, Канады, Норвегии, Дании и России. Внимание к арктическим акваториям, включая континентальный шельф и его глубоководное продолжение, определяется не только военно-стратегическими интересами, но и экономическими проблемами, связанными с изучением и освоением минеральных ресурсов.

Уникальное географическое положение СЛО, недостаточный уровень гидрографической и геолого-геофизической изученности, неоднозначность в трактовке глубинного строения его недр, отсутствие четкой концепции формирования этого молодого океана обуславливают значительные сложности в определении внешних границ континентального шельфа (ВГКШ) приарктических государств в юридических рамках Конвенции ООН по морскому праву 1982 года (Конвенция).

В соответствии со статьей 76 Конвенции внешняя граница континентального шельфа устанавливается прибрежным государством (если она простирается более чем на 200 миль от исходных линий) с помощью линии, на которой «толщина осадочных пород составляет по крайней мере 1% кратчайшего расстояния до подножия континентального склона, либо линии, проходящей не далее 60 миль от ПКС» [1]. Оба эти способа определения положения внешней границы континентального шельфа связаны с необходимостью вычисления подножия континентального склона по батиметрическим данным. Геологические и геофизические данные могут быть привлечены для определения ПКС только в исключительном случае, когда на основе батиметрических данных его невозможно однозначно определить [2].

В соответствии с положениями Научно-технического руководства (НТР) Комиссии ООН по границам континентального шельфа «подножие

континентального склона определяется как точка максимального изменения уклона в его основании». Существующие алгоритмы определяют точки локальных максимумов изменения уклона дна на континентальной окраине. Этим точек может быть большое количество в связи с осложнением рельефа самой континентальной окраины формами низших порядков. Согласно Конвенции максимальное изменение уклона дна (вторая производная рельефа), соответствующее ПКС, должно быть в основании континентального склона (ОКС). Следовательно, важной задачей является определение положения ОКС, которое объективно может базироваться на батиметрической, геоморфологической и геолого-геофизической информации.

В соответствии с требованиями Комиссии основная часть Представления должна содержать подробное описание технических процедур и научных методик, применявшихся для расчетов и обоснования положения ПКС и других базовых линий, предусмотренных статьей 76 Конвенции ООН по морскому праву. Например, если батиметрическая информация представляется в виде отфильтрованной или сглаженной выборки, необходимо приводить полное описание методики, использованной для выведения этой информации.

В настоящее время существует ряд программных пакетов, таких как Geo Car и Caris Lots, применение которых положительно воспринимается Комиссией. Однако некоторые страны (Мексика, Новая Зеландия) отказываются от использования этих программ по причине того, что для пользователя их математический аппарат не очевиден. Эти страны разрабатывают свои программные пакеты, прилагая к ним описание используемых в них алгоритмов.

Для переработанного представления Российской Федерации могут быть использованы описанные ниже алгоритмы как альтернативные существующим в программных пакетах Caris Lots и Geo Car. Разработанные алгоритмы основаны на трехмерном определении ПКС, тогда как в упомянутых выше программных пакетах – на двухмерном определении ПКС. Двухмерным является определение ПКС по профилю глубин, а трехмерным – по всей площади распределения измеренных глубин.

В данной статье представлено семейство алгоритмов определения положения доверительной полосы, в пределах которой с вероятностью 95% проходит линия подножия континентального склона (линия ПКС) с учетом неполноты и неточности имеющихся батиметрических данных. Данные алгоритмы разработаны в пакете прикладных программ Math Lab.

Входными данными алгоритмов является база батиметрических данных, составленная на основе планшетов промеров глубин. Планшет представляет собой массив двумерных координат точек и глубин в этих точках. Погрешность промеров по глубине составляет 1% от абсолютной величины. Множество точек измерения, распределенных неравномерно, образует многоугольник с невыпуклой границей и вершинами в «граничных» точках.

Ввиду вводимой рандомизации на выходе алгоритмов получается полоса, задаваемая двумя ограничивающими крайними ломаными линиями. Ломаные линии заданы как последовательность отрезков на планшете. Самые крайние из этих линий образуют полосу, внутри которой и лежит реальная линия ПКС. Ширина этой полосы в разных участках планшета меняется, отображая устойчивость данных в том или ином регионе карты. На основании этого можно указать конкретные регионы, в которых глубинная информация требует большего уточнения.

Алгоритм интерполяции границы множества точек измерения глубин

Во избежание погрешности, возникающей при интерполяции поверхности ввиду неравномерности распределения измерений, планшет был ограничен невыпуклым многоугольником для поиска линии ПКС внутри него. Алгоритм основан на построении выпуклой оболочки точек $(\{x_i\}, \{y_i\})$ методом Грэхема (Graham scan). Алгоритм использует LIFO-структуру (Last In – First Out, «Последний вошел – первый вышел») – стек S , в котором хранятся точки $(\{x_i\}, \{y_i\})$ – кандидаты на «граничные» точки выпуклой оболочки (в конце работы алгоритма в стеке будут находиться точки, образующие выпуклую оболочку в порядке обхода). Также используются две вспомогательные процедуры – $\text{Top}(S)$ и $\text{Next_To_Top}(S)$, возвращающие соответственно самую верхнюю и следующую (вторую сверху) за самой верхней точки в стеке. $\text{Push}((x_i, y_i), S)$ и $\text{Pop}(S)$ – стандартные операции добавления точки в стек (наверх стека) и извлечение (удаление) самой верхней точки. Ниже приведен псевдокод алгоритма Грэхема:

Пусть (x_0, y_0) – точка из множества измерений с минимальной координатой y или самая левая из таких точек при наличии совпадений.

Пусть $[(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)]$ – остальные точки этого множества, отсортированные в порядке возрастания полярного угла, измеряемого против часовой стрелки относительно точки (x_0, y_0) (если полярные углы нескольких точек совпадают, то из множества удаляются все эти точки кроме одной, самой дальней от точки (x_0, y_0)):

```

Push( $(x_0, y_0)$ ,  $S$ )
Push( $(x_1, y_1)$ ,  $S$ )
Push( $(x_2, y_2)$ ,  $S$ )
for  $i \leftarrow 3$  to  $N$  do
    while (угол, образованный точками
           Next_To_Top( $S$ ), Top( $S$ ) и
            $(x_i, y_i)$ , образует не левый поворот) do
        Pop( $S$ )
        Push( $(x_i, y_i)$ ,  $S$ )
return  $S$ .

```

Далее, для уменьшения пустого места на границе планшета производится уточнение полученного многоугольника заменой длинных ребер на более короткие. В результате получаем невыпуклый многоугольник, ограничивающий область измерений.

Алгоритм аппроксимации поверхности дна по нерегулярной сетке глубин

Рассматривались алгоритмы интерполяции в трехмерном пространстве. Эксперимент проводился с квадратичными и кубическими сплайнами, а также с линейной интерполяцией. Сетка данных такого типа используется, например, при определении линии подножия континентального склона атлантического побережья США [3]. При обработке результатов экспериментальных данных была выбрана линейная интерполяция через триангуляции, так как она обеспечивала наилучшую устойчивость при измерении линии ПКС под действием пробного возмущения (рис.1).

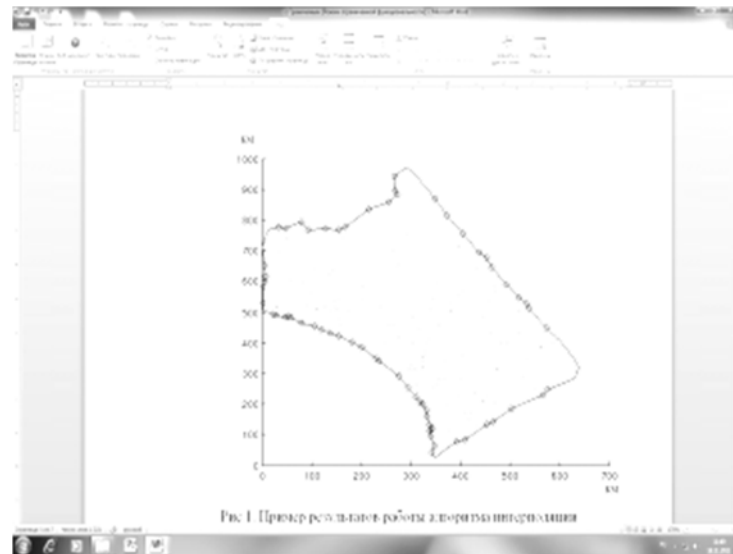


Рис. 1. Пример результатов работы алгоритма интерполяции

*Алгоритм построения поверхности нормы матрицы
второй производной от глубины*

На основе полученной алгоритмом интерполяции поверхности строится поверхность вторых производных в направлении градиента, соответствующая максимальному изменению уклона основания в данной точке. Пример такого построения приведен на рис. 2. Такая поверхность используется, в частности, для определения линии ПКС атлантического побережья США.

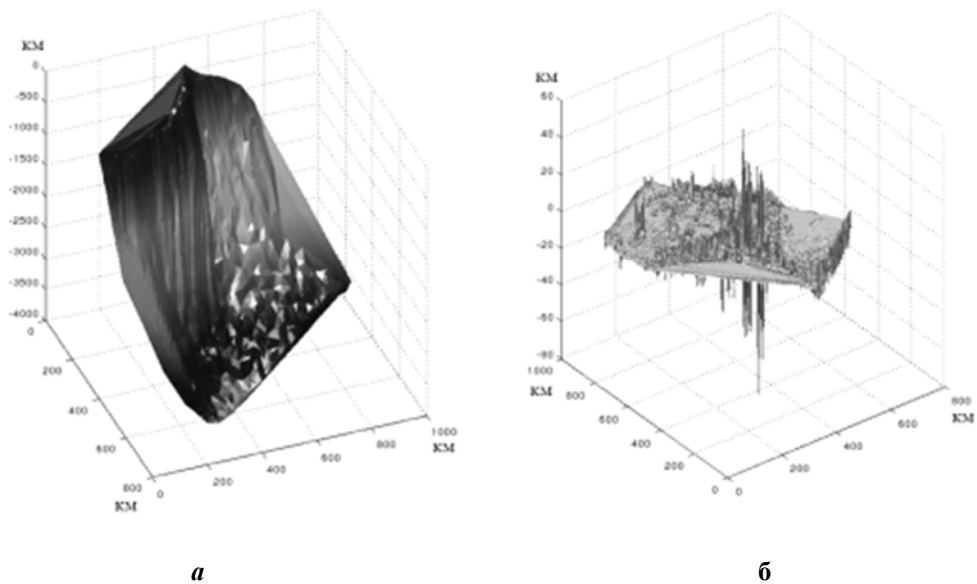


Рис. 2. Интерполяция поверхности по замерам глубин (а) и поверхность вторых производных в направлении градиента (б)

Алгоритм вычисления линии ПКС

На основе модели поверхности вторых производных, вычисляется линия ПКС. Для этого разработан оригинальный алгоритм. По каждому планшету вычисляется величина барьера градиента, основанная на дисперсии градиента по всему планшету.

Алгоритм начинает работу с точки, лежащей внутри границы планшета на некотором расстоянии от нее. После определения самой высокой точки на поле вторых производных для текущего профиля алгоритм переходит к следующему профилю и находит для него самую высокую точку в смещенной окрестности предыдущей. Выбранные точки, высота которых оказалась больше указанного барьера, образуют последовательность концов отрезков ломаной, задающей аппроксимацию линии ПКС (рис. 3).

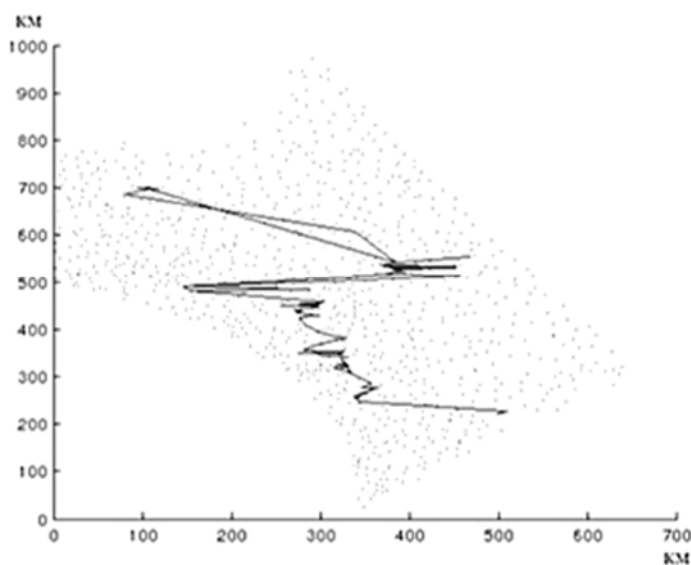


Рис. 3. Аппроксимация линии ПКС

Таким образом, представленное семейство алгоритмов определения подножия континентального склона может быть использовано как альтернативное традиционным существующим алгоритмам. Отличительными особенностями представленных алгоритмов являются:

- использование в качестве исходных данных массива двумерных координат точек и глубин в этих точках;
- возможность определения доверительной полосы, в пределах которой с вероятностью 95% лежит подножие континентального шельфа.

Полученные результаты, полностью соответствующие требованиям Комиссии ООН и Научно-технического руководства по границам континентального шельфа, позволяют получить дополнительную информацию для экспертной оценки ПКС, а, следовательно, использоваться для определения и обоснования внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в СЛЮ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международная Конвенция ООН по морскому от 1982 г. – М.: Военное изд-во МО СССР, 1985. – 224 с.
2. Научно-техническое руководство комиссии по границам континентального шельфа. Нью-Йорк: Комиссия по границам континентального шельфа, 1999. – 92 с.
3. Bennett J. O. Examples of Mapping «The Foot of the Continental Slope» with «The Surface of Directed Gradient» algorithm using NOAA's ETOPO5 Data Base/ Bennett J. O.// IHR (New Series). – 2002. – Vol. 3. – №1. – p. 3–19.

ALGORITHMS FOR DEFINING THE FOOT OF THE CONTINENTAL SLOPE BASED ON THE BATHYMETRIC DATA

K. G. Stavrov, A. V. Kostenich, A. V. Kavraisky, E. A. Pirogova («GNINGI» OJSC),
O. N. Granichin, A. T. Vakhitov, E. V. Stepanov, L. S. Gurevich (St. Petersburg State University)

The family of algorithms for determining the position of the confidence interval within which, with 95% probability, the line of the continental slope foot passes, taking the incompleteness and inaccuracy of the available bathymetric data into account, is considered. The specific features of using these algorithms, as compared to the traditionally used ones, are presented.

The use of the algorithms being considered enables the additional information to be obtained for the expert evaluation of the continental slope foot.

УДК 550.8

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ
МНОГОЛУЧЕВЫМ ЭХОЛОТОМ EM-122 В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ**

**К. Г. СТАВРОВ, А. В. КОСТЕНИЧ,
Н. В. ЧЕРВЯКОВА, Е. А. ПИРОГОВА,
Ю. М. КИБИТКИНА** (ОАО «ГНИНГИ»),
Д. М. ЖИЛИН (ЗАО «Гидро-Си»)

В статье описаны результаты экспериментальных исследований возможности получения информации многолучевым эхолотом EM-122, установленным на НЭС «Академик Фёдоров», в ледовых условиях без ледокольного сопровождения. В сложившихся ледовых условиях при толщине льда до 1,4 м и на скоростях более 3 узлов происходит потеря батиметрических данных с последующим восстановлением сигнала при снижении скорости судна. При скорости судна не более 2 узлов сохраняется непрерывность данных съёмки рельефа дна.

В 2010 г. в Арктике были проведены экспедиционные работы на научно-экспедиционном судне (НЭС) усиленного ледового класса КМ УЛА2 А2 «Академик Фёдоров». Работы выполнялись с использованием навигационно-гидрографического комплекса на базе глубоководного многолучевого эхолота Kongsberg EM-122. Многолучевой эхолот EM-122 позволяет измерять глубины от 20 до 11000 м, рабочая частота 12 kHz, количество лучей 288, ширина луча 2°. Точность определения глубины – 0,5% от глубины.

В процессе проведения съемки рельефа дна было выявлено, что крайние лучи многолучевого эхолота наиболее подвержены воздействию изменяющихся внешних факторов. Ледовые условия, состояние моря, скорость движения судна оказывают значительное влияние на качество батиметрических данных и сужение полосы раскрытия: увеличивается уровень шума и помех.

В ходе экспедиционных работ было проведено исследование возможности получения информации многолучевым эхолотом EM-122 при работе НЭС «Академик Фёдоров» в сплоченном льду (6–9 баллов) без прокладки канала впереди идущим ледоколом. НЭС «Академик Фёдоров» обладает усиленным ледовым поясом и способно преодолевать ровный однолетний лед толщиной до одного метра непрерывным ходом со скоростью два узла и «набегами» – лёд толщиной до 2,5 м. Такие ледовые условия для движения НЭС «Академик Фёдоров» можно считать благоприятными.

Эксперимент продолжался 39 мин. 36 с. В течение этого времени было пройдено 4757 м, средняя глубина места 580 м. Скорость судна изменялась в диапазоне 2,5–5 узлов, средняя скорость составила 3,89 узла.

Весь район испытаний был разделён на зоны, в пределах которых через каждые 5 мин. снимались показания с многолучевого эхолота EM-122, а также синхронно велась видео - и фотосъёмка ледовой обстановки.

Эксперимент проводился в ночное время (здесь и далее время московское) в условиях ограниченной видимости (до 0,1 мили), при южном ветре 1 м/с и осадках в виде снега. Основные характеристики ледовых условий плавания, зафиксированные в судовом журнале ледовым наблюдателем в виде, описанном в международной системе кодирования гидрометеорологической информации [1], представлены в табл. 1.

Таблица 1

Ледовые условия в районе проведения эксперимента

Номер зоны	961	962	963	964	965	966	967	968	969
Дата и время начала	03.10 15:10	03.10 15:25	03.10 15:36	03.10 15:39	03.10 15:42	03.10 15:50	03.10 15:57	03.10 16:03	03.10 16:29
Широта, °с. ш.	78,36	78,36	78,35	78,35	78,35	78,35	78,35	78,35	78,36
Долгота, °в. д.	165,53	165,48	165,45	165,44	165,43	165,41	165,39	165,37	165,23
Сплочённость льда, баллы	общая сплочённость	10	10	10	10	10	10	10	10
	нилас	9,5		8			0,5	1	
	молодой		1	1,5	1	3,5	5		
	серый						9	3	2,5
	серо-белый							1	2
Форма льда, цифры кода	однолетний	0,5	9	0,5	9	6,5	5	0,5	5,5
	молодой		2/3	1/2	2	2/3	2/3		
	серый						3/4	2/3	2/3
	серо-белый							2/3	2/3
однолетний	1/2	2/3/4	1/2	3/4	2/3/4	2/3	3	2/3/4	2/3/4
Общая торосистость, баллы	0	2	0	2	2		0	1	0,5
Средняя высота торосов, м		2	2	2	2				

Номер зоны		961	962	963	964	965	966	967	968	969
Заснеженность льда, баллы	молодой	0,0	1,2	0,0	1,2	1,2		0,0	1,0	1,0
	серо-белый	0,0	1,5	0,0	1,5	1,8		0,0	2,0	1,5
	однолетний	0	0	0	0	0		0	0	0

Из таблицы видно, что наблюдался преимущественно ровный, частично торосистый с тонким равномерным снежным покровом лёд, в основном однолетний толщиной 80–120 см и менее с включением молодого льда. Только в зонах № 962 и 964 наблюдался однолетний лёд сплоченностью 9 баллов. В остальных выбранных зонах сплоченность такого вида льда не превышало 6,5 баллов, в некоторых зонах преобладал тонкий молодой лёд или нилас.

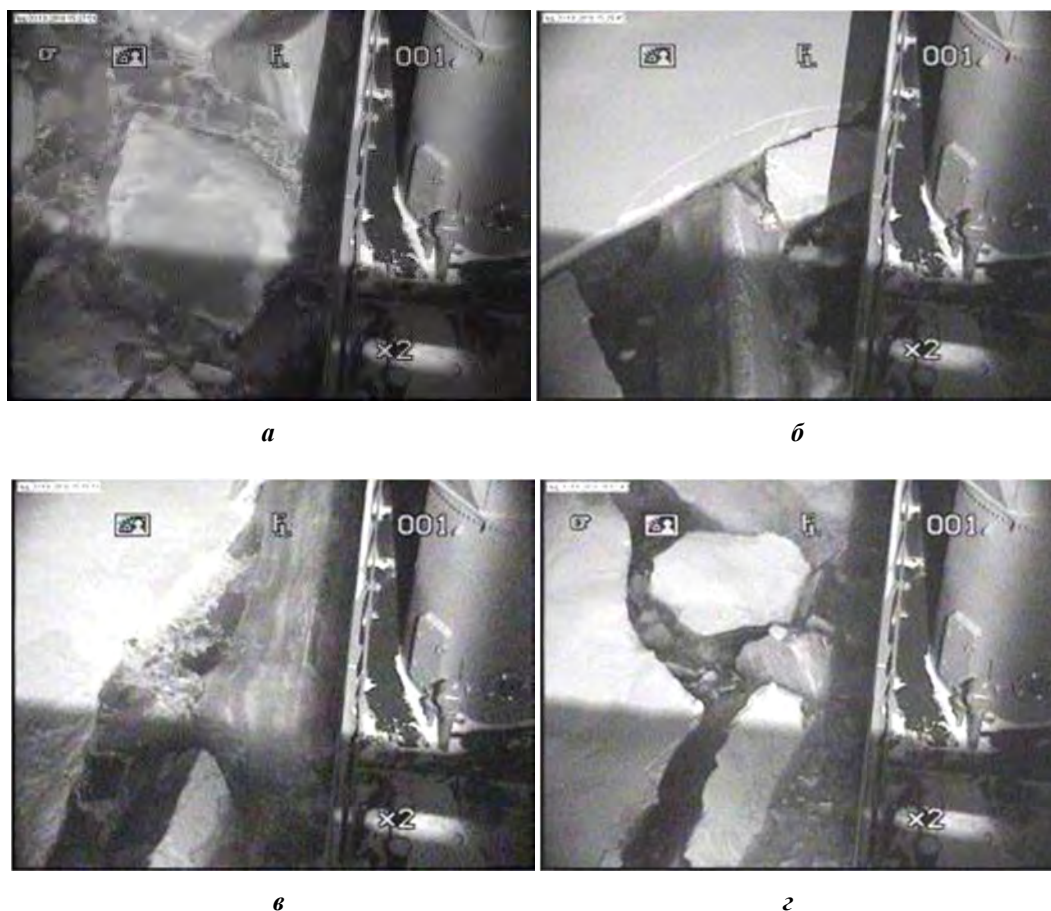
Также были получены снимки с телекамеры, расположенной у левого борта НЭС «Академик Фёдоров». Ледовый специалист проанализировал полученные снимки и определил толщину льда и снежного покрова. Результаты телесъёмки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Измеренные по снимкам судовой телекамеры толщины льда у левого борта НЭС «Академик Фёдоров»

№ снимка	Время	Толщина льда, м	Толщина снега, м
1	15:27:07	0,43	0,10
2	15:27:51	1,43	0,20
3	15:28:23	1,02	0,18
4	15:29:45	1,37	0,35
5	15:30:26	0,53	0,14
6	15:31:11	1,52	0,16
7	15:31:27	0,33	0,09
8	15:36:58	0,46	0,14
9	15:37:08	0,21	0,07
10	15:54:24	0,31	0,10
11	16:03:43	1,30	0,18
12	16:05:22	0,62	0,12
13	16:09:09	0,46	0,14

В качестве примера на рис. 1 проиллюстрированы четыре снимка (№№ 2, 4, 6, 11 в табл. 2) льда с максимальной толщиной льда, которые были получены с бортовой телекамеры.



**Рис. 1. Изображения, полученные с помощью камеры судового телекомплекса:
а – снимок 2, б – снимок 4, в – снимок 6, г – снимок 11
(время снимков и измеренная толщина льда указаны в табл. 2)**

Таким образом, ледовые условия проведения экспериментальной гидрографической съёмки на профиле можно характеризовать как благоприятные. Полное описание особенностей ледяного покрова по пути следования судна для выбранного периода времени и сравнение со средними многолетними условиями представлено в информационном бюллетене [2].

Одновременно с телесъёмкой делались фотоснимки ледовой обстановки по обоим бортам и по курсу судна, которые были синхронизированы с регистрацией данных многолучевого эхолота.

На рис. 2 проиллюстрированы результаты съёмки рельефа дна многолучевым эхолотом EM-122 при изменении скорости движения судна и ледовой обстановки за бортом. Рисунки представлены во временной последовательности для того, чтобы была возможность провести соответствие показаний многолучевого эхолота с наблюдаемой ледовой обстановкой (табл. 1, 2).

На рис. 2а видно, что при движении судна со скоростью 4 узла в сплоченных однолетних льдах (зона № 962) происходит практически полная потеря батиметрических данных.

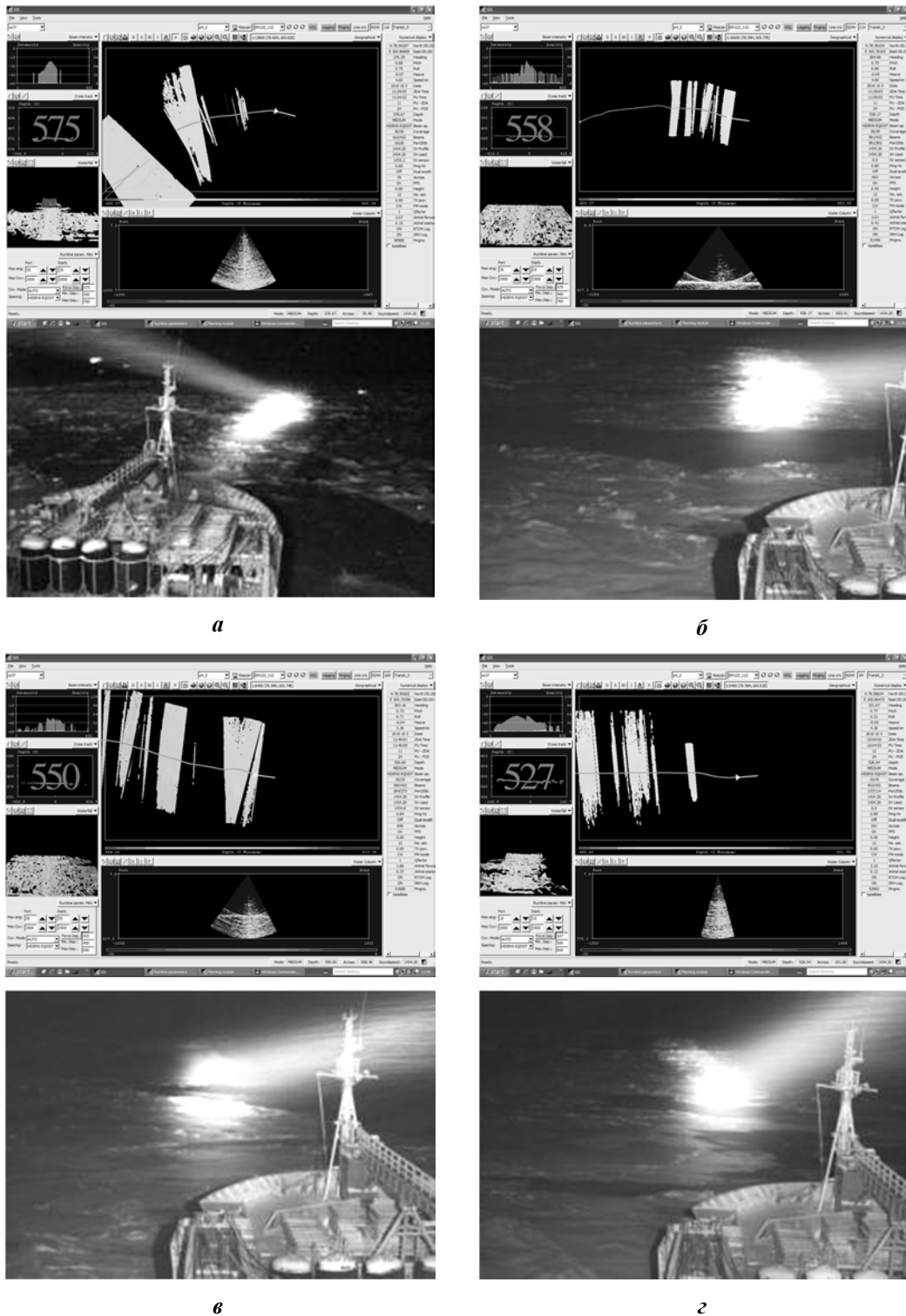


Рис. 2. Результаты съёмки рельефа дна многолучевым эхолотом EM-122 в зависимости от ледовых условий: а – время 15:25; б – время 15:35; в – время 15:40; г – время 16:03

Восстановление данных возможно при улучшении ледовых условий при неизменной скорости движения судна (рис. 2б, зона № 963), существенного сужения полосы обзора или снижении скорости движения до 3 узлов и менее (рис. 2в, зона №964). При увеличении скорости движения судна более 4 узлов в условиях толстого однолетнего льда (снимок №11, снятый с судовой телекамеры, таблица 2, рис. 1г) происходит полная потеря батиметрических данных даже при максимальном сужении полосы раскрытия луча многолучевого эхолота (рис. 2г, зона № 968). В отдельных случаях (в зависимости от ледовых, погодных условий) восстановление данных можно достичь обработкой судна на задний ход.

Общий вид данных съёмки многолучевым эхолотом Kongsberg EM-122, полученных в ходе эксперимента, представлен на рис. 3, на котором видно, что вследствие изменения ледовых условий, а также скоростных характеристик движения судна часть данных была потеряна. Многочисленные пропуски в данных чередуются с относительно «чистыми» участками, где происходило восстановление сигнала. Было выявлено, что при относительно одинаковых ледовых условиях, ухудшение качества данных съёмки рельефа дна наблюдается при увеличении скорости судна выше 4 узлов, с последующим восстановлением сигнала при снижении скорости до 2–3 узлов. В результате обработки материалов промера с использованием гидрографического пакета программного обеспечения CARIS HIPS/SIPS professional (версии 6.1 и 7.0) было рассчитано, что суммарная потеря батиметрических данных составила 52%.

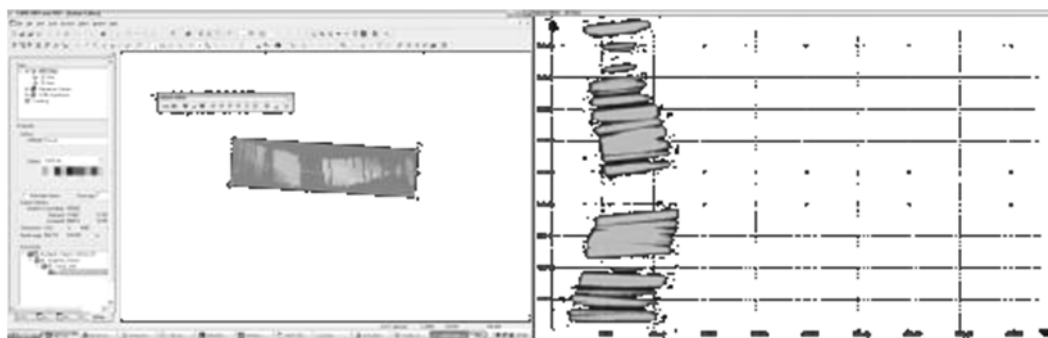


Рис. 3. Общий вид данных съёмки рельефа дна многолучевым эхолотом Kongsberg EM-122, полученных в ходе эксперимента

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

- ледовые условия движения НЭС «Академик Фёдоров» в период проведения эксперимента можно считать благоприятными, так как толщина сплоченного однолетнего льда не превышала 1,4 м, а лёд такой толщины судно способно преодолевать «набегами» без существенных проблем;
- прохождение НЭС «Академик Фёдоров» в благоприятных ледовых условиях сопровождалось нерегулярными потерями батиметрических данных, на скоростях меньше 3 узлов происходило восстановление сигнала;
- на экспериментальном галсе при благоприятных ледовых условиях суммарная потеря батиметрических данных составила 52 %.

При благоприятных ледовых условиях выполнение гидрографических работ с использованием навигационно-гидрографического комплекса на базе глубоководного

многолучевого эхолота Kongsberg EM-122 возможно, но со значительными потерями батиметрических данных при скоростях движения судна более 3 узлов и с необходимостью снижения скорости и остановок для восстановления сигнала многолучевого эхолота.

Таким образом, результаты экспериментального исследования показали возможность самостоятельного выполнения НЭС «Академик Фёдоров» батиметрической съёмки в сплоченных льдах на скоростях, не превышающих 2 узлов. В этом случае выполняется требование по сохранению непрерывности получения отраженного сигнала многолучевым эхолотом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Код для составления гидрометеорологический радиогрaмм на судах КН-01с (Международная форма FM 13-VII SHIP). – Л.: Гидрометеoиздат, 1981. – 55 с.
2. Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане (2010) / Под ред. И. Е. Фролова. – СПб: Изд. ААНИИ, 2011. – 125с.

THE POSSIBILITY TO OBTAIN THE HIGH-QUALITY INFORMATION USING THE EM-122 MULTIBEAM ECHOSOUNDER UNDER THE ICE CONDITIONS

K. G. Stavrov, A. V. Kostenich, N. V. Chervyakova, E. A. Pirogova, Y. M. Kibitkina («GNINGI» OJSC), **D. M. Zhilin** («Hydro-C»JSC)

The results of the experimental explorations of the possibility to obtain the information by the EM-122 multibeam echosounder installed on the RV «Akademic Fedorov» under the ice conditions without the icebreaker support are presented. Under the existing ice conditions, with the ice thickness up to 1.4 m and at a speed higher than 3 kts, the bathymetric data are lost; the signal is recovered when the vessel's speed is reduced. At a speed not higher than 2 kts the continuous recording of the bottom relief is maintained.

УДК 528.92

РЕЛЬЕФ ЗЕМЛИ КАК МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ

Ю. Н. ЖУКОВ (ОАО «ГНИНГИ»)

В статье вводится и обосновывается набор постулатов, осуществляющих экспликацию представлений о рельефе Земли в математические понятия. Аргументируется фрактальный характер реального рельефа Земли. Приводятся два основных математических метода описания фрактальных поверхностей.

Для создания конструктивной автоматизированной технологии построения рельефа Земли, в том числе водоемов, необходимо иметь представление о рельефе как едином математическом объекте с явным перечислением его математических свойств. Такое описание математических свойств рельефа обеспечивает возможность формального описания допустимых автоматизированных алгоритмов обработки данных на ЭВМ.

В статье излагаются постулаты, определяющие математические свойства рельефа.

Для построения логически обоснованного математического описания рельефа необходимо осуществить процедуры экспликации предметной области в математическую.

Невозможно построить логически безошибочное утверждение, в котором посылка включает утверждение из предметной области, а вывод лежит в абстрактной области математики («В огороде бузина, а в Киеве – дядька»). В универсуме наук о Земле (гидрографии, геоморфологии и др.) нет абстрактных числовых систем, поверхностей, симплексов и т. п., а в универсуме математики нет гор, долин, уклонов, извилистости рек и т. д. Поэтому процедура экспликации состоит в построении системы постулатов о свойствах рельефа, выраженных только в математических терминах. Бесспорно, что эти постулаты должны иметь некоторую опытную основу, но должны быть оформлены только как формальные утверждения, формулировки не должны иметь каких либо даже скрытых отсылок к практическому опыту. Только абстрактные объекты и их свойства могут быть использованы в качестве исходных данных (посылок).

Отметим, что термин «постулат» в данном контексте вполне уместен, хотя он и синонимичен термину «аксиома». Система аксиом – согласованный набор утверждений, принимаемых без доказательств, как и система постулатов. Однако система аксиом это утверждения, имеющие чисто абстрактный смысл, тогда как постулаты – абстрактные утверждения, связанные явно или неявно с объектами предметной действительности. Постулаты представляют собой основной набор свойств рассматриваемого объекта или явления, выраженных в формальном виде. Допустимость применения алгоритма к обработке исходной информации определяется тем, что алгоритм должен сохранять все свойства, указанные в постулатах, и не привносить других.

Будем искать математическое представление рельефа сразу для всей Земли.

Приведем постулаты, связывающие гидрографические (геоморфологические) понятия и термины математических структур. Сформулируем три общих априорных постулата, а затем один «технический».

Первый постулат (непрерывности) – рельеф Земли представляет собой непрерывную поверхность.

Второй постулат (топологический) – рельеф Земли представляет собой замкнутую двумерную поверхность в трехмерном пространстве, топологически эквивалентную двумерной сфере.

Эти два очевидных постулата определяют общие геометрические свойства рельефа. Для конструктивного математического описания необходимо иметь некий способ арифметизации геометрических объектов. Поэтому введем вспомогательный постулат, использующий некоторую числовую систему, согласованную по своим свойствам с первыми двумя постулатами. В качестве такой числовой системы выберем наиболее привычную систему вещественных чисел.

Третий постулат (арифметизации): рельеф это топологическое пространство с евклидовой метрикой $\left\{ (x_1, x_2, x_3) \in R^3 \mid (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)^{1/2} - R < h_0 \right\}$ гомеоморфное двумерной сфере (S^2), где R – множество вещественных чисел, $R \in \mathbf{R}_+$, \mathbf{R}_+ –

положительные вещественные числа, $h_0 \in \mathbf{R}_+$ – наибольшее возможное отклонение от R , $2h_0/R \ll 1$. Для определенности положим, что вещественные координаты точки (x_1, x_2, x_3) соответствуют декартовой прямоугольной правой системе координат с начальной точкой в центре сферы.

Последний постулат позволяет перейти от чисто геометрического представления рельефа к его представлению в виде точечного множества.

Кроме того, предположим, что рельеф не имеет «отвесных уклонов с отрицательными углами». Это условие выразим в виде следующего постулата.

Четвертый постулат (технический): всякий луч, выходящий из центра Земли, пересекает поверхность рельефа в единственной точке. Этот постулат дает возможность определить поверхность рельефа как функцию от широты и долготы точки на шаре.

Множество математических поверхностей s , удовлетворяющих приведенным постулатам, обозначим символом Ξ ($\Xi = \{s\}$ или $s \in \Xi$). Заметим, что, используя повороты вокруг центра, некоторые поверхности s из множества Ξ можно совместить поточечно. Такие подмножества поверхностей образуют классы эквивалентности. Поэтому далее в качестве Ξ будем рассматривать множество, состоящее только из представителей классов эквивалентности s .

Множество Ξ математических поверхностей Ξ чрезвычайно обширно. По определению в него включены все непрерывные поверхности. Эти поверхности можно упорядочить по степени дифференцируемости с помощью показателя $\alpha \in \mathbf{R}_+$ (Лифшица-Гельдера) в степенной функции, связывающей приращение функции и приращение ее аргумента. Для нас важно, что, если α равен натуральному числу, то функция дифференцируемая, если α дробное, то всюду не дифференцируемая функция. Всюду недифференцируемая функция называется фракталом. Другими словами, все непрерывные поверхности делятся на два непересекающихся класса: класс дифференцируемых – гладких (обозначим это множество символом $\{\mathcal{S}\}$) и класс всюду недифференцируемых – негладких ($\{s\}$) поверхностей ($\Xi = \{\mathcal{S}\} \cup \{s\}$).

В первом приближении можно понимать фрактал как геометрическую фигуру, которая обладает свойством самоподобия, т. е. составленную из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком. Небольшая часть фрактала содержит информацию обо всем фрактале. Фракталы подобны самим себе, они похожи сами на себя в любом масштабе – под каким бы увеличением не смотреть на фрактальные объекты, они будут все такими же фрагментированными и изломанными.

В картографии и геоинформатике без аргументации неявно предполагается, что рельеф Земли – гладкая функция. Действительно, картографическое изображение рельефа оперирует гладкими линиями изобат и изогипс, что возможно только для гладких функций. Поэтому сформулируем пятый постулат для картографического отображения рельефа Земли: картографический рельеф Земли представляется гладкой поверхностью.

Практический способ отнесения некоторой поверхности к классу гладких или фрактальных основан на косвенном применении зависимости Лифшица-Гельдера. В геоморфологии этот способ называется оценкой кривой пересеченности – широко

используемого метода для описания изрезанности поверхности рельефа. Напомним способ построения кривой пересеченности. На карте некоторого масштаба берутся произвольно равномерно распределенные по площади пары точек, отстоящих друг от друга на расстояние r . Определяется разность высот h каждой пары точек и находится среднее арифметическое абсолютных величин этих разностей. Затем расстояние удваивается, утраивается и т. д.; на карте вновь выбираются пары точек, замеряются разности высот и находятся средние значения, соответствующие увеличенному расстоянию между точками. Эти средние значения наносятся на график, на котором по оси абсцисс откладывается расстояние между точками, а по оси ординат – средние значения разностей высот. Кривая, вблизи которой укладываются точки на графике, является кривой пересеченности $h = f(r)$. Заметим, что аппроксимируют эту зависимость всегда степенной функцией с дробным показателем степени, которая свойственна фрактальным поверхностям.

Публикации, посвященные результатам оценки кривой пересеченности и другим параметрам, характеризующим степень дифференцируемости поверхности рельефа Земли, свидетельствуют, что рельеф Земли наибольшей относится к классу фрактальных функций [1–9].

На основании вышесказанного сформулируем шестой постулат для рельефа Земли: физический рельеф Земли адекватно представляется всюду недифференцируемой поверхностью – фракталом.

Важнейшим следствием является то, что любое сечение фрактальной поверхности будет также являться фрактальной линией [10].

Фрактальную линию и поверхность графически изобразить нельзя. Это обстоятельство совершенно аналогично тому, что иррациональное число нельзя представить графически в виде цифр. Однако фрактал можно представить в виде некоторой бесконечной итерационной процедуры, на каждом шаге которой можно изобразить промежуточное состояние в построении фрактала. Такое промежуточное состояние называется предфракталом.

Кроме того, отсутствие дифференцируемости для фракталов приводит к неприменимости понятия длины для фрактальной линии и понятия площади для фрактальной поверхности.

Свойство фрактальности проявляется в картографии в различных аспектах. Главный аспект состоит в том, что для отображения рельефа применяют длинную линейку масштабов карт. На каждом масштабе предполагается (неявно), что рельеф – гладкая поверхность. Это следует из того, что изогипсы (изобаты) – гладкие кривые. Однако рельеф одного и того же участка на картах разного масштаба различен в деталях. Причем с увеличением масштаба нет сходимости в положении изогипс (изобат), что и свидетельствует об отсутствии сходимости к некоторой гладкой поверхности. Именно это обстоятельство объясняет необходимость процедуры картографической генерализации в технологии построения карт различного масштаба. Формальное описание связи между процессом картографической генерализации и фрактальностью приводится в работе [11].

Наиболее прозрачно свойство недифференцируемости рельефа проявляется в оценках длины береговых линий по картам различного масштаба. Заметим, что графическое изображение береговых линий на картах является, по сути, предфракталами различного уровня детализации, отображающими «горизонтальное»

сечение ζ , соответствующее нулевому уровню моря. При измерении береговой линии в постоянно укрупняющемся масштабе в рассмотрение попадают все более мелкие изгибы, и каждая новая деталь увеличивает общую длину берега. В случае фрактальности рельефа наблюдаемая длина должна возрастать неограниченно. Именно это демонстрирует рис. 1, на котором приведен пример оценки длины береговой линии для различных участков побережья. Видно, что оценки длин растут с увеличением масштаба по степенному закону. В тоже время график для гладкой кривой должен стремиться к постоянному значению, как, например, график для окружности, приведенный на рис. 1.

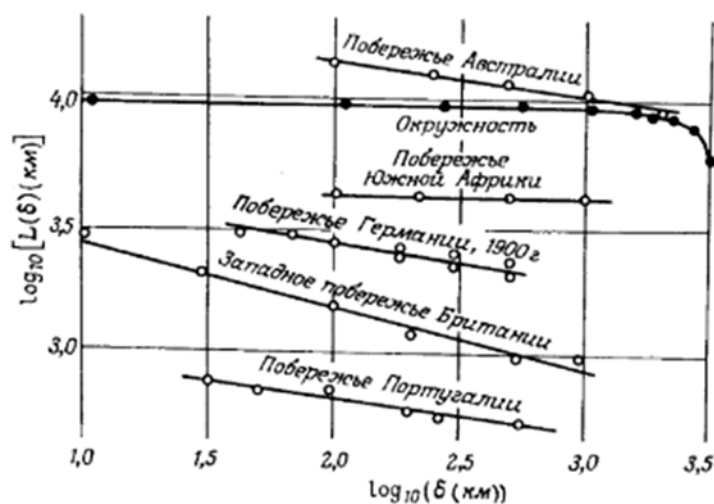


Рис. 1. Длина береговых линий как функция выбранной единицы измерения δ .

К настоящему времени установлено, что фрактальными объектами являются длины рек [12], структура и границы водосборов и овражно-балочных сетей [13], распределения островов по площади [1].

Отсутствие дифференцируемости у фрактальных функций приводит к необходимости использовать специфический аппарат для их представления. К такому аппарату можно отнести две техники: системы итерирующих функций (Iterated Function Systems – IFS) и вейвлеты. Эти математические инструменты позволяют представить фрактальную функцию в виде предфрактала только как среднее (средне взвешенное значение) на дискретном множестве ячеек (точек), обычно регулярном. Площадь ячеек соответствует некоторому масштабу кратному степени двойки. Для IFS вообще отсутствуют какие-либо принципиальные ограничения на значения масштаба. Для вейвлетов возможны все масштабы меньше некоторого максимального, определяемого только плотностью исходных данных.

Данные построены в двойном логарифмическом масштабе [2].

Для сравнения двух различных предфракталов необходимо, чтобы они были заданы на тождественной сетке ячеек, но сферу нельзя замостить регулярной сетью квадратов (прямоугольников).

Для решения этой задачи используют методы глобальной дискретизации сферы (эллипсоида) и специальные структуры данных (см., например, работу [14]). Для иллюстрации на рис. 2–4 представлены некоторые схемы дискретизации. Для такого

рода сеток определяются IFS и вейвлеты для представления фрактального рельефа [15].

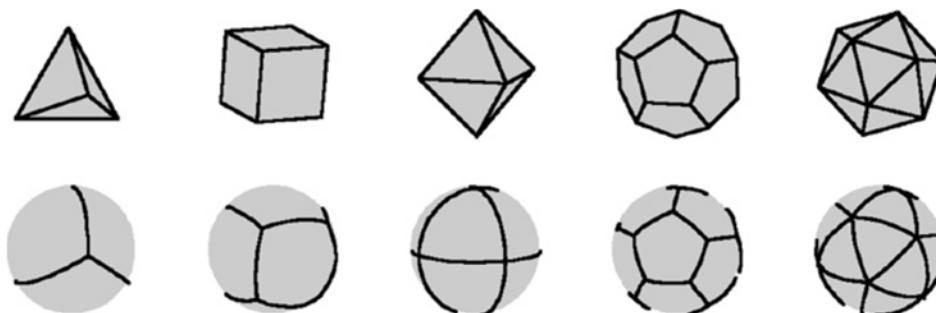


Рис. 2. Планарная (верхний ряд) и сферическая (нижний ряд) версии пяти платоновых тел (слева направо): тетраэдра, шестиугольника (куба), октаэдра, додекаэдра и икосаэдра

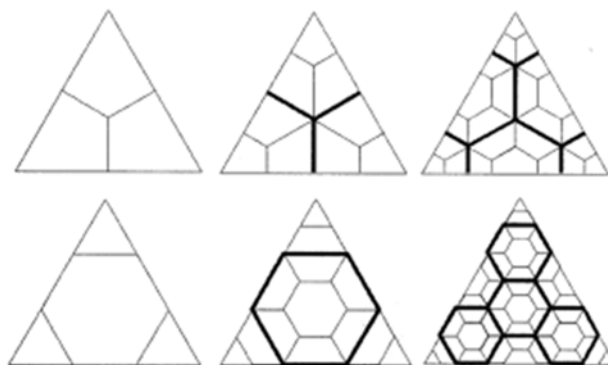


Рис. 3. Дробление, основанное на шестиугольнике: левый ряд – уровень 1, средний ряд – уровень 2, правый ряд – уровень 3

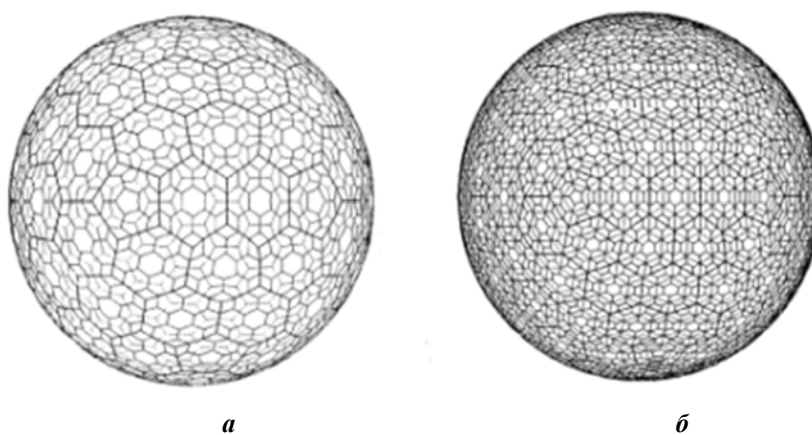


Рис. 4. Результаты дробления шестиугольника на сфере: *a* – уровень *i*, *b* – уровень *i+1*

Основной принцип IFS – представить самоподобный фрактал как композицию множества «мельчайших» копий самого себя. Заметим, что рельеф представляется и более сложными фрактальными конструкциями, чем самоподобный фрактал [16]. IFS представляет собой относительно громоздкую теоретико-множественную конструкцию, поэтому ограничимся только общим схематическим описанием [17].

Общая запись IFS имеет вид [16]:

$$W(\cdot) = \bigcup_{i=1}^n w_i(\cdot), \quad (1)$$

где (\cdot) соответствует параметрам пространства \mathbf{R}^n , w_i , т. е. соответствует каждому отдельному сжимающему отображению $\{w_i: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^n | i = 1, \dots, n\}$. Графическая схема последовательных результатов применения рекуррентной процедуры (1) показана на рис. 5. На рис. 6 представлена иллюстрация действия IFS для фрактальной поверхности.



Рис. 5. Графическая иллюстрация действия IFS. Слева направо исходное изображение и три последующие итерации

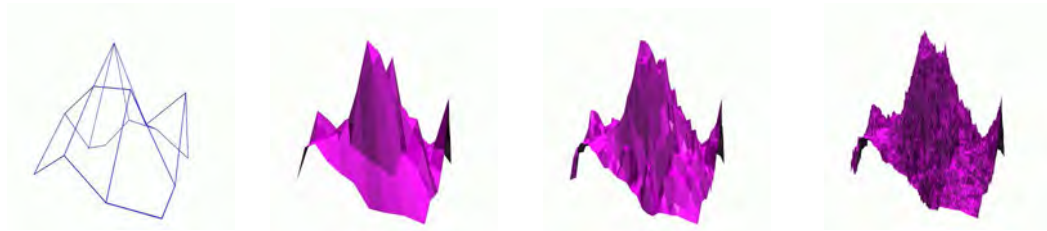


Рис. 6. Начальные шаги генерации фрактальной поверхности с помощью IFS

Для плоскости \mathbf{R}^2 конкретное выражение IFS есть [16]:

$$W(x) = w_i \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i & b_i \\ c_i & d_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \end{bmatrix} = A_i x + t_i.$$

Отсюда, например, для треугольного ковра Серпинского форма IFS будет [16]:

$$w_i \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0 \\ 0 & 0,5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$w_i \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0 \\ 0 & 0,5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 50 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$w_i \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0 \\ 0 & 0,5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 50 \\ 50 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Графический результат рекурсивного применения этих матричных выражений представлен на рис. 7.

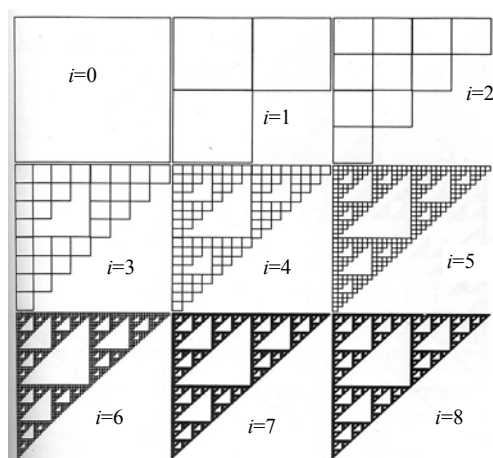


Рис. 7. Результат рекурсивного применения матричных выражений (2) – (4) к квадрату в левом верхнем углу

Вейвлеты как математическое средство для иерархического представления функций позволяют описать произвольную функцию в терминах грубого усредненного приближения деталей различного масштаба.

Даже для схематичного формального описания двумерного вейвлет-преобразования требуется ввести огромное число определений [18]. Приведем неформальное обоснование дискретных вейвлетов. Классическим инструментом анализа данных служит анализ Фурье, который можно использовать, чтобы обратить данные наблюдений в точку в форму, более удобную для анализа частот. Однако при использовании методов Фурье возникает одно затруднение: каждый коэффициент Фурье содержит полную информацию о поведении ряда лишь на одной частоте и никакой информации о поведении на других частотах. Кроме того, методы Фурье трудно адаптировать ко многим ситуациям, имеющим практическое значение. Например, большинство встречающихся на практике временных рядов является конечными и аперiodическими, в то время как дискретное преобразование Фурье можно применять только для периодических функций.

Недостатки методов Фурье и необходимость обеспечить иерархическое представление функций, называемое кратномасштабным анализом, послужили причиной разработки методов, в основе которых исследуемая функция представляется набором коэффициентов, каждый из которых несет ограниченную информацию и о положении, и о частоте функции (рис. 8).

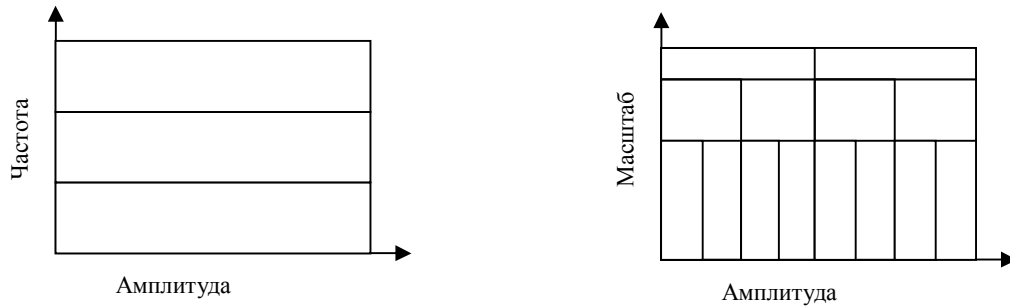


Рис. 8. Частотно-временная диаграмма для преобразования Фурье (слева) и масштабно-временная диаграмма для вейвлет-преобразования (справа)

Несмотря на существование многообразия методов иерархического представления функций, разработанная теория вейвлетов содержит арсенал чрезвычайно полезных средств, позволяющих осуществить иерархическое разложение функций эффективным и одновременно теоретически обоснованным способом. Вейвлет-представление функций состоит из общего грубого приближения и уточняющих коэффициентов, позволяющих работать с функцией при различных масштабах.

Двумерные дискретные вейвлеты представляют собой семейство из четырех тензорных произведений (HH, HL, LH, LL) двух фильтров с некоторыми специальными свойствами: низкочастотного L и высокочастотного H , параметризованных масштабными и сдвиговыми коэффициентами. Эти два фильтра являются одномерными дискретными вейвлетами. Исходными данными для двумерной вейвлет-декомпозиции служат скалярные функции, заданные на регулярной сетке точек (матрицы).

Процесс двумерной вейвлет-декомпозиции осуществляется по схеме, представленной на рис. 9.

Вейвлеты широко применяются для представления рельефа, заданного на регулярной сетке точек, в различных масштабах [19]. С помощью вейвлетов производят выявление резких перепадов в значениях функции, оценивают фрактальные параметры. Именно связь между коэффициентами вейвлет-разложения и фрактальными параметрами является основой применения вейвлет-преобразования при описании фрактальных функций.

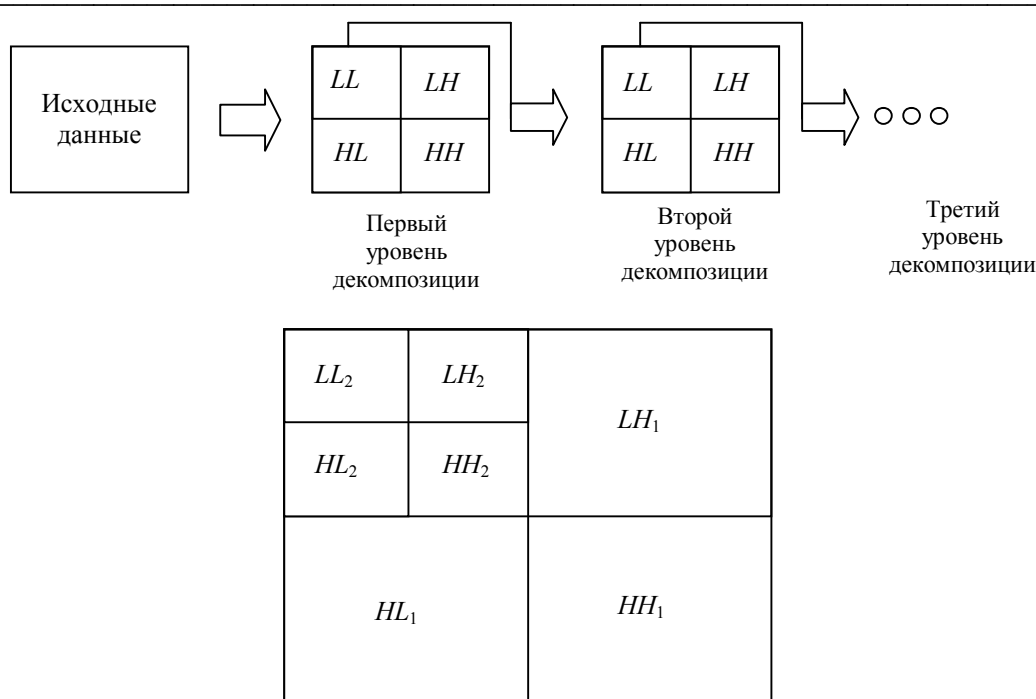


Рис. 9. Схема двумерной вейвлет-декомпозиции. Вверху представлена цепочка вычислений, внизу – масштабное соответствие уровней декомпозиции

В настоящее время практическое применение фрактального представления рельефа лежит в сфере имитации. Разработано большое число алгоритмов, имитирующих рельеф фрактальными поверхностями [2, 3]. На рис. 10 представлены два примера имитации фрактального рельефа.



Рис. 10. Примеры имитации рельефа фракталами

Таким образом, в статье показано, что физической поверхности рельефа Земли соответствует математический объект в виде всюду недифференцируемой поверхности. Такой математический объект описывается с помощью специальных математических инструментов-вейвлетов и систем итерирующих функций (IFS).

Заметим, что выбранные формулировки постулатов описывают поверхность рельефа в виде элементарной математической структуры, однако это не является

ограничением. Вполне возможно перейти к более сложным конструкциям, например, разрешить существование «пещер», «тоннелей» и т. п., только в этом случае необходимо применять более сложную математическую технику описания.

Математические инструменты описания рельефа как гладкой функции будут приведены в другой статье автора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 655 с.
2. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
3. Pelletier J.D. Why is topography fractal? – Department of Geological Sciences, Snee Hall, Cornell University, Ithaca, New York, 1998. – 65 p.
4. Lovejoy S., Lavalley D., Schertzer D., Ladoy P. The $l^{1/2}$ law and multifractal topography: theory and analysis. // *Nonlinear Processes in Geophysics*. – 1995. Vol. 2. P. 16–22. (new2/npg-2-16-1995.pdf)
5. Gagnon J. S., Lovejoy S., Schertzer D. Multifractal earth topography // *Nonlinear Processes in Geophysics*. – 2006. Vol. 13. P. 541–570.
6. Wilson T. H., Dominic J. Fractal Interrelationships between Topography and Structure // *Earth Surf. Process. Landforms*. – 1998. – Vol. 23. – P. 509–525.
7. Chakraborty B., Mahale V., Srinivas K. Quantitative characteristics of the Indian Ocean seafloor relief using fractal dimension // *Indian Journal of Marine Sciences*. – 2007, June. – Vol. 36(2). – P. 152–161.
8. Kim K., Kong Y. S. Multifractal Structure of the Sea-Bottom Topography in the Korean Sea // *Journal of the Korean Physical Society*. – 2000, April. Vol. – 36. – No. 4. – P. 245–247.
9. Zawada D. G., Brock J. C. A Multiscale Analysis of Coral Reef Topographic Complexity Using Lidar-Derived Bathymetry // *Journal of Coastal Research*. – 2009. – SI(53). P. 6–15.
10. Мандельброт Б. Самоаффинные фрактальные множества // Фракталы в физике: Труды VI международного симпозиума по фракталам в физике (МЦТФ, Триест, Италия, 9–12 июля, 1985) – М.: Мир, 1988. – С. 9–47.
11. Жуков Ю. Н. Формальная модель генерализации естественных геопространственных полей. // *Записки по гидрографии*. – 2005. – №264. – С. 23–29.
12. Мельник М. А. Фрактальный анализ морфологически однородных участков рек (на примере Томской области) // *Материалы XIII научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока*. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2007. – Т. 1. – С. 165–167.
13. Иванов А. В., Короновский А. А., Минюхин И. Н., Яшков И. А. Определение фрактальной размерности овражно-балочной сети города Саратова. // *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика*. – 2006. – Т. 14. – №2. – С. 64–73.
14. Sahr K., White D., Kimerling A. Geodesic Discrete Global Grid Systems // *Cartography and Geographic Information Science*. – 2003. – Vol. 30. – No. 2. – P. 121–134.
15. Gagnon J., Lovejoy S., Schertzer D. Multifractal earth topography // *Nonlin. Processes Geophys.* – 2006. No 13. P. 541–570.
16. Кроновер Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
17. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
18. Keitt T. H., Urban D. L. Scale-Specific Inference Using Wavelets // *Ecology*, 2005. No 86(9). – P. 2497–2504.
19. Franceschetti G., Riccio D. Scattering, Natural Surfaces and Fractals. – Academic Press is an imprint of Elsevier, 2007. – 307 pp.

RELIEF OF THE EARTH AS A MATHEMATICAL OBJECT

Y. N. Zhukov («GNINGI» OJSC)

A set of postulates explicating the notions of the Earth's relief into the mathematical notions is introduced and substantiated. The arguments for the fractal character of the real Earth's relief are used. Two principal mathematical methods of the fractal surfaces description are presented.

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ ОПИСАНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО
ОТОБРАЖЕНИЯ РЕЛЬЕФА ЗЕМЛИ**

Ю. Н. ЖУКОВ (ОАО «ГНИНГИ»)

В картографии рельеф Земли отображается в виде гладкой поверхности. В статье приводятся основные математические методы топологического описания гладких двумерных функций. Эти математические инструменты позволяют автоматизировать многие практические задачи картографии.

Картография – основной способ представления рельефа. Главная особенность картографирования рельефа состоит в том, что рельеф на картах всегда представляется в виде гладкой функции. Наличие гладких изолиний на картах (изогипс, изобат) – свидетельство гладкости поверхности рельефа. В картографии фрактальность рельефа проявляется косвенно, через картографическую генерализацию. Традиционно рельеф представляется в виде карт различного масштаба. На картах большого масштаба отображаются более мелкие формы рельефа. Переход к меньшему масштабу требует применения законов картографической генерализации – сглаживания, утрирования, исключения форм рельефа малых размеров.

Различные формы рельефа в различных масштабах изучает наука геоморфология. Описание форм рельефа дна водоемов осуществляет гидрография, в ряде случаев используя методы геоморфологии. В последнее время принято различать по размерам формы рельефа делить на порядки. В настоящее время выделяют до 12 порядков земной поверхности [1]. Например, к первой категории относятся континентальные выступы и океанические впадины (площадь форм 10^7 км²), ко второй категории – части первых размером 10^6 км², к третьей – части элементов рельефа второй категории с размерами порядка 10^5 км². Деление проводится дальше, и каждая последующая категория занимает площадь, на порядок величин меньшую по сравнению с предыдущей. Здесь важно отметить, что объектам каждой категории соответствуют свои пространственные масштабы карты, где эти объекты можно наблюдать. В других масштабах эти объекты не наблюдаемы. Кроме того, подобным по форме объектам из различных категорий дают разные имена, например, холм, сопка, возвышенность, гора, горная область, хребет.

Эти особенности геоморфологической классификации накладывали отпечаток на применение математики в геоморфологических исследованиях. Практически для каждой именной формы рельефа разрабатывались свои способы и методы математического описания. Применяемый в геоморфологии аппарат математики менялся со временем. Вначале использовался аппарат элементарной геометрии [2], затем перешли к описанию рельефа с помощью элементов дифференциальной геометрии [3].

В этой работе предлагается перейти к использованию более абстрактного математического аппарата – топологии, а именно элементов теории

дифференциальной и алгебраической (комбинаторной) топологии. Применение этого аппарата позволит математически корректно описывать все формы рельефа независимо от масштабов.

Алгебраическая топология обеспечивает связь между геометрией и алгеброй, между непрерывным и дискретным описанием рельефа, описанием структурных особенностей рельефа: точек минимумов, максимумов, линий сети тальвегов и водоразделов. Дифференциальная топология обеспечивает теоретическую основу для выявления и согласования глобальных свойств поверхности рельефа с набором его локальных структурных особенностей. Все это позволяет осуществить реализацию конструктивных алгоритмов для ЭВМ.

Кроме того, аппарат дифференциальной и алгебраической топологии дает возможность приближенно восстановить поверхность по набору точечных данных, сравнивать степень близости двух представлений поверхности рельефа фиксированной области как в одном масштабе, так и в различных масштабах, а также получить логически аргументированный способ упрощения рельефа с целью генерализации и удаления шума измерений.

Рельеф как функция Морса. Топология (как и картография) занимается описанием гладких функций. В нашем случае реальный рельеф фрактален. Возможность приближенного представления фрактальной поверхности с помощью гладкой функций гарантирует теорема Вейерштрасса.

Знаменитая теорема Вейерштрасса [4] утверждает, что непрерывную функцию (подчеркнем, что достаточно только непрерывности, требование гладкости функции отсутствует вообще) нескольких переменных $f(x_1, \dots, x_n)$ на замкнутом ограниченном множестве Q можно равномерно приблизить последовательностью полиномов: для любого $\varepsilon > 0$ существует такой многочлен $P(x_1, \dots, x_n)$, что максимум его отклонения от $f(x_1, \dots, x_n)$ на Q не превосходит данного ε :

$$\max_Q |f(x_1, \dots, x_n) - P(x_1, \dots, x_n)| < \varepsilon. \quad (1)$$

Таким образом, картография неявно использует эту теорему для приближенного отображения реального фрактального рельефа в виде гладкой поверхности. Среди многообразия возможных гладких поверхностей следует выделить класс поверхностей, который будет представлять все остальные гладкие функции. В качестве такого класса целесообразно использовать класс функций Морса. Можно считать, что поверхности, принадлежащие классу функций Морса наиболее «просто» устроены с математической точки зрения. Дело в том, что эти функции имеют минимально возможный набор типов критических точек, а именно: точки локальных максимумов, минимумов и простые седловые точки.

Обычно рассматривают двумерные функции, заданные на плоскости. В нашем случае поверхность рельефа задается на сфере S^2 . Это многообразие замкнуто и ограничено, поэтому компактно.

Гладкие функции, заданные на произвольном многообразии, исследует теория Морса [5]. Эта математическая теория исследует отношение между топологией

многообразия M (для нас M – сфера) и критическими точками скалярной функции $f: M \rightarrow R$, определенной на многообразии M .

Рассмотрим гладкую функцию $f: M \rightarrow R$ на гладком многообразии M , и пусть x_1, \dots, x_n – гладкие регулярные координаты в окрестности точки $p \in M$. Точка p называется критической для функции f , если дифференциал обращается в ноль в точке p . Это эквивалентно условию обращения в ноль всех частных производных функции в данной точке. Критическая точка называется невырожденной, если второй дифференциал не вырожден в этой точке. Это эквивалентно условию, что матрица вторых частных производных имеет определитель, отличный от нуля.

Гладкая функция $f: M \rightarrow R$ является функцией Морса, если все ее критические точки не вырождены. Замечательным фактом в теории критических точек является то, что для функций Морса на S^2 известна полная классификация критических точек и геометрия в их окрестности. Оказывается, что вблизи критической точки $p \in S^2$ всегда существует возможность выбора таких локальных координат x и y , которые позволяют записать функцию вблизи этой точки в виде:

$$f(x, y) = \pm x^2 \pm y^2, \quad (2)$$

и все эти критические точки будут изолированы (лемма Морса).

На рис. 1 представлены графики поверхностей для всех четырех возможных критических точек вблизи точки с координатами $(0,0)$.

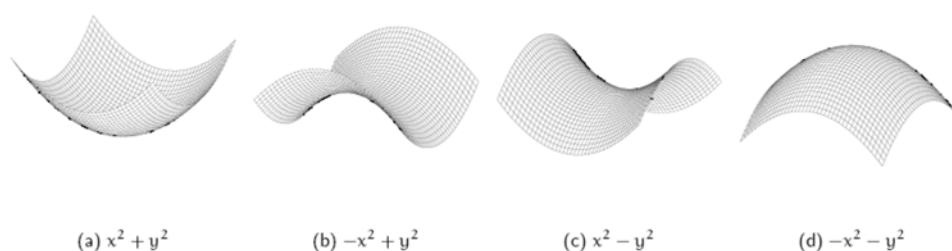


Рис. 1. Поведение функции $f(x, y)$ вблизи критической точки с координатами $(0,0)$, (a) – минимум, (b) и (c) – седло, (d) – максимум

Если гладкая функция на сфере не является функцией Морса, то она может иметь не только невырожденные критические точки типа (2), но и вырожденные типы критических точек, отличных от (2), например, вырожденную критическую точку типа «обезьяньего седла», представленного на рис. 2.

Однако каждая ограниченная гладкая функция $f: M \rightarrow R$ может быть равномерно аппроксимирована гладкой функцией g , не имеющей вырожденных критических точек. Более того, g можно выбрать так, чтобы i -ые производные g на компактном множестве K равномерно приближали соответствующие производные f при $i \leq k$. Функции Морса всюду плотны в пространстве всех гладких функций

на гладком многообразии. Другими словами, любую гладкую функцию сколь угодно малым шевелением можно превратить в функцию Морса. При этом сложные вырожденные критические точки рассыпаются в объединение некоторого числа морсовских, т. е. невырожденных, особенностей. Это объясняется тем, что невырожденные критические точки типа (2) устойчивы относительно малых «шевелений» графиков (рис. 2), тогда как вырожденные критические точки при малых «шевелениях» соответствующих графиков либо исчезают, либо переходят в поверхность с некоторым набором невырожденных критических точек типа (2).

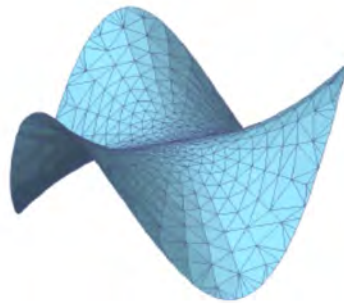


Рис. 2. График поверхности вблизи точки с координатами $(0,0)$ для вырожденной критической точки типа «обезьяньего седла»

Таким образом, всегда возможно любую гладкую функцию на сфере представить в виде функции Морса. Другими словами, всякой поверхности рельефа, представленной на карте, можно однозначно сопоставить некоторую функцию Морса.

В статье предметом изучения служат функции двух переменных, рассматриваемые как раз не как функции *двух* переменных x и y , а как функции, заданные в точках двумерной области – S^2 . В связи с этим вводимые понятия будут строиться так, чтобы они не зависели от случайного выбора системы координат.

Алгебраическая топология обнаруживает резкое расщепление свойств функций двух переменных. Одни из них оказываются близки к свойствам функций одного переменного. Другие свойства функций двух переменных, наоборот, резко «двумерны». Кроме того, оказывается, что есть и понятия, которые зависят как от «одномерных», так и от «двумерных» свойств функций.

«Одномерные» свойства функции двух переменных описываются с помощью графа Кронрода-Риба, а свойства более высокой размерности – с помощью комплексов Морса-Смейла.

Графы Кронрода-Риба. Рассмотрим пространство всех гладких функций на гладком многообразии. Как устроены типичные функции, функции общего положения? Чем они отличаются от экзотических функций? Ясно, что во многом свойства функции определяются характером её особенностей, т. е. тех точек, в которых её дифференциал равен нулю. Поэтому вопрос о типичности можно свести к вопросу об устройстве функции с типичными особенностями.

Теория Морса устанавливает основы для описания множества критических точек гладкой функции, заданной на многообразии. Используя теорию Морса, можно

определить способ описания формы поверхности, основанный на эволюции поверхности изолиний уровней, отображающей функцию. Этот способ, заключающийся в сопоставлении уровней критических точек на поверхности, как правило, рассматривается как один из самых простых способов описания геометрии поверхности. С каждой функцией связан некоторый одномерный континуум, её одномерное дерево. Изучение ряда свойств самой функции сводится к изучению свойств соответствующей функции на одномерном дереве. Разделение свойств функции двух переменных на «одномерные» и «двумерные» представляет факт принципиальный. С этой точки зрения введение одномерного дерева как раз существенно: с его помощью особенно чётко выделяются одномерные свойства двумерной функции.

В дальнейшем через $f^{-1}(r)$ будем обозначать полный прообраз значения r скалярной функции f , заданной на S^2 ($f: S^2 \rightarrow R$). Через a будем обозначать регулярные значения функции, т. е. такие значения, в прообразе которых нет ни одной критической точки. В этом случае $f^{-1}(a)$ всегда является гладким подмногообразием в S^2 в силу известной теоремы о неявной функции. Обозначим через c критические значения функции, т. е. такие значения, в прообразе которых есть хотя бы одна критическая точка.

Пусть f – функция Морса на компактном гладком многообразии S^2 . Рассмотрим произвольную поверхность уровня $f^{-1}(a)$ и её компоненты связности, которые назовём слоями. В результате многообразие разбивается в объединение слоёв, получается слоение с особенностями. Подчеркнём, что каждый слой связан по определению. Объявляя каждый слой одной точкой и вводя естественную фактор-топологию в пространстве слоёв Γ , получаем некоторое фактор-пространство. Его можно рассматривать как базу этого слоения. Для функции Морса пространство Γ является графом.

Граф Γ называется графом Кронрода-Риба [6, 7] для функции Морса f на многообразии S^2 . Вершиной графа Кронрода-Риба назовём точку, отвечающую особому слою функции f , т. е. связной компоненте уровня, содержащей критическую точку функции. Вершину графа Кронрода-Риба назовём концевой, если она является концом ровно одного ребра графа. Все остальные вершины назовём внутренними.

Концевые вершины графа Кронрода-Риба взаимно-однозначно отвечают локальным минимумам и максимумам функции. Внутренние вершины графа Кронрода-Риба взаимно-однозначно отвечают особым слоям функции, содержащим седловые критические точки (рис. 3).

Если заранее известно, что изучаемая поверхность является ориентируемой или неориентируемой, то граф Кронрода-Риба произвольной простой функции на ней позволяет восстановить топологию поверхности. Графы Кронрода-Риба рассматриваются с точностью до изоморфизма ориентированных графов. Две функции Морса на ориентируемой поверхности послойно эквивалентны тогда и только тогда, когда их графы Кронрода-Риба изоморфны.

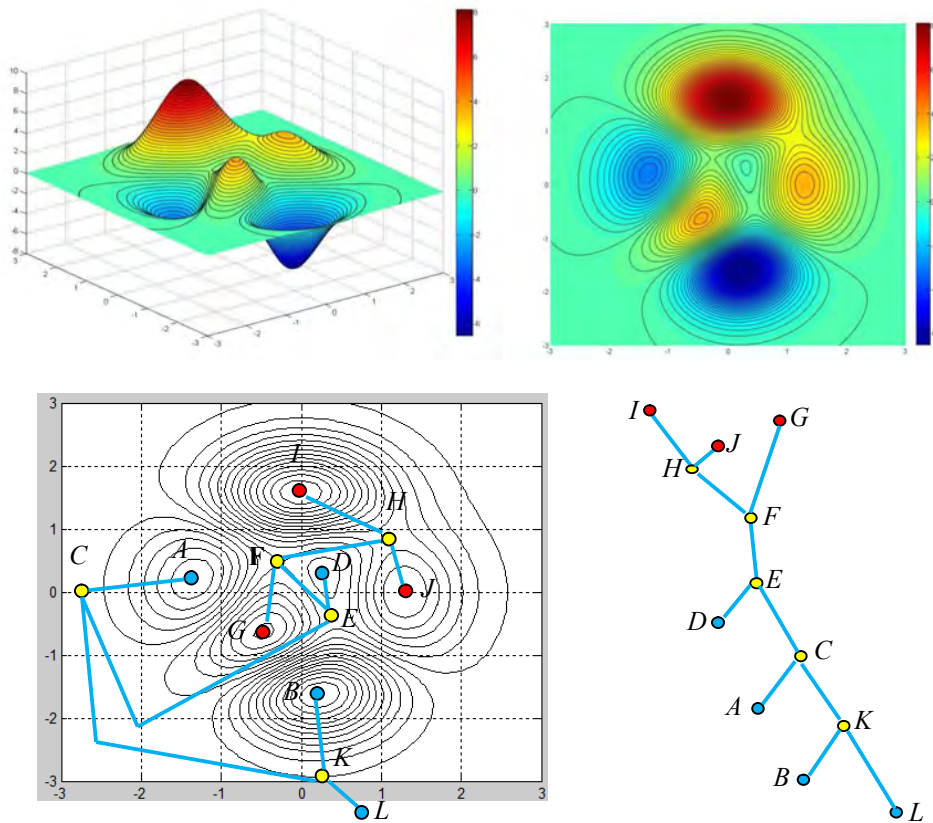


Рис. 3. Граф Кронрода-Риба (справа внизу) для функции, изображенной на двух верхних рисунках. Слева внизу – вложение графа Кронрода-Риба в плоскость контурного рисунка функции (точки I, J, G – максимумы, A, B, D, L – минимумы, H, F, E, C, K – седла)

Следует отметить, что для вырожденной функции Морса (наличие вырожденной критической точки) сколь угодно малым ее шевелением можно добиться, чтобы на каждом критическом уровне c (т. е. на множестве точек p , для которых $f(p)=c$) лежала ровно одна критическая точка. Другими словами, критические точки, попавшие на один уровень, можно развести на близкие уровни (рис. 4). Функции Морса, имеющие ровно по одной критической точке на каждом критическом уровне, называются простыми.

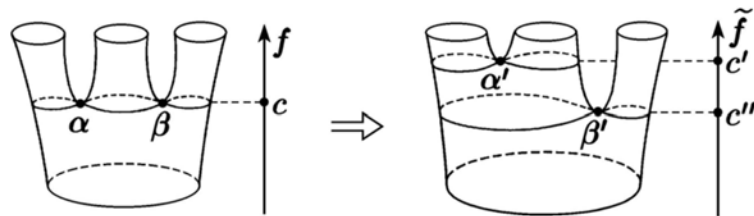


Рис. 4. Расщепление двух седел

Для невырожденной функции Морса граф Кронрода-Риба является деревом, имеющим T тройных точек ветвления, $K = T + 2$ концевых точек и $P = 2T + 1$ ребро, соединяющие $K + T = 2T + 2$ вершины графа [8]. Более того, существует всего два различных типа тройных точек ветвления. Первый тип соответствует поверхности горы Эльбрус, для которой функция (высота) имеет две точки максимума и одну седловую точку, так что граф Кронрода-Риба имеет вид буквы «Y» (рис. 5). Второй тип соответствует поверхности горы Везувий (рис. 6) [9].

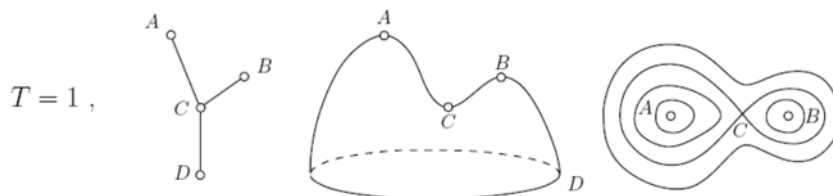


Рис. 5. Граф Кронрода-Риба для г. Эльбрус

Графы Кронрода-Риба позволяют рассчитать число возможных топологически различных функций Морса на сфере [10], установить топологическую эквивалентность двух функций Морса, определить эту поверхность однозначно с точностью до диффеоморфизма.

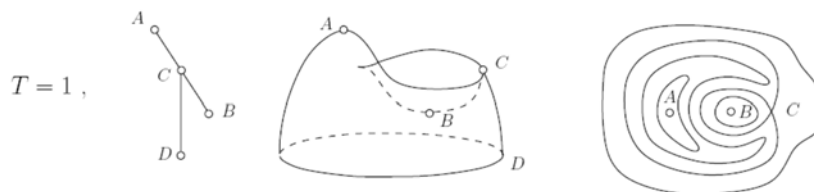


Рис. 6. Граф Кронрода-Риба для г. Везувий

Комплексы Морса-Смейла. Для функции Морса топология множества уровней связана с критическими точками и полем градиента функции. Эта связь обеспечивает возможность для формального описания поверхности в алгебраической форме. В отличие от других методов топологии, основанных, например, на деревьях Кронрода-Риба, использование комплекса Морса-Смейла обеспечивает описание двумерных и многомерных свойств поверхности, что позволяет получить представление локальной топологии гладких функций и произвести сегментацию поверхности на регионы с «однородным» полем градиента. Другими словами, геометрия гладкой поверхности отображается в простые геометрические образы (симплициальные комплексы (рис. 7), анализ которых позволяет описать структурные особенности исходной поверхности различной размерности: нуль-, одно- и двумерные. Эти структурные особенности легко интерпретируются в геоморфологических терминах: нульмерным объектам соответствуют вершины (пики) и впадины (ямы), одномерным – линии сети тальвегов, водоразделов, двумерным – монотонные склоны. Этим обеспечивается связь геометрических свойств через структурные особенности с геоморфологической семантикой.

Критические точки функции Морса – это те точки на двумерной поверхности, где функция стационарна. Чтобы в полной мере описать функцию Морса, мы должны выделить ее структурные особенности. Для этого нужно определить векторное поле, называемое градиентом.

Градиентом функции Морса является векторное поле на S^2 . Проинтегрируем это его для того, чтобы осуществить декомпозицию S^2 на регионы с однородными потоками.

Кривая $l(t)$ называется интегральной линией f , если $\frac{\partial}{\partial s} l(t) = df(l(t))$ для всех $t \in R$. Другими словами интегральная линия есть путь, для которого касательный вектор параллелен градиенту в каждой точке пути.

Предел $\lim_{s \rightarrow -\infty} l(t)$ называется источником интегральной линии $l(t)$ и обозначается $org(l)$. Предел $\lim_{s \rightarrow +\infty} l(t)$ называется приемником интегральной линии $l(t)$ и обозначается $dest(l)$.

Интегральные линии на гладких функциях обладают следующими свойствами:

- 1) две интегральные линии либо пересекаются, либо же совпадают;
- 2) интегральные линии покрывают все S^2 ;
- 3) источники и приемники интегральных линий являются критическими точками f .

Интегральные линии монотонны и, следовательно, $org(l) \neq dest(l)$. Эти свойства обеспечивают условие, что каждая точка S^2 имеет ровно одну интегральную линию, проходящую через нее. Все точки на S^2 могут быть классифицированы как источники или приемники.

Перечисленные свойства следуют из стандартного дифференциального исчисления.

Интегральные линии, которые соединяют максимум и седло или минимум и седло, называются линиями сепаратрис. В геоморфологии линии сепаратрис, которые соединяют минимумы и седла, обычно называют оврагами, или линиями долин, а те, которые соединяют седла и максимумы, называются линиями хребтов.

Пусть p будет некоторой критической точкой функции $f: S^2 \rightarrow R$. Неустойчивым многообразием для точки p является множество точек, принадлежащих интегральной линии, для которой источником является p , $U(p) = \{p\} \cup \{x \in S^2 \mid x \in im(l), org(l) = p\}$. Устойчивым многообразием для точки p есть множество точек, принадлежащих интегральной линии, для которой приемником является p , $S(p) = \{p\} \cup \{x \in S^2 \mid x \in im(l), dest(l) = p\}$. Здесь $im(l)$ есть отображение кривой $l \in S^2$.

На рис. 7 показаны устойчивые и неустойчивые многообразия некоторой функции Морса f на сфере. Здесь следует считать, что внешние границы рельефа на рисунке соответствуют минимуму, равному минус бесконечности.

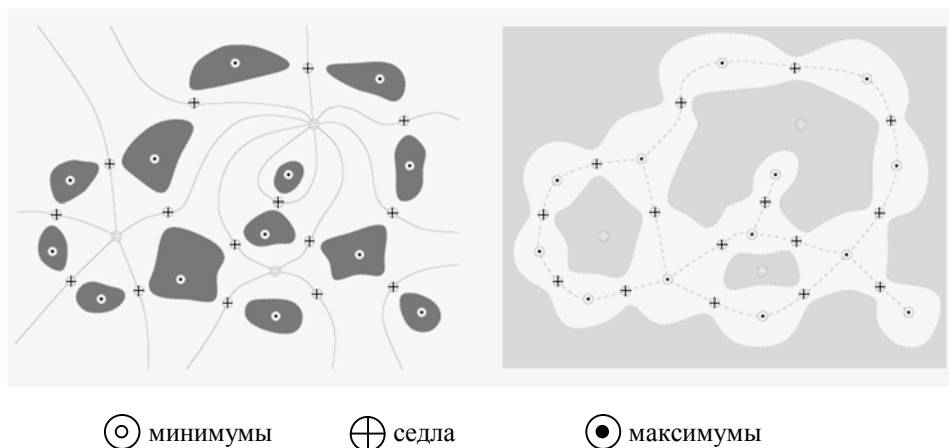


Рис. 7. Устойчивые (слева) и неустойчивые (справа) одномерные многообразия, пунктирными линиями показаны изолинии $f^{-1}(c)$, для константы c

Функция Морса называется функцией Морса-Смейла, если устойчивые и неустойчивые многообразия пересекаются только трансверсально. В двух измерениях это означает, что устойчивые и неустойчивые одномерные многообразия пересекаются под углами, близкими к прямым. Их точка пересечения обязательно является седлом, их пересечение в регулярной точке противоречило бы свойству (1) для интегральных линий.

Связные компоненты $U(p) \cap s(q)$ для всех критических точек $p, q \in S^2$ называются клетками Морса-Смейла. Речь идет о клетках измерения 0, 1 и 2 в качестве вершин, дуг и регионов, соответственно.

Набор клеток Морса-Смейла образует комплекс Морса-Смейла. Одномерный остов комплекса Морса-Смейла состоит из критических точек и линий сепаратрис. Этот остов называется критической сетью (рис. 8).

Отметим, что каждая ячейка комплекса Морса-Смейла имеет простую геометрию – практически монотонная функция, хорошо аппроксимируемая полиномиальным уравнением.

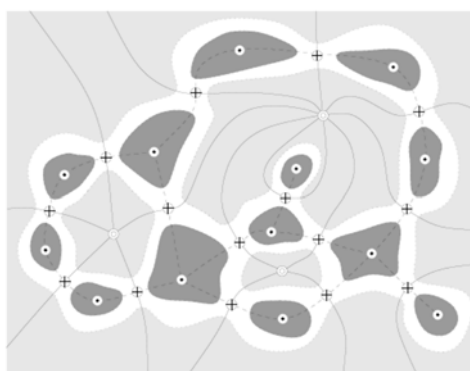


Рис. 8. Комплекс Морса-Смейла для функции, показанной на рис. 7

Таким образом, в статье представлены топологические инструменты описания картографического представления рельефа.

Математические методы описания рельефа с помощью функций Морса, графов Кронрода-Риба и комплексов Морса-Смейла обеспечивают возможность: топологического кодирования форм рельефа; картографической генерализации; распознавания геоморфологических объектов; их формальной классификации; оценки степени сходства двух карт рельефа; оценки степени достаточности набора точечных измерений для восстановления рельефа с заданной подробностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Симонов Ю. Г., Большов С. И. Методы геоморфологических исследований: Методология. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 191 с.
2. Грейсух В. Л. Образное представление геоморфологической информации. // Рельеф Земли и математика. – М.: Мысль, 1967. – С. 18–43.
3. Симонов Ю. Г. Объяснительная морфометрия рельефа. – М.: ГЕОС, 1999. – 263 с.
4. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 3 – М.: Физматлит, 2001. – 662 с.
5. Милнор Дж. Теория Морса. – М.: Издательство ЛКИ, 2011. – 184 с.
6. Кронрод А. С. О функциях двух переменных // Успехи математических наук, 5:1(35) (1950), 24–134
7. Reeb G. Sur les points singuliers d'une forme de pfaff compl'etement int'egrable ou d'une fonction num'erique // Comptes Rendus de L'Acad'emie ses S'eances, Paris, 1946, No 222. P. 847–849.
8. Arnol V. I. Smooth functions statistics // Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, ICTR. – 2006. IC/2006/012.9 pp.
9. Sharko V. V. About Kronrod-Reeb Graph of a Function on a Manifold // Methods of Functional Analysis and Topology. – 2006. – Vol. 12. – No. 4. – P. 389–396.
10. Nicolaescu L. I. Counting Morse functions on the 2-sphere // Compositio Math. – 2008. – No 144. – P. 1081–1106.

MATHEMATICAL TOOLS DESCRIBING THE CARTOGRAPHIC PORTRAYAL OF THE EARTH'S RELIEF

Y. N. Zhukov («GNINGI» OJSC)

In cartography, the Earth's relief is portrayed as a smooth surface. Here the principal mathematical methods of topological description of the smooth two-dimensional functions are presented. These mathematical tools enable many applications of cartography to be automated.

УДК 534.6.082/084

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭХОСИГНАЛОВ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА

М. А. БОРОДИН

(КФ ОАО «Концерн «Океанприбор»)

Предложена математическая модель эхосигналов многолучевого эхолота. Приведены результаты анализа и сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными.

В настоящее время многолучевые эхолоты (МЛЭ) активно используются для площадной съемки рельефа морского дна. При создании современного МЛЭ важную роль играет реализуемый алгоритм оценки глубины. Верификация такого алгоритма, прежде всего, требует наличия экспериментальных данных, получение которых на начальной стадии разработки невозможно. Указанную проблему решают, используя математическую модель эхосигналов, поступающих на приёмную антенну МЛЭ.

Предлагаемая модель предназначена для генерации эхосигналов донной реверберации, поступающих на приёмную антенну МЛЭ – линейную эквидистантную антенную решетку (ЛЭАР).

Моделирование эхосигналов, поступающих на элементы приёмной антенны МЛЭ, будем производить методом локальных рассеивателей [1], согласно которому отражающая граница (морское дно) представляется как совокупность точечных локальных рассеивателей.

Геометрия решаемой задачи представлена на рис. 1. В точке O расположен фазовый центр ЛЭАР, а в точке A – n локальный рассеиватель. Для описания процесса распространения акустических волн используем лучевое приближение. Вертикальные координаты элементов ЛЭАР принимаем равными $z_m = 0$ для $m = \overline{1, M}$.

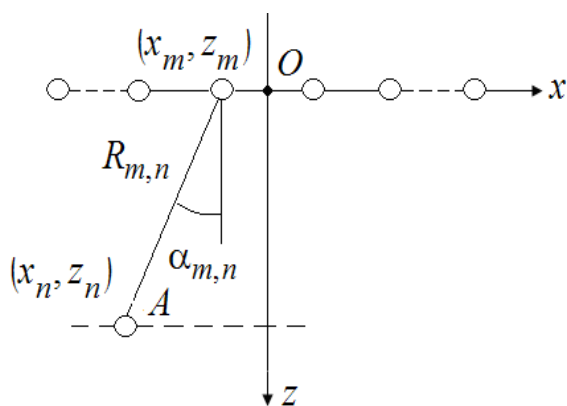


Рис. 1. К формированию модели эхосигналов

Горизонтальные координаты элементов ЛЭАР определяются по формуле [2]:

$$x_m = \frac{d}{2} + d \cdot \left(m - \frac{M}{2}\right), \quad m = \overline{1, M}. \quad (1)$$

где $d = \lambda/2$ – расстояние между соседними элементами ЛЭАР,
 λ – длина акустической волны, излученной передатчиком МЛЭ,
 M – число элементов в ЛЭАР.

Координаты точечных рассеивателей $\{x_n, z_n\}$, $n = \overline{1, N}$ определяют согласно выбранному профилю рельефа морского дна, порождающего эхосигналы, подлежащие генерации. Например, для случая плоского морского дна координаты рассеивателей по оси Z одинаковые – $z_n = \text{const}$ и равны глубине дна. Выбор числа точечных рассеивателей N определяется сектором обзора МЛЭ, а также горизонтальным расстоянием между соседними рассеивателями. При моделировании удобно использовать одинаковое горизонтальное расстояние Δx между соседними рассеивателями в пределах выбранного профиля. Величина Δx должна быть не менее чем $(c_0 \tau_u / 2)$, где c_0 – скорость звука в воде; τ_u – длительность зондирующего импульса.

Угол прихода акустической волны $\alpha_{m,n}$ от n рассеивателя к m элементу ЛЭАР, и расстояние между ними $R_{m,n}$ вычисляются исходя из геометрии решаемой задачи (см. рис. 1) по формулам:

$$\alpha_{m,n} = \text{arctg} \left[\frac{x_n - x_m}{z_n} \right], \quad n = \overline{1, N} \quad m = \overline{1, M}, \quad (2)$$

$$R_{m,n} = \sqrt{(x_n - x_m)^2 + (z_n)^2}. \quad (3)$$

Амплитуда эхосигналов, поступивших на m элемент ЛЭАР в момент времени t_p , определяется по формуле:

$$S_m(t_p) = \sum_{n=1}^N \frac{A_n K_0 D(\alpha_{m,n}) B_0(\alpha_{m,n}) B_1(R_{m,n})}{(R_{m,n})^2} u \left[t_p - \frac{2R_{m,n}}{c_0} \right], \quad (4)$$

где A_n – независимая случайная величина, учитывающая флуктуации амплитуды отраженных от дна эхосигналов, распределенная по закону Рэлея;

K_0 – масштабирующий множитель;

$D(\alpha_{m,n})$ – множитель, учитывающий характеристику направленности отдельного элемента ЛЭАР;

$B_0(\alpha_{m,n})$ – множитель, учитывающий коэффициент обратного рассеяния морского дна;

$B_1(R_{m,n})$ – множитель, учитывающий затухание акустических волн при распространении;

t_p – время, $p = \overline{1, P}$; P – число отсчетов по времени, приходящихся на один цикл зондирования;

u – прямоугольный зондирующий импульс длительностью τ_u с несущей угловой частотой ω_0 , излучаемый передатчиком МЛЭ;

$R1_{m,n}$ – расстояние, которое проходит излучаемый акустический импульс между моментами излучения и приема;

$c_0 = 1500$ м/с – скорость звука в воде на горизонте приема.

Значения $u(t_p)$ и $R1_{m,n}$ определяются по формулам [3]:

$$u(t_p) = \begin{cases} \sin \omega_0 t_p, & 0 \leq t_p \leq \tau_u \\ 0, & t_p > \tau_u \text{ и } t_p < 0 \end{cases}, \quad (5)$$

$$R1_{m,n} = R_{m,n} + \sqrt{z_n^2 + x_n^2}. \quad (6)$$

Расчет множителя $D(\alpha_{m,n})$ выполняется по формуле [4]:

$$D(\alpha_{m,n}) = \left| \frac{\sin(\pi a_1 \sin(\alpha_{m,n}))}{\pi a_1 \sin(\alpha_{m,n})} \right| \cdot \left| \frac{\sin(\pi a_2 \sin(\alpha_{m,n}))}{\pi a_2 \sin(\alpha_{m,n})} \right|, \quad (7)$$

где $a_1 = 0,2$ и $a_2 = 0,2$ – константы, определяемые размерами передающего и приемного элементов антенной решетки МЛЭ.

Расчет множителя $B_1(\alpha_{m,n})$ выполняется по формуле [3]:

$$B_{10}(R_{m,n}) = 20 \lg R_{m,n} + \left[0.036 f_0^{3/2} \right] \cdot \frac{R_{m,n}}{1000}, \quad B_1(\alpha_{m,n}) = 10^{-[B_{10}(R_{m,n})/20]}, \quad (8)$$

где f_0 – несущая частота зондирующего импульса МЛЭ в кГц.

В качестве модели коэффициента обратного рассеяния $B_0(\alpha_{m,n})$ используется известная модель Джексона, подробно представленная в работе [5].

Предложенная модель (4) является разновидностью обобщенной модели эхосигналов, представленной в работе [1], согласно которой амплитуда эхосигналов донной реверберации есть случайный процесс, представляющий собой линейную суперпозицию эхосигналов, порождаемых большим числом точечных рассеивателей,

равномерно распределенных в однородной среде. В формуле (4) не учитываются изменения амплитуд эхосигналов, обусловленные распространением от ЛЭАР до n рассеивателя, а также флуктуации фаз эхосигналов. Также для описания величин D, B_0, B_1 в (4) могут применяться и другие модели.

Таким образом, при использовании модели (4) выполняется математическое моделирование эхосигналов донной реверберации, поступающих на каждый элемент приемной ЛЭАР МЛЭ. Полученные в результате математического моделирования отсчеты эхосигналов применяются для верификации синтезированных алгоритмов оценки глубины.

После выполнения моделирования необходимо выполнить процедуру верификации – проверить сгенерированные отсчеты эхосигналов на соответствие заложенному в модель профилю рельефа морского дна. Отметим, что в литературе практически не освещены вопросы верификации результатов моделирования эхосигналов МЛЭ, получаемых с помощью математических моделей. Рассмотрим предлагаемую процедуру верификации более подробно.

Каждой отдельной характеристике направленности (ХН) соответствует свой угол наклона θ_k относительно нормали к приемной ЛЭАР МЛЭ, тогда амплитуда эхосигнала, пришедшего в момент времени t_p по приемной ХН с углом наклона θ_k определяется по формуле [2]:

$$S1_k(p) = \left[\sum_{m=1}^M S_m(p) \cdot \exp \left[-i \cdot \frac{2\pi \cdot (m-1) \cdot d \cdot \sin(\theta_k)}{\lambda} \right] \right], \quad k = \overline{1, K}, \quad (9)$$

где p – номер временного отсчета, соответствующего времени t_p ,

d – расстояние между соседними элементами приемной ЛЭАР МЛЭ,

λ – длина акустической волны, излученной передатчиком МЛЭ,

M – число элементов в ЛЭАР,

i – мнимая единица,

K – число приемных ХН МЛЭ.

В результате расчета по формуле (9) формируется матрица $S1$ размером $K \times P$ элементов, содержащая амплитуды эхосигналов для каждой k -ой приемной ХН сектора обзора МЛЭ в момент времени t_p . Поскольку профиль рельефа морского дна, используемый при расчете по формуле (4), задается в координатах $\{x, z\}$ – «горизонтальная дальность-глубина», требуется преобразовать матрицу $S1$ в те же координаты для выполнения операции наложения профиля рельефа дна.

Для выполнения преобразования $S1(\theta, t) \rightarrow S2(x, z)$ используются очевидные формулы пересчета из наклонной дальности в глубину и горизонтальную дальность:

$$z_{k,p} = \frac{c_0 t_p \cos \theta_k}{2}, \quad x_{k,p} = \frac{c_0 t_p \sin \theta_k}{2}, \quad k = \overline{1, K}, \quad p = \overline{1, P}, \quad (10)$$

где z – глубина,

x – горизонтальная дальность.

Выполнив указанное преобразование, получаем матрицу $S2(x_{k,p}, z_{k,p})$, каждый элемент которой представляет собой амплитуду эхосигналов, пришедших на приемную ЛЭАР МЛЭ из точки с координатами $(x_{k,p}, z_{k,p})$.

Далее выполняется наложение профиля рельефа морского дна, используемого для генерации матрицы S , на графическое изображение матрицы $S2$ для выполнения процедуры верификации. В результате указанной процедуры необходимо установить, как соотносятся данные моделирования (матрица $S2$) и заложенный в модель профиль рельефа морского дна, а также определить наличие эффектов, связанных с особенностями формирования эхосигналов донной реверберации, характерных для работы МЛЭ.

По разработанной процедуре проверки результатов моделирования эхосигналов МЛЭ были проведены расчеты для случая плоского дна, что связано с простотой выполнения анализа. Результаты расчета – матрицы S_1 и S_2 , полученные с помощью формул (1) – (10), представлены на рис. 2, 3. Сплошная линия на рис. 3 соответствует профилю рельефа дна, который использован при моделировании.

Расчеты проводились для параметров, представленных в табл. 1. Перейдем к анализу полученных результатов. На рис. 3 отмечаем, что амплитуды эхосигналов, принятых МЛЭ, находятся в широком диапазоне глубин, в который также попадает используемый при моделировании профиль рельефа морского дна. Кроме того, указанный диапазон глубин, содержащий эхосигналы, расширяется от центра к краям.

Причины этого эффекта следующие. С увеличением угла наклона θ_k приемной ХН относительно нормали к ЛЭАР МЛЭ происходит расширение ХН, которое можно описать формулой [4]:

$$\Delta\theta_k = \frac{50.6^\circ \lambda}{(M-1)d \cos \theta_k}, \quad (11)$$

где $\Delta\theta_k$ – ширина k -ой приемной ХН по уровню 0,707.

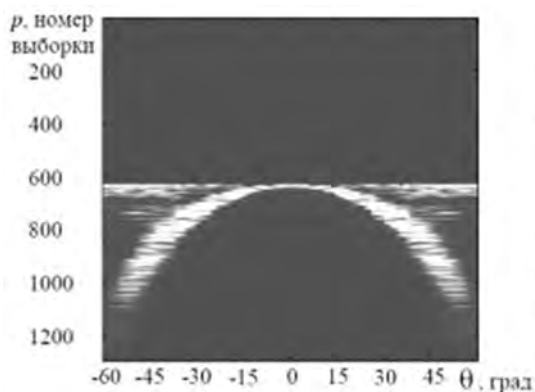


Рис. 2. Матрица S_1

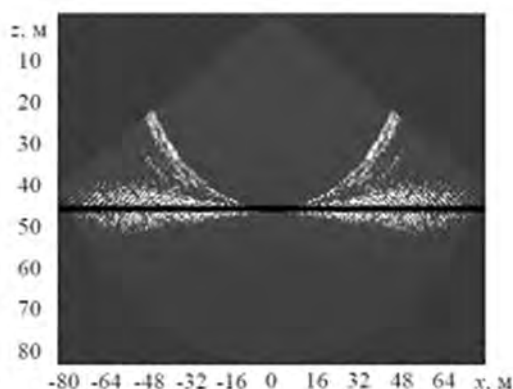


Рис. 3. Матрица S_2

Учитывая указанный факт, размер участка поверхности морского дна, порождающего эхосигналы донной реверберации, увеличивается от центра сектора обзора МЛЭ к краям. В результате длительность эхосигналов донной реверберации увеличивается.

Таблица 1

Параметры, используемые при моделировании

Параметр	Значение
Сектор обзора МЛЭ	$\pm 60^\circ$
K , число ХН в секторе обзора	128
f_0 , рабочая частота	30 кГц
Тип и длительность τ_u излучаемого импульса	прямоугольный, 0.8 мс
M , число элементов в приемной ЛЭАР МЛЭ	30
Глубина дна	47 м
Отражающая поверхность	Граница раздела «вода-песок»
Шкала дальности	80 м

Выполним оценку длительности эхосигналов донной реверберации. На рис. 4 представлена геометрия решаемой задачи. Используемые обозначения: θ_k – угол наклона k -ой приемной ХН, ширина которой по уровню 0,707 составляет $\Delta\theta_k$, z_0 – глубина дна, ΔR_k – величина, пропорциональная приращению длительности эхосигнала во времени, обусловленная конечными размерами приемной ХН.

Расчет ΔR_k для углов наклона $\theta_k > 0^\circ$ производится по формуле [3]:

$$\Delta R_k = z_0 \cdot \left[\frac{1}{\cos(\theta_k + 0,5\Delta\theta_k)} - \frac{1}{\cos(\theta_k - 0,5\Delta\theta_k)} \right]. \quad (12)$$

Длительность эхосигнала донной реверберации для k -ой приемной ХН определяется по формуле [3]:

$$\tau'_{u,k} = \tau_u + \frac{2\Delta R_k}{c_0}. \quad (13)$$

Вычислив длительность эхосигнала донной реверберации, можно оценить ширину соответствующего ему диапазона глубин согласно (10):

$$\Delta z_k = \frac{c_0 \tau'_{u,k}}{2} \cos\theta_k. \quad (14)$$

На рис. 5 показана ширина диапазона глубин, в которую попадает эхосигнал донной реверберации в зависимости от угла наклона приемной ХН, оцененная по формуле (14). Относительные отклонения значений ширины диапазона глубин Δz ,

рассчитанные по формуле (14), от значений, оцененных по уровню 0,2 от максимума амплитуды полезного эхосигнала на рис. 3, не превышают 20%. При расчете отклонений в качестве «эталона» использованы значения ширины, полученные из рис. 3. Отклонения обусловлены тем, что при расчетах по (14) использовалась ширина приемной ХН по уровню 0,707, тогда как при выполнении математического моделирования учитывался весь лепесток ХН.

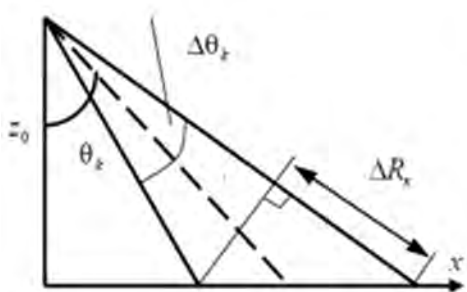


Рис. 4. К расчету ΔR_k

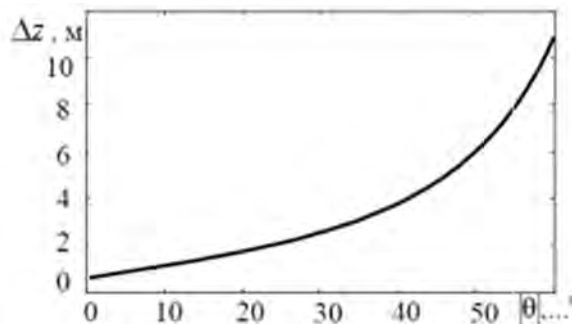


Рис. 5. Зависимость $\Delta z = f(|\theta|)$

Из формул (12)–(14) следует, что при $\Delta\theta_k \rightarrow 0$ получаем $\Delta z_k \rightarrow 0$, т. е. диапазон глубин, содержащий полезные эхосигналы, сходится к линии на рис. 3 – профилю рельефа морского дна.

В верхней части рис. 3 можно наблюдать «дугу», появление которой обусловлено влиянием боковых лепестков приемных ХН. Более наглядно указанный эффект демонстрирует рис. 6 – амплитуда мешающих эхо-сигналов, обусловленных боковыми лепестками приемных ХН, соизмерима с амплитудой полезных эхосигналов, что необходимо учитывать при разработке алгоритмов оценки глубины. Традиционно для подавления боковых лепестков при формировании ХН используется взвешивающая функция (например, Хэмминга) [2], однако это позволяет эффективно подавлять «дугу» лишь в некотором секторе углов относительно нормали к ЛЭАР МЛЭ (см. рис. 3).

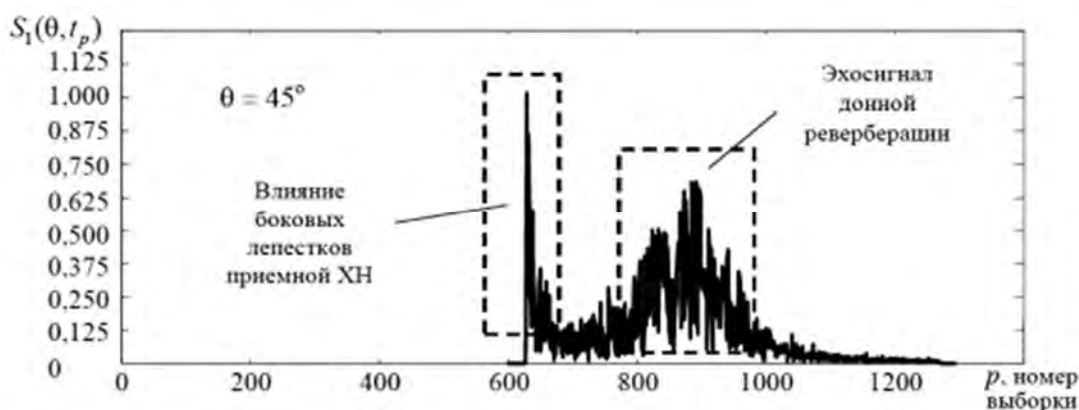


Рис. 6. Амплитуда эхосигналов для ХН с углом наклона 45°

Таким образом, результаты математического моделирования амплитуд эхосигналов донной реверберации находятся в согласии с заложенным в модель профилем рельефа морского дна, также наблюдаются увеличение длительности эхосигналов с ростом угла наклона приемной ХН и эффект «дуги».

Проведено сравнение результатов математического моделирования и эксперимента. Экспериментальные данные получены с помощью макета МЛЭ, созданного в КФ ОАО «Концерн «Океанприбор». Основные технические параметры макета совпадают с данными, представленными в табл. 1. Макет МЛЭ располагался на судне-носителе, измерения проводились при нулевой скорости хода на песчаном дне, учет вертикального распределения скорости звука не производился.

На рис. 7 представлены экспериментальные данные – амплитуда эхосигналов в координатах «горизонтальная дальность-глубина», полученные за один цикл зондирования, черной линией показана оценка профиля рельефа морского дна, полученная с помощью реализованного алгоритма оценки глубины. Оцененный профиль рельефа морского дна использовался для расчетов по формулам (1) – (10), результат которых представлен на рис. 8. Отметим, что сравнивать результаты математического моделирования и эксперимента всегда сложно из-за ряда причин. На рис. 7, помимо эхо-сигналов донной реверберации, имеют место эхосигналы объемной реверберации, а также эхосигналы, обусловленные проникновением акустических колебаний в грунт, в то время как на рис. 8 представлены только эхосигналы донной реверберации, полученные с помощью разработанной математической модели (4). Тем не менее, на обоих рисунках наблюдаются эффект «дуги», а также увеличение ширины диапазона глубин, в котором содержатся эхосигналы донной реверберации, что указывает на их согласованность. Относительные отклонения между значениями ширины диапазона глубин, оцененными по уровню 0,2 от максимума амплитуды полезного эхосигнала на рис. 7, 8, не превышают 25%, при расчете отклонений в качестве «эталона» использованы значения ширины, полученные из рис. 7. Отклонения в данном случае обусловлены влиянием эхосигналов объемной реверберации на результат оценки ширины диапазона глубин.

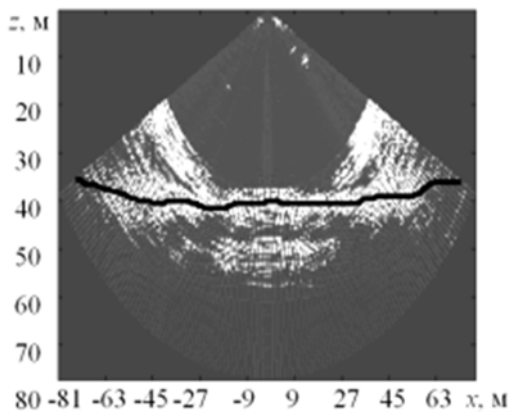


Рис. 7. Результат эксперимента (объяснения в тексте)

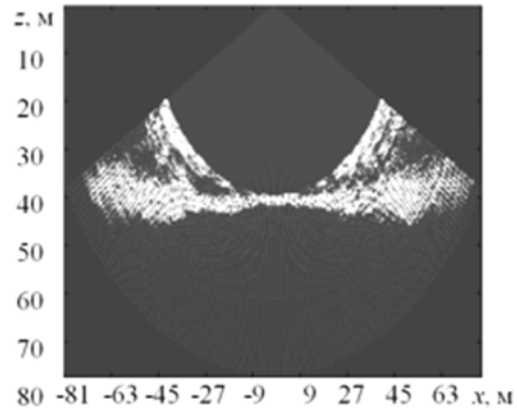


Рис. 8. Результат моделирования (объяснения в тексте)

Для сравнения на рис. 9, 10 пунктирной линией представлена зависимость амплитуды эхосигналов от глубины, полученная экспериментально, сплошная линия соответствует результатам математического моделирования. Отметим, что на рис. 9, 10 положения эхосигналов донной реверберации, полученные экспериментально и с помощью математического моделирования, находятся в согласии. Амплитуда эхосигналов, представленная на рис. 9, 10, нормирована к максимальному значению в каждом сечении.

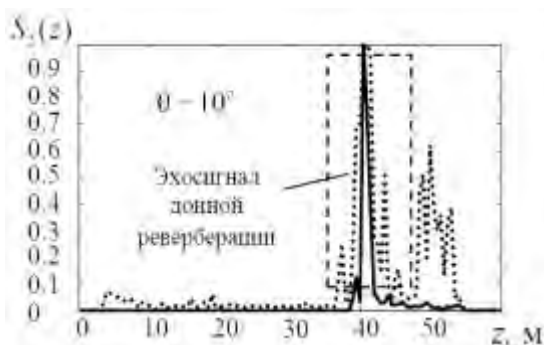


Рис. 9. Амплитуда эхосигналов для приемной ХН с углом наклона 10°

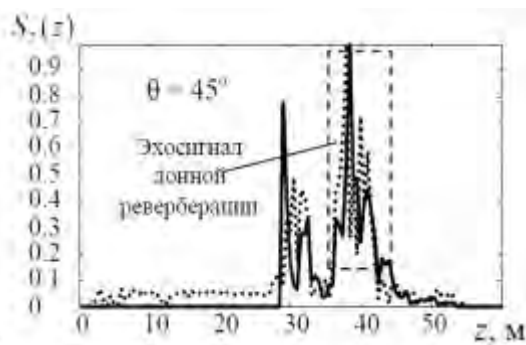


Рис. 10. Амплитуда эхосигналов для приемной ХН с углом наклона 45°

Таким образом, результаты математического моделирования согласуются с экспериментальными данными, полученными с помощью макета МЛЭ, что подтверждает справедливость приближений и допущений, используемых при разработке математической модели (4) эхосигналов МЛЭ. С помощью разработанной модели (4) можно генерировать эхосигналы донной реверберации, приходящие только от освещенных участков морского дна, поскольку в предложенной модели не учитываются явления затенения и переотражения акустических волн, возникающие при облучении дна со сложным рельефом. Тем не менее предложенная модель (4) позволяет формировать данные с учетом процессов распространения и рассеяния акустических волн в водной среде, необходимые для верификации создаваемых алгоритмов оценки глубины морского дна. Разработанная модель также может быть использована для создания «эталонных» данных, с помощью которых можно сравнивать результаты работы различных алгоритмов оценки глубины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alexandrou D., de Moustier C., Haralabus G. Evaluation and verification of bottom acoustic reverberation statistics predicted by the point scattering model / D. Alexandrou, C. de Moustier, G. Haralabus // The journal of the acoustical society of America. – 1992. – Vol. 91. – P. 1403–1413.
2. Самойлов Л. К. Электронное управление характеристиками направленности антенн / Л. К. Самойлов. – Л.: Судостроение, 1987. – 280 с.
3. Sternlicht D. D., de Moustier C. Time-dependent seafloor acoustic backscatter / D. D. Sternlicht, C. de Moustier // The journal of the acoustical society of America. – 2003. – Vol. 114. – P. 2709–2725.
4. Смаришев М. Д. Направленность гидроакустических антенн / М. Д. Смаришев. – Л.: Судостроение, 1973. – 278 с.
5. Jackson D. R., Winebrenner D. P., Ishimaru A. Application of the composite roughness model to high-frequency bottom backscatter / D. R. Jackson, D. P. Winebrenner, A. Ishimaru // The journal of the acoustical society of America. – 1986. – Vol. 79. – P. 1410–1422.

MATHEMATICAL MODEL OF MULTIBEAM ECHOSOUNDER SIGNALS

M. A. Borodin (Jointstock company «Concern «Oceanpribor», Kirovsky branch)

Mathematical model of multibeam echosounder echo signals is suggested. The results of analysis and comparison of the experimental data with simulated data are given.

УДК 550.312; 528.27

**МОРСКИЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И ГРАВИМЕТРЫ
ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА РФ**

**В. В. ГЛАЗКО, Е. Б. ШУСТОВ,
Н. Н. ФИЛАБОК (ОАО ГНИНГИ)**

В статье в хронологическом порядке рассмотрены основные этапы разработки ведущими в области гравиметрического приборостроения научными и промышленными организациями отечественных морских гравиметрических комплексов для ВМФ и других пользователей. Приведены основные технические характеристики и условия эксплуатации созданных комплексов. Отмечено, что разработанные морские гравиметрические комплексы четвертого поколения по тактико-техническим характеристикам соответствуют мировым стандартам и конкурентноспособны на мировом рынке.

Возрастающие требования к изучению характеристик гравитационного поля в Мировом океане при решении задач научного, военного и экономического характера обусловили необходимость разработки и дальнейшего совершенствования технических средств морской гравиметрической съемки и методов обработки полученной информации.

Гравитационное поле Земли используется для решения ряда задач геодезии, геологии, ракетно-космической техники, инерциальной навигации, оборонной техники.

Особенностью измерений ускорения силы тяжести на акватории Мирового океана является то, что они проводятся в условиях инерционных ускорений и наклонов основания при качке судна. В гравиметрах и гравиметрических комплексах применяется компенсационный метод измерений. С помощью гравиметрического датчика фиксируется приращение силы тяжести, которое затем компенсируется. Величина компенсирующей силы тяжести является мерой изменения ускорения силы тяжести.

Измерение ускорения силы тяжести в море осложнено тем, что гравиметры, кроме ускорения силы тяжести, регистрируют инерционное ускорение, вызванное движением судна. Инерционное ускорение в сотни и тысячи раз превосходит величину ускорения силы тяжести. Поэтому для устранения влияния качки

гравиметр устанавливается на гиросtabilизированной платформе, а для устранения воздействия вертикальных перемещений судна гравиметрические датчики демпфируются [1]. Таким образом, для измерения ускорения силы тяжести на море требуется решение ряда сложнейших научно-технических проблем.

Возможность морских измерений ускорения силы тяжести появилась в России только в 50-х годах прошлого века с разработкой в 1956 году в Институте физики Земли Академии наук СССР (ИФЗ АН СССР) морского демпфированного гравиметра на основе двойной упругой кварцевой системы крутильного типа. В 1959 г. были проведены первые измерения гравиметром, установленным на подвес Кардана. Регистрация измерений велась на фотопленку. Первые образцы гравиметра имели погрешность 5мГал и более и могли работать только в условиях спокойного моря [2].

В связи с необходимостью решения ряда научных и прикладных задач, прежде всего в целях уточнения фигуры Земли и в интересах обороны страны, ИФЗ АН СССР и ЦНИИ «Электроприбор» (ОАО «ЦНИИ «Концерн «Электроприбор»») был создан первый отечественный серийный морской гравиметр с фоторегистратией (МГФ). Морской гравиметр первого поколения МГФ, установленный на гиросtabilизированной платформе «Чета», включал гравиметрический датчик с фоторегистрирующим устройством и приборы управления [2, 3].

С 1971 г. гравиметрами МГФ начали оснащать океанографические исследовательские суда (оис) и гидрографические суда (гс) Гидрографической Службы (ГС) ВМФ, на которых выполнялась морская гравиметрическая съемка в акваториях Мирового океана. Погрешность измерений составляла 3–5 мГал, а при благоприятных погодных условиях – 1,5–2 мГал [2].

Этот гравиметр был основным отечественным техническим средством выполнения морской гравиметрической съемки в океане в интересах обороны страны. Однако он позволял получать результаты измерений только по окончании рейса (после камеральной обработки).

К концу 1970-х годов возникла потребность измерения ускорения силы тяжести в реальном времени.

В результате длительной работы ОАО «ЦНИИ «Концерн «Электроприбор»» был создан морской гравиметрический комплекс (МГК) «Чета-АГГ», который выгодно отличался от МГФ технологичностью, надежностью, высокой степенью автоматизации и качеством гиросtabilизации. МГК «Чета-АГГ» включал в себя гравиметрический датчик на основе двойной упругой кварцевой системы крутильного типа, установленный на гиросtabilизированную платформу, вычислительную машину, приборы управления и регистрации [3]. Этот комплекс по сравнению с МГФ имел большую точность и не требовал ручной обработки фотопленки, так как данные результатов измерений ускорения силы тяжести на момент измерений выводились на печать (окончательная обработка результатов съемки не выполнялась).

Выпускаемый серийно с 1985 г. морской гравиметрический комплекс второго поколения «Чета-АГГ» был установлен на десяти исследовательских судах ГС ВМФ и в течение многих лет являлся основным средством выполнения работ по программе Мировой гравиметрической съемки.

Опыт эксплуатации морского гравиметрического комплекса «Чета-АГГ» показал, что потенциальные возможности кварцевых гравиметров с двойной упругой системой крутильного типа обеспечивают возможность получения значений

ускорения силы тяжести на момент измерений с погрешностью менее 0,5 мГал [2]. Однако реализация точности при выполнении съемки в открытом океане лимитировалась погрешностью определения координат гравиметрических пунктов и погрешностью вычисления поправки Этвеша.

Широкое развитие в середине 1990-х годов глобальных спутниковых навигационных систем открыло возможность кардинального решения этой проблемы путем интегрирования гравиметрического датчика (измерителя УСТ) с приемниками спутниковых навигационных систем (СНС).

В последующие годы ведущими в области гравиметрического приборостроения отечественными научными и промышленными организациями были созданы и внедрены на объекты Министерства обороны РФ и других пользователей следующие поколения морских гравиметров и морских гравиметрических комплексов (МГК):

- МГК «Скалочник» (ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 1996 г., третье поколение);
- инерциально-гравиметрический комплекс «МАГ-1» (ФГУП «ЦНИИ «Дельфин», 2001 г., четвертое поколение);
- МГК «Силомер» (ФГУП «ЦНИИ «Дельфин», 2003 г., четвертое поколение);
- гравиметр «Чекан-АМ» (ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2003 г., четвертое поколение);
- МГК «Попугай» (ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2010 г., четвертое поколение).

В настоящее время на снабжении ГС ВМФ РФ находятся морские гравиметрические комплексы (МГК) «Скалочник» и «Силомер». Прошел государственные испытания гравиметрический комплекс «Попугай». В Гидрографической службе Северного флота успешно эксплуатируется гравиметр «Чекан-АМ».

Морской гравиметрический комплекс третьего поколения «Скалочник» разработан по заказу ГУНиО МО РФ ОАО «ЦНИИ «Концерн «Электроприбор» [3]. Гравиметрический датчик комплекса построен на основе двойной упругой кварцевой системы крутильного типа. Комплекс «Скалочник» отличается от МГК «Чета-АГГ» более высокой точностью измерений, меньшими ограничениями на условия измерения и, что особенно важно, возможностью выполнять окончательную обработку информации непосредственно в море. В этом комплексе предусмотрены не только подготовка геофизической информации в необходимой для использования форме, но и решение задачи определения места оис по геофизическим полям. Входящая в состав МГК «Скалочник» персональная ЭВМ (ПЭВМ) принимает навигационную информацию от приемника СНС «Бриз-К» и данные от эхолота ГЭЛ-3. Благодаря этому обеспечивается выполнение комплексных измерений ускорения силы тяжести и глубины моря с привязкой к координатам места судна с точностью 10–15 м. В ПЭВМ осуществляется также выработка данных для управления движением судна по заданной траектории, которые передаются на дисплей, установленный в ходовой рубке. В результате, как показал опыт эксплуатации МГК «Скалочник», достигается близкое совпадение галсов съемки с запланированной системой профилей.

Морской гравиметрический комплекс третьего поколения «Скалочник» успешно прошел государственные испытания, рекомендован к серийному производству и в 2003 г. передан в эксплуатацию на гс «Визир» Гидрографической

службы Северного флота. По точностным характеристикам МГК «Скалочник» соответствует требованиям, предъявляемым ВМФ к морской гравиметрической съемке. Но большие массогабаритные характеристики и устаревшая элементная база ограничивают возможности его тиражирования и не позволяют использовать его для выполнения аэрогравиметрической съемки.

При создании морских гравиметрических комплексов и гравиметров четвертого поколения решен ряд научных и технических проблем:

- существенно уменьшены масса и габариты гравиметров;
- уменьшено энергопотребление;
- разработана невозмущаемая при маневрировании подвижного объекта гириостабилизированная платформа;
- разработаны методы автоматической калибровки гравиметрических чувствительных элементов без демонтажа аппаратуры;
- создан программный комплекс камеральной обработки гравиметрической информации, обеспечивающий вычисление координат гравиметрического датчика по данным СНС, коррекцию параметров гириостабилизированной платформы, решение основного гравиметрического уравнения и построение каталога гравиметрических пунктов района съемок;
- разработаны методы обработки площадной гравиметрической съемки и построения карт гравитационных аномалий.

Инерциально-гравиметрический комплекс МАГ-1, разработанный в 2001 г. ФГУП «ЦНИИ «Дельфин» и предназначенный для измерения ускорения силы тяжести с борта самолета (вертолета), успешно прошел многоплановые тестовые летные испытания [4].

Гравиметрический датчик комплекса разработан на основе осевого акселерометра с магнитоэлектрическим цифровым уравниванием.

С 2003 г. гравиметрический комплекс МАГ-1 (английское название GT-1A) появился на западном рынке. В настоящее время этот гравиметр является одним из лучших в мире, и его активно используют для аэрогравиметрических работ ведущие зарубежные компании.

Морской гравиметрический комплекс четвертого поколения «Силомер» разработан ФГУП «ЦНИИ «Дельфин» по заказу ГУНиО МО РФ и предназначен для непрерывного, в том числе в условиях маневрирования, измерения ускорения силы тяжести с гидрографических судов и самолетов (вертолетов) в труднодоступных районах морей и океанов. Гравиметрический датчик комплекса «Силомер» построен так же, как и в комплексе МАГ-1, на основе осевого акселерометра с магнитоэлектрическим цифровым уравниванием.

В 2003 г. МГК «Силомер» успешно прошел морские и летные государственные испытания, был принят Государственной комиссией на снабжение Военно-Морского Флота России и рекомендован для организации серийного производства [5].

Тактико-технические характеристики комплекса «Силомер» обеспечивают:

- выполнение гравиметрической съемки в автоматическом режиме без участия оператора;
- предварительную обработку данных гравиметрического датчика и спутниковой навигационной системы в реальном времени;
- выработку курса и углов ориентации объекта;
- накопление и хранение гравиметрической и навигационной информации;

- отображение информации о работе и техническом состоянии аппаратуры гравиметра на дисплее;
- камеральную обработку результатов измерений с использованием программно-математического обеспечения и формирование каталога гравиметрических пунктов;
- калибровку гравиметрического датчика без демонтажа.

С 2006 г. комплекс «Силомер» используется для проведения аэрогравиметрической съемки в Арктике. Однако район использования комплекса ограничен 75° широты, что обусловило необходимость разработки для ВМФ гравиметрического комплекса «Попугай».

Параллельно с разработкой МГК «Силомер» ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» по контракту с Министерством промышленности, науки и технологий РФ создан гравиметр четвертого поколения «Чекан-АМ», гравиметрический датчик которого построен на основе двойной упругой кварцевой системы крутильного типа.

Гравиметр «Чекан-АМ» предназначен для непрерывного измерения ускорения силы тяжести с гидрографических и научно-исследовательских судов и самолетов с полетной скоростью не более 400 км/ч [6].

Программно-математическое обеспечение (ПМО) гравиметра позволяет выполнить:

- первичную обработку гравиметрической информации, включая преобразование показаний гравиметрического датчика в пикселях в показания гравиметра в мГал, фильтрацию исходных данных, графическое отображение на мониторе текущего профиля, запись на жесткий диск результатов гравиметрической съемки с дискретностью 1 с;

- ввод поправки за неучтенную составляющую скорости смещения нуля-пункта гравиметра;

- прием навигационной информации от спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС.

Кроме того, гравиметр обеспечивает:

- прием и регистрацию данных с эхолота;
- отображение на экране дисплея и регистрацию на жестком диске условий измерений ускорения силы тяжести и результатов их первичной обработки;
- диагностику работы всех систем и отображение на экране ее результатов;
- диалоговый режим оператора с персональным компьютером;
- выполнение своих функций при отсутствии автоматического ввода данных о курсе и скорости;
- камеральную обработку результатов измерений и составление каталога гравиметрических пунктов.

С 2003 г. гравиметр «Чекан-АМ» широко используется отечественными и зарубежными компаниями для выполнения гравиметрической съемки в ходе морских сейсмических работ в интересах поиска углеводородных залежей.

Гравиметр «Чекан-АМ» успешно эксплуатируется в Гидрографической службе Северного флота, и его использование является перспективным для изучения параметров гравитационного поля Земли в мировом океане.

Морской гравиметрический комплекс «Попугай», разработанный ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» по заказу ГУНиО МО, предназначен для выполнения высокоточной морской гравиметрической и аэрогравиметрической

съемки в диапазоне широт от 0 до 90°, в то время как для комплекса «Силомер» он ограничен 75°.

Комплекс «Попугай» состоит из двух изделий самостоятельной поставки:

- бортового гравиметрического комплекса «Попугай-ГК» для измерения в режиме реального времени ускорения силы тяжести на условном уровне с гидрографических судов и с самолетов с полетной скоростью не более 400 км/ч;
- контура камеральной обработки результатов гравиметрической съемки «Попугай-КО» с системой защиты информации.

Гравиметрический комплекс «Попугай-ГК» обеспечивает *в режиме реального времени*:

- прием и запись исходных данных с гравиметрического датчика, гиросплатформы, глубоководного эхолота ГЭЛ-3 и приемника СНС;
- отображение информации в графическом и цифровом виде;
- диагностику работы всех систем и отображение на экране ее результатов;
- выработку данных для управления движением судна на галсах;

в режиме оценки качества измерений:

- контроль качества исходных данных;
- вычисление поправок: Этвеша, за неучтенный дрейф нуля-пункта гравиметра и за вертикальные ускорения;
- предварительную оценку точности съемки;
- запись откорректированных значений приращений силы тяжести на условном уровне.

Контур «Попугай-КО» обеспечивает решение следующих задач при камеральной обработке морских и авиационных измерений:

- расчет и ввод поправки Этвеша;
- расчет и ввод поправки за неучтенный дрейф нуля-пункта гравиметра;
- оценку точности результатов съемки;
- составление каталога гравиметрических пунктов и вычисление оценки качества результатов съемки, выполняемое по данным от двух наземных приемников СНС.

Комплекс «Попугай» прошел государственные испытания, соответствует уровню мировых стандартов и рекомендован для серийного производства.

Технические характеристики морских гравиметрических комплексов и гравиметров ГС ВМФ и сторонних организаций («МАГ-1», «Чекан-АМ») приведены в таблице.

Представленные в таблице морские гравиметрические комплексы и гравиметры четвертого поколения созданы с учетом технических решений предыдущих разработок и построены на современной элементной базе электронных и вычислительных средств при интеграции со спутниковой навигационной системой, обеспечивающей принципиально новое качество самих гравиметров и возможность измерения и учета вертикальных движений носителя при постобработке.

Сравнительный анализ современной гравиметрической аппаратуры показал, что тактико-технические характеристики отечественных гравиметрических комплексов соответствуют мировым стандартам.

Таким образом, Военно-Морской Флот России получил возможность оснащать корабли и суда конкурентоспособными на мировом рынке отечественными морскими гравиметрическими комплексами четвертого поколения «Попугай» и «Чекан-АМ».

Технические характеристики морских гравиметрических комплексов и гравиметров

Характеристики	Модель, организация-разработчик		
	«Чета-АГГ» ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»	«Скалочник» ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»	«МАГ-1» ФГУП «ЦНИИ «Дельфин»
Год завершения разработки	1985	1996	2001
Тип датчика	На основе двойной кварцевой упругой системы крутильного типа	На основе двойной кварцевой упругой системы крутильного типа	На основе осевого акселерометра с магнитометрическим цифровым уравниванием
Диапазон измерений, мГал	Не менее 7000	—	Не менее 10000
Чувствительность, мГал	—	—	0,10
Смещение нуля-пункта, мГал / сут	6 (в месяц)	—	—
Погрешность (СКП) измерения УСТ, мГал: - с морских носителей - с воздушных носителей	$\pm 3,0$...	$\pm 1,0$...	$\pm 0,3 - \pm 0,5$ $\pm 0,2 - \pm 0,3$ (при испытании)
Навигационное обеспечение	СНС Непрерывно	ГЛОНАСС и GPS Непрерывно	GPS Непрерывно
Цифровой выход	Серийный порт	RS-232	Серийный порт
Условия эксплуатации: - предел вертикальных возмущающих ускорений, гал - скорость хода, уз - максимальное отклонение от курса - килевая качка (морское исполнение) - бортовая качка (морское исполнение) - наклон самолета по тангажу и крену	До 125 10 – 20 10° — — —	До 150 — 5° — — —	До 150 — — — — —

Продолжение таблицы

Характеристики	Модель, организация-разработчик		
	«Чекан-АМ» ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»	«Силомер» ФГУП «ЦНИИ «Дельфин»	«Попугай» ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Год завершения разработки	2003	2003	2010
Тип датчика	На основе двойной кварцевой упругой системы крутильного типа	На основе осевого акселерометра с магнитометрическим цифровым уравниванием	На основе двойной кварцевой упругой системы крутильного типа
Диапазон измерений, мГал	Не менее 10000	Не менее 10000	Не менее 10000
Чувствительность, мГал	0,01	–	–
Смещение нуля-пункта, мГал / сут	Не более 3,00	1,32 (при испытании)	Не более 3,00
Погрешность (СКП) измерения УСТ, мГал: - с морских носителей - с воздушных носителей	$\pm 0,5 - \pm 1,0$...	$\pm 0,3 - \pm 0,5$ Не более $\pm 1,0$	Не более $\pm 0,5$ Не более $\pm 0,5$
Навигационное обеспечение	ГЛОНАСС и GPS Непрерывно	ГЛОНАСС и GPS Непрерывно	ГЛОНАСС и GPS Непрерывно
Цифровой выход	RS-232	RS-232	RS-232
Условия эксплуатации: - предел вертикальных возмущающих ускорений, Гал - скорость хода, уз - максимальное отклонение от курса - килевая качка (морское исполнение) - бортовая качка (морское исполнение) - наклон самолета по тангажу и крену	До 100 – До 3° (морской вариант) До 10° До 15° –	До 200 (морской вариант) До 400 (авиационный) 15 (морской вариант) До 350 км /ч (авиационный) До 10° (морской вариант) 50 м по горизонтали и 20 м по вертикали (авиационный) До 10° До 15° До 10°	До 200 (морской вариант) До 400 (авиационный) 15 (морской вариант) До 400 км /ч (авиационный) До 5° (морской вариант) До 50 м по горизонтали и 20 м по вертикали (авиационный) До 10° До 15° До 5°

ЛИТЕРАТУРА

1. Силин Ю. П. Гравиметрические приборы и комплексы Гидрографической службы Военно-Морского Флота // Записки по гидрографии. – 2003. – №258. – С. 46.
2. Официальный сайт ИФЗ РАН. – 2005–2010. http://old.ifz.ru/1801_ru.html.
3. Иванов Б. Е., Мятелков В. О. Морская геофизика – новое направление исследований // Навигация и гидрография. – 1998. – № 7. – С. 102–104.
4. Бержицкий В. Н., Болотин Ю. В., Голован А. А., Ильин В. Н., Парусников Н. А., Смоллер Ю. Л., Юрист С. Ш. Инерциально-гравиметрический комплекс МАГ-1. Результаты летных испытаний. – М.: МГУ. – 2001. – 48 с.

5. Малогабаритный автоматизированный гравиметрический комплекс «Силомер». Проспект. – СПб: ФГУП «ЦНИИ «Дельфин». – 2004. – 7 с.
6. Морской гравиметрический комплекс «Чекан-АМ». Проспект. – СПб: ЦНИИ «Электроприбор». – 2003. – 1 с.
7. Модернизированный гравиметрический комплекс «Попугай». Проспект. – СПб: ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор». – 2010. – 9 с.

MARINE GRAVIMETRIC COMPLEXES AND GRAVIMETERS OF THE RF NAVY HYDROGRAPHIC OFFICE

V. V. Glazko, E. B. Shustov, N. N. Filabok («GNINGI» OJSC)

The main development stages of the domestic marine gravimetric complexes by the scientific and industrial organizations, leaders in the field of the gravimetric device-building for the Navy and other users, are chronologically considered. The main technical characteristics and the operating conditions of the existing complexes are presented. It is pointed out that the tactical-technical characteristics of the developed fourth-generation marine gravimetric complexes meet the world standards and that these complexes can sustain the competition on the world market.

УДК 528.475

ИЗ ИСТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА ЦЕНТРАЛЬНОГО АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА С ДРЕЙФУЮЩИХ ЛЕДОВЫХ ПЛАТФОРМ

Е. В. МЕДВЁДКИН
(УНиО МО РФ)

В статье представлена история гидрографических исследований центральной части Северного Ледовитого океана с дрейфующего льда в период с 1937 по 2009 гг. Рассмотрены способы, методы и технические средства исследований, применявшиеся при работах на дрейфующем льду в различные годы. Описаны гидрографические работы, выполненные автором на дрейфующей станции СП-36, результаты которых могут послужить обоснованием одного из методов оценки достоверности и точности навигационных морских карт, составленных на ту часть акватории Центрального Арктического бассейна, поверхность которой закрыта льдом.

Практически до середины XX столетия карта всей центральной части Арктического бассейна с точки зрения гидрографической изученности представляла собой огромное, не имеющее рельефа, белое пятно, обозначавшее собой огромные пробелы в знаниях человечества об этой части гидросферы.

История планомерных комплексных гидрографических исследований в приполюсных районах центрального Арктического бассейна ведёт своё начало с 21 мая 1937 года – дня начала работы первой в мире отечественной дрейфующей научно-исследовательской станции «Северный полюс – 1» (далее – СП-1). Коллектив станции, состоявший из четвёрки «героев-папанинцев» (И. Д. Папанина, Е. К. Федорова, Э. Т. Кренкеля, П. П. Ширшова), на протяжении девяти месяцев

своего дрейфа непрерывно собирал уникальный научный материал, который впервые в истории дал возможность сорвать завесу таинственности над центральной частью Северного Ледовитого океана (СЛО) и получить достоверные данные о природе этого неизведанного уголка Земли и процессах, происходящих в нём.

Научная программа СП-1 включала в себя регулярное проведение наблюдений и сбор данных по метеорологии, гидрологии и гидрохимии, измерение глубин океана, взятие проб грунта и гидробиологических проб, проведение магнитных и гравитационных измерений, ежесуточные астрономические определения координат станции, измерение атмосферного электричества.

Выполнению гидрологических измерений всей толщи водных масс (до дна океана) на стандартных гидрологических горизонтах предшествовало измерение её глубины. В составе СП-1 за выполнение маршрутного промера отвечал океанолог и гидробиолог П. П. Ширшов. Приборы, с помощью которых выполнялись гидрографические работы в составе первых дрейфующих станций, были довольно просты, а способы их выполнения – невероятно трудоёмки (рис. 1).

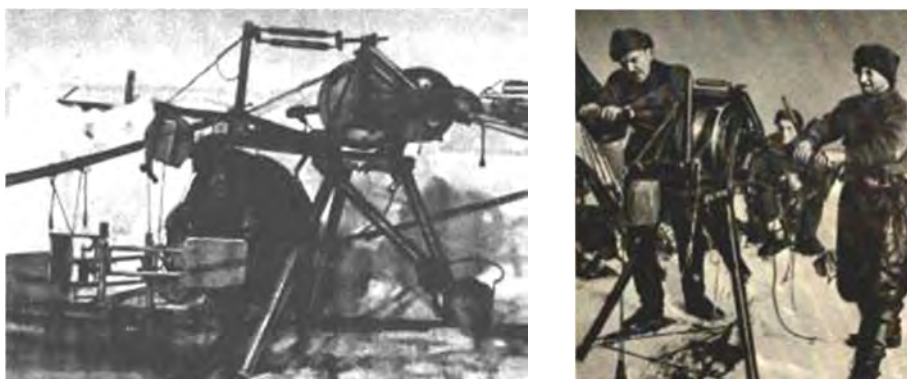


Рис. 1. П. П. Ширшов, Э. Т. Кренкель и И. Д. Папанин у гидрологической лебёдки

Перед началом выполнения работ с помощью ручных буров типа БЛ-ГГИ-47 при толщине льда от 1 до 2 м готовилась необходимого диаметра лунка и очищалась ото льда. Глубины океана измерялись обычным ручным лотом со стальным лотлинем диаметром 2–4 мм и прикреплённым к его концу грузилом цилиндрической формы с закруглённой верхней частью. Вес грузила ручного лота составлял 2,5–4 кг, а при сильных течениях или значительных глубинах употребляли диплот весом 10–20 кг. Для наматывания троса применялась ручная гидрологическая лебёдка. Глубины измеряли от поверхности воды в лунке, делая отсчёт при вертикальном положении грузила лота в момент касания грунта. Географические координаты измеренных глубин определяли астрономическим способом с помощью теодолита с точностью до минуты.

Вот как описывает выполнение этого вида работ в своём дневнике начальник СП-1 И. Д. Папанин. [1]

«...Подготовили лебёдку. Сегодня нас ожидает очередной тяжёлый труд – измерять глубину океана... Это изнурительная работа, но мы уже привыкли к ней... У нас выработался постоянный порядок гидрологических работ. Через тридцать миль мы измеряем глубину океана. Кроме того, в промежутках между промерами и взятием проб воды с разных глубин мы опускаем вертушку для определения

скорости и направления дрейфа. А если учесть, что постоянно нужно очищать лунку от быстро намерзающего льда, то с наступлением морозов возник целый ряд дополнительных работ... Опустили груз, глубина океана под нами 4293 м. ...Начали выбирать лебёдкой трос. Работали все в течение четырёх часов без перерыва. Дул ветер, было холодно, сыро, но временами нам приходилось раздеваться: до того становилось жарко от работы... Проба грунта, взятая со дна океана почти целиком состоит из ила красновато-коричневого цвета...»

В послевоенные годы СССР начал планомерное изучение центральной части СЛО с использованием дрейфующих ледовых платформ. Основываясь на опыте работы первой дрейфующей станции, постоянно внедряя в работу новые приборы и совершенствуя методики исследований, продолжили изучение Центрального Арктического бассейна советские дрейфующие станции СП-2 (1950 г.), СП-3 (1954 г.), вплоть до СП-31 (1988–1991 гг.), а также высокоширотные воздушные экспедиции «Север», обеспечивавшие работу дрейфующих станций и «прыгающих» экспедиций, которые прилеплялись на вертолётах в заданных точках СЛО, бурили лед, вели гидрологические, гидрохимические и другие наблюдения. Одновременно с учёными Росгидромета активным изучением Центральной Арктики с дрейфующих льдов с 1961 г. занимались высокоширотные воздушные гидрографические экспедиции Северного флота, также работавшие по государственной программе «Север». Перед ними стояла конкретная задача – как можно подробнее изучить морфологию рельефа дна СЛО и, наряду с навигационными картами всего бассейна, создать подробный Атлас океана. В отличие от дрейфующих станций, работавших в Центральном Арктическом бассейне непрерывно, в течение целого года, работа высокоширотных воздушных гидрографических экспедиций была сезонной, на протяжении нескольких наиболее благоприятных для работы авиации (без тьмы, сильных ветров и туманов) месяцев в году (апрель – май). Всё остальное время уходило на обработку полученных материалов и подготовку следующей экспедиции.

В настоящее время в результате работ Высокоширотных воздушных гидрографических экспедиций с 60-х до начала 90-х годов XX века схема гидрографической изученности СЛО представляет собой сетку секторов, каждый из которых – это район, покрытый значениями глубин, измеренных с определённой дискретностью всего за один сезон. Над океаническими поднятиями и отдельно возвышающимися подводными горами расстояние между отдельно измеренными глубинами составляло 5–10 км, а в районах ложа океана – 10 км и более. Таким образом, к концу 80-х годов XX века по накопленным материалам были интерполированы и проведены основные изобаты, а уже с их помощью прорисовались все крупные и наиболее характерные формы рельефа дна СЛО. Вся Арктика (Арктические моря и СЛО) была «перекрыта» навигационными морскими картами до масштаба 1:500 000 включительно. По результатам работ составлен первый в Мире подробный Атлас Северного Ледовитого океана, завоевавший мировое признание и удостоенный международных призов.

Изучение рельефа дна высокоширотными воздушными экспедициями с дрейфующих льдов выполнялось по следующей схеме [2,3].

Перед началом экспедиции выбирался определённый размер район, вся площадь которого покрывалась затем сетью галсов. Частота измеренных в районе глубин зависела, прежде всего, от рельефа дна, над поднятиями и подводными горами частота промеров сгущалась.

В районе предстоящих работ выбиралось ровное ледовое поле с необходимой толщиной льда и расчищалась взлётно-посадочная полоса (ВПШ), обычно представляющий молодой ледовый массив с однолетним льдом, образовавшимся на месте бывшего разводья в зимний период (рис. 2).



Рис. 2. Взлётно-посадочная полоса СП-36

Рядом с ВПШ организовывался основной ледовый лагерь экспедиции с необходимыми для работы запасами материально-технических средств, горюче-смазочных материалов, взрывчатки, продуктов. Довольно часто ледовый лагерь высокоширотной воздушной гидрографической экспедиции располагался на одном ледовом поле с дрейфующей станцией Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (АНИИ). Уже из района ледового лагеря экспедиционные партии на вертолётах (МИ-4, МИ-8) или лёгких самолётах (АН-2, ИЛ-14), способных приземляться на ровном, не подготовленном для посадки месте, летели по заранее спланированному в районе работ маршруту.

Большая часть глубин была измерена с помощью однолучевых эхолотов НЭЛ-5, НЭЛ-6, которые благодаря своей мобильности легко транспортировались и устанавливались в вертолётах. Порядок работы при измерении глубин эхолотом был следующий.

1. После посадки вертолёта на лёд в запланированном районе готовилась лунка, если измерения не производили через естественные трещины и разводья ледовых полей. Изготовление лунки под излучатель эхолота должно было происходить максимально быстро. Для этого сначала во льду пешнями вырубали углубление в 30–40 см и диаметром до 0,5–0,7 м, куда закладывали небольшой (200–400 г) заряд взрывчатки, и производили взрыв. Если лёд не удавалось пробить с первого взрыва, и толщина оставшегося до воды льда составляла не менее 0,7–1,0 м, то в этом же месте производили повторный взрыв заряда весом 0,8–1,2 кг.

2. После проходки лунки взрывами из неё черпаками удаляли весь битый лёд и устанавливали в лунке вибратор эхолота, а сам эхолот включали на прогрев и измеряли число оборотов электродвигателя эхолота и напряжение тока.

3. Затем определяли глубину и производили её запись на соответствующем диапазоне самописца.

4. Далее определяли место измеренной глубины по радионавигационной системе «Омега» или СНС «Транзит» с точностью до 0,2–0,5 км или астрономическими способами с точностью 0,3–1,2 км.

Значительно реже глубины измерялись сейсмозондированием по методу отражённых волн. Основным достоинством этого метода было то, что, помимо измерения глубины (диапазон измерения глубин при этом был практически не

ограничен), он позволял определить величину и направление уклона дна океана. Из-за того что сейсмическое оборудование было громоздким, доставка его к месту выполнения работ производилась самолётами, что значительно ограничивало возможность практического применения этого способа измерения глубины. На выполнение такого вида измерений требовалось значительно больше времени, чем при измерениях с помощью эхолотов (до полутора – двух часов).

Часто в целях экономии времени вместо пробивок лунок под заряд сейсмозондирование осуществляли с помощью накладного взрыва. Для этого во льду пешнёй вырубали конусообразное углубление диаметром около 30–40 см конусом вниз и шириной в верхней части 15–20 см. В это углубление, в зависимости от толщины льда и примерной глубины места, закладывали заряд взрывчатки весом от 1 до 5 кг (чем больше глубина и толщина льда, тем больше вес заряд).

В 1991 г. закончила работу последняя советская дрейфующая станция СП-31, с 1992 г. прекратили работу сезонные высокоширотные воздушные гидрографические экспедиции Северного флота, а в 1994 г. прекратила своё существование высокоширотная воздушная экспедиция «Север» ААНИИ Росгидромета.

С 2004 г., после тринадцатилетнего перерыва, продолжили работу в центральной Арктике дрейфующие станции «Северный полюс», расширили программу и перечень используемого современного оборудования иностранного производства комплексные Высокоширотные Арктические экспедиции, Россия стала принимать активное участие в программах международного сотрудничества по изучению Арктики. Наиболее показательным в этом плане был тот объём исследований, который выполнила Россия в рамках проведения III Международного Полярного года в 2007–2009 гг.

В составе дрейфующих станций СП-35 (2007–2008 гг.) и СП-36 (2008–2009 гг.) ААНИИ продолжили работу по изучению рельефа дна СЛО офицеры гидрографической службы ВМФ. Около года в должности ведущего инженера-гидрографа СП-36 выполнял поставленные задачи и автор настоящей статьи. Вид рабочего и жилого домиков ведущего инженера-гидрографа представлен на рис. 3.



Рис. 3. Гидрографический модуль СП-36

Вот уже более 10 лет ведущими мировыми морскими исследовательскими (изыскательскими) организациями и институтами в практику совместного

выполнения гидрографических, океанографических и геологических работ внедряются новейшие образцы одно- и многолучевых профилирующих глубоководных эхолотов-профилографов высокого разрешения. Один такой комплекс прекрасно справляется с основной задачей – непрерывным высокоточным определением измеренной глубины по всему диапазону глубин Мирового океана на протяжении длительного времени работы – и вместе с тем осуществляет высокоточное профилирование придонного слоя осадков (глубиной до 200 м) и всей толщи водных масс от верхних слоёв до линии дна с одновременной визуализацией в реальном режиме времени в различной цветовой палитре на большом жидкокристаллическом дисплее монитора (рис. 4).

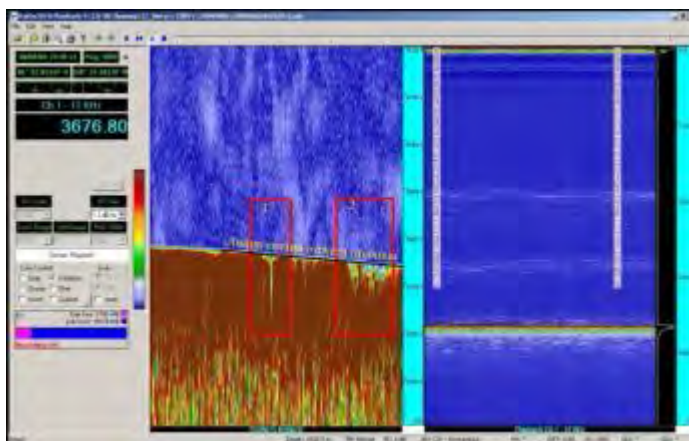


Рис. 4. Отображение эхограммы на экране монитора

При выполнении маршрутного промера в составе СП-36 использовался однолучевой эхолот-профилограф подобного типа – BATHY-2010P фирмы «SyQwest Incorporated» (США). Особенностью данного гидрографического комплекса является использование в составе его блоков регистрации полнофункционального 32-разрядного промышленного компьютера на базе двухъядерного процессора Intel P4 (с тактовой частотой 4 Гц) и ОС Windows XP, что делает его высокопроизводительным для обработки и наглядного отображения полученной информации в режиме реального времени. Данный гидрографический комплекс соответствует большинству основных требований, предъявляемых к современным средствам измерения глубин: высокоточен (предельные инструментальные погрешности измерения глубин комплексом составляют ± 10 см при диапазоне измеряемых глубин до 100 м и $\pm 0,3\%$ – при глубинах до 6000 м), прост и надёжен в эксплуатации. Подтверждением последнего служит тот факт, что в процессе непрерывной работы в составе двух дрейфующих станций (СП-35 и СП-36) в сложных условиях эксплуатации эхолотом-профилографом BATHY-2010P в Центральном Арктическом бассейне выполнено более 5000 линейных километров непрерывного маршрутного промера. Весь комплекс исполнен в мобильном варианте и состоит из четырёх моноблоков, смонтированных в специальной металлической стойке, которая, в свою очередь, закреплена на резиновых демпферах в герметичном полиуретановом боксе, а также излучателя диаметром 60 см, врезанного в корпус судна (в процессе подготовки к выполнению работ он был приспособлен для промера

со льда). Бокс с аппаратурой устанавливался и подключался к питанию в хорошо отапливаемом домике инженера-гидрографа, а сам излучатель подвешивался в утеплённом коробе, собранном над лункой и оборудованном системой её постоянного обогрева, на расстоянии 12 м от домика и заглублялся на 3 м от поверхности льда. Эхолот-профилограф и вид рабочего места гидрографа СП-36 представлены на рис. 5.



Рис. 5. Эхолот-профилограф и рабочее место гидрографа

Определение места измеряемых глубин осуществлялось непрерывно на протяжении всего периода выполнения работ по отечественной спутниковой навигационной системе ГЛОНАСС и американской НАВСТАР (GPS) с точностью не хуже 20 м.

Дрейфующая станция СП-36 работала в центральной части Арктики в широтах 85–89° с. ш. на протяжении 357 дней с 7.09.2008 г. по 30.08.2009 г. Пройденное станцией расстояние (вдоль траектории дрейфа ледового массива) составило около 3000 км. За время работы выполнено около 2650 линейных километров непрерывного высокоточного маршрутного промера.

Траектория маршрутного промера проходила: над северной частью поднятия Менделеева и его северными и северо-восточными склонами, вдоль юго-восточной окраины котловины Макарова, северных склонов хребта Альфа, над подводной горой Федотова и северной оконечностью подводной горы Мотрохова, пересекала центральную часть отрога Марвин в поперечном направлении; над ущельем Марвин и западными склонами хребта Ломоносова, центральной частью хребта Ломоносова, пересекая его с запада в восточном направлении, вдоль северо-восточных границ материковой платформы Северо-Американского континента и западных котловины Амундсена.

Таким образом, впервые над данными морфоструктурами был выполнен непрерывный высокоточный промер, а также профилирование океана и осадочного слоя его дна. В целом по сравнению с работами предыдущих лет выполненный промер показал достаточно точное определение большинства глубин в предыдущие годы, несмотря на то, что средства и методы измерения их значений и координирования промера были гораздо менее совершенными и точными. В большинстве своём расхождения не превышали 50 м, однако, местами были

выявлены и довольно существенные расхождения с результатами работ предыдущих лет. Значения глубин, измеренных в процессе дрейфа СП-36 и нанесённых на навигационные морские карты, различались более чем на 1000 м. В необследованных ранее районах в северной части поднятия Менделеева обнаружены возвышенности с разницей между измеренной и нанесённой на навигационную морскую карту ближайшей глубиной до 500 м, а иногда и более 900 м.

Центральная часть хребта Ломоносова, над которой проходил дрейф станции, покрыта более густой сетью измеренных ранее глубин, нежели северная часть поднятия Менделеева. Расхождения в значениях глубин не превышали 200 м. В точке с координатами $88^{\circ}23,9'$ с. ш. и $70^{\circ}17,7'$ з. д., была измерена минимальная глубина, равная значению 1106 м. Данное значение измеренной глубины является минимальным из всех значений глубин, измеренных и нанесённых на морские карты в пределах центрального (полюсного) участка хребта Ломоносова от параллели $87^{\circ}40'$ с. ш. в восточном полушарии до параллели $88^{\circ}45'$ с. ш. в западном полушарии, а также наименьшим значением измеренных глубин за всё время выполнения гидрографических работ в составе дрейфующей станции СП-36. Таким образом, в ходе выполненного маршрутного промера над указанным участком хребта Ломоносова был открыт самый высокий его пик.

В результате выполненных в составе дрейфующей станции СП-36 гидрографических работ получены уникальные данные о рельефе дна СЛО. Их уникальность заключается в следующем:

- гидрографические работы велись непрерывно на протяжении одиннадцати месяцев дрейфа;

- значительная часть дрейфа станции «Северный Полюс-36» прошла над неисследованными ранее районами большинства крупных морфоструктур западного полушария Центрального Арктического бассейна;

- впервые над данной частью Северного Ледовитого океана получен непрерывный профиль глубин, измеренных и определённых с небывалой до этого точностью;

- с помощью современного эхолота-профилографа ВАНУ-2010Р, вдоль всей траектории дрейфа станции одновременно с измерением глубин, выполнено акустическое профилирование осадочного слоя дна и всей толщи водных масс, в результате чего получены важные наглядные данные как о строении рельефа дна СЛО, так и о структуре его водных масс;

- благодаря малым скоростям дрейфа станции и отсутствию каких-либо внешних помех профиль на эхограмме записан чётко, подробно, и при его чтении не возникает сомнений в правильности определения глубины, в отличие от производства промера с судна в тяжёлой ледовой обстановке, где основным источником помех является большой уровень внешних акустических шумов при движении судна во льдах;

- полученные данные о глубинах в качестве контрольных могут быть использованы при выполнении такой важной государственной задачи, как подготовка заявки в Комиссию ООН по границам континентального шельфа, при планировании и выполнении дополнительных гидрографических работ по обоснованию внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане, а также для корректуры морских навигационных карт и руководств для плавания.

Продолжение исследований Арктики является для России актуальной задачей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Папанин И. Д. «Жизнь на льдине», М.: Мысль, 1972. – 311 с.
2. Посёлов В. А., Каминский В. Д., «Комплексные геолого-геофизические исследования на хребте Ломоносова в составе экспедиции «Арктика-2007». В сб. «Экспедиционные исследования в период Международного Полярного года 2007/08. Экспедиции 2007 г.» – СПб: ААНИИ, 2008. – Т. 1.
3. Соколов В. Т., Фролов С. В. Организация дрейфующей станции «Северный полюс-35», В сб. «Экспедиционные исследования в период Международного Полярного года 2007/08. Экспедиции 2007 г.» – СПб: ААНИИ, 2008. – Т. 1.

ON THE HISTORY OF EXPLORATION OF THE BOTTOM RELIEF IN THE CENTRAL ARCTIC BASIN FROM THE DRIFTING ICE PLATFORMS

E. V. Medvedkin (RF MoD Department of Navigation and Oceanography)

The history of hydrographic exploration in the central part of the Arctic Ocean from the drifting ice fields in 1937–2009 is set forth. The ways, methods and technical means used for exploratory work on the drifting ice are described. The description of the hydrographic survey carried out by the author from the North Pole-36 drifting station is presented as its results can be used to substantiate one of the evaluation methods for the validity and accuracy of navigation charts compiled for the water area of the Central Arctic basin whose surface is covered by ice.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.46.0

ЯДЕРНО-МАГНИТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МОРСКИХ И ОКЕАНИЧЕСКИХ ВОД

С. Б. ЗВЕРЕВ (ГЕОХИ РАН)

Спектрометрический метод ядерного магнитного резонанса давно себя зарекомендовал как точный, информативный и экспрессный лабораторный метод анализа вещества. Предварительные результаты исследований данным методом различных природных сред в натуральных условиях подтверждают его широкие возможности и перспективу практического использования в данной области.

В настоящее время различные теоретические и эмпирические исследования динамики и структуры вод Мирового океана основаны на термохалинном анализе (T, S -анализе), где параметрами состояния морской воды являются давление, плотность, температура и соленость. Ряд особенностей метода протонного спинового эха, который основан на явлении ядерного магнитного резонанса (ЯМР), позволяет с большой эффективностью использовать его в данных исследованиях посредством детектирования протонным зондом молекулярных спиновых взаимодействий протонов морской воды. Сведения об исследуемой среде извлекаются из особенностей энергетических взаимодействий ансамблей ядерных спинов протонов между собой и со своим окружением (решеткой) в зависимости от внешних факторов (магнитных полей, давления, температуры, состава растворенных веществ и т. п.). Наряду с T, S – анализом, совокупность параметров спиновой релаксации $T_1^{-1}, T_2^{-1}, T_{2*}^{-1}, T_p^{-1}$ существенно дополнит информацию о происходящих в толще океана процессах под воздействием различных факторов на молекулярном уровне. T_1^{-1} – скорость спин-решеточного взаимодействия, характеризует процесс установления термодинамического равновесия между спиновой подсистемой и решеткой; T_2^{-1} – скорость спин-спиновой релаксации, характеризует обмен энергией только внутри спиновой подсистемы; T_{2*}^{-1} – параметр, характеризующий сохранение спиновой памяти об условиях, в которых создавалась намагниченность; T_p^{-1} – скорость спин-решеточной релаксации во вращающейся системе координат, характеризует процесс установления равновесий намагниченности вдоль высокочастотного поля B_1 . Эти параметры, а также статистическая обработка массивов $\sum T_{ii} - 1$ с помощью ЭВМ по специально разработанным программам позволяют оперативно получить новую информацию о структуре морской воды, т. е. проводить исследования неоднородности физических свойств морской воды на основе данных о мультифазовой релаксации, причина которой заключается в многоэкспоненциальности спиновых сигналов для сложных гетерогенных систем, которыми являются воды Мирового океана. В свете

изложенного совокупность $\sum T_{ii} - 1$ рассматривается как новая фундаментальная характеристика морских и океанических вод, наряду с T, S – анализом.

В соответствии с разработанным методом создан аппаратный комплекс погружного варианта спектрометра импульсного когерентного протонного спинового эха (рис. 1) с возможностью проводить зондирование до глубин 6000 м. Измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) зонда позволяет вести обработку опытных данных в реальном масштабе времени. Имеется пакет программ для сбора и обработки спин-релаксационных параметров (T_1^{-1} , T_2^{-1} , T_{2*}^{-1} , T_p^{-1}) с учетом сопутствующих гидрофизических данных. Точность определения T_1^{-1} составляет около 0,5%. Максимальная чувствительность к парамагнитным примесям – $1 \cdot 10^{-7}$ г-моль/л. Объем резонатора – 0,5 см³. Значения частот ВЧ поля – 18 МГц и 22,5 МГц. Условия эксперимента могут корректироваться по программе и автоматически. Аппаратурная часть для измерения сопутствующих гидрофизических данных обеспечивает непрерывную запись и обработку через ЭВМ следующих параметров: давление, температура, электропроводность, соленость, скорость звука. Основные технические характеристики и пределы измерения: температура воды, °С – 2–40; давление, кг/см² – 0–600; соленость, ‰ – 1–40; скорость звука, м/с – 1400–1650. Модульная конструкция зонда позволяет менять типы и количество датчиков в зависимости от условий эксперимента и вида решаемых задач. Отработаны варианты рабочих программ для регистрации сопутствующих гидрофизических и гидрохимических данных при определении релаксационных параметров методом непрерывного зондирования.

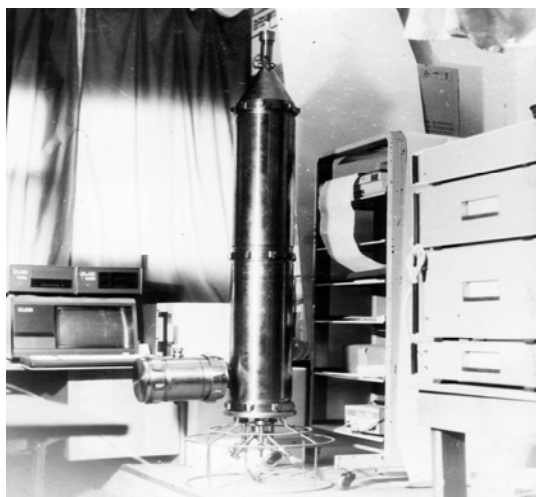


Рис. 1. Глубоководный зонд импульсного когерентного протонного спинового эха (ЯМР) с дополнительным набором гидрофизических и гидрохимических (температура, соленость, давление, кислород, скорость звука, направление и скорость течений) датчиков до глубин 6000 м

Детали и узлы зонда изготовлены из немагнитного коррозионностойкого материала – титана типа ВТ-1Н и ВТ14. Корпус зонда состоит из модулей. Конструкция модулей позволяет менять объем зонда с учетом используемой аппаратной части, определяемой условиями эксперимента. Кроме того, различные

типы гидродинамических стабилизаторов позволяют проводить зондирование в режиме буксировки и в режиме вертикального зондирования.

С помощью когерентного импульсного зонда протонного спинового эха можно исследовать физико-химические свойства морской воды на молекулярном уровне, поскольку параметры ядерной магнитной релаксации (T_1^{-1} , T_2^{-1} , T_2^{*-1} , T_p^{-1}) зависят от интенсивности и видов молекулярных движений в веществе, следовательно, и от его структуры. Исследование структурных свойств морской воды необходимо для физического обоснования и возможного уточнения функциональных зависимостей вязкости, плотности, сжимаемости, теплоемкости, электропроводности, растворимости газов и др. от внешних факторов (температуры, солености, гидроакустического давления и т. д.). Кроме того, изучение распределения релаксационных параметров (T_1^{-1} , T_2^{-1} , T_2^{*-1} , T_p^{-1}) в пространстве дает дополнительную информацию о динамике структуры, механизмах взаимодействия различных процессов, происходящих в толще морской воды. В то же время с помощью ядерной магнитной релаксации можно получить данные о количестве парамагнитных соединений в морской воде, о характере взаимодействия растворенных в морской воде веществ с молекулами воды, проводить оценку влияния антропогенного фактора в области экологии и т. д.

В настоящее время выяснено, что молекулярная структура воды в значительной степени обуславливает свойства растворенных в ней веществ и всего раствора в целом. Ценность молекулярного подхода заключается в том, что эмпирические закономерности можно заменить физически обоснованными уравнениями, имеющими более широкую область применения.

Исследования, проведенные в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах методом протонного зондирования в различных экспедициях, дали следующие результаты:

1. По данным измерений релаксационных параметров в морской воде впервые построены карты распределения скорости спин-решеточной релаксации (T_1^{-1}) в пространстве, определены концентрационные поля парамагнитных примесей для различных акваторий и прибрежных зон, которые дали дополнительную информацию о структуре и динамике водных масс для данных районов, позволили более подробно увидеть пути распространения и перемешивания речных вод с морскими в устьях рек, заметить области с аномальными значениями релаксационных параметров, связанные с глубинными гидротермами, разломами, вулканизмом, сбросами промышленных отходов [1].

2. Получен ряд зависимостей вертикального распределения релаксационных параметров при различных гидрологических условиях.

3. Получена информация о временной изменчивости вертикального распределения релаксационных свойств морской воды для различных районов Мирового океана до глубин 1000 и 2000 м, позволяющая делать выводы о структурных особенностях и активности различных процессов в данном слое с учетом гидрологических и гидрохимических факторов [2].

Чтобы показать некоторые особенности и возможности отображения строения и динамики водных масс на уровне молекулярных спиновых взаимодействий, можно привести результаты ЯМР зондирования для Тихого океана в центральной экваториальной области (разрез по меридиану 160° в. д.) район противотечения Кромвелла (рис. 2–5).

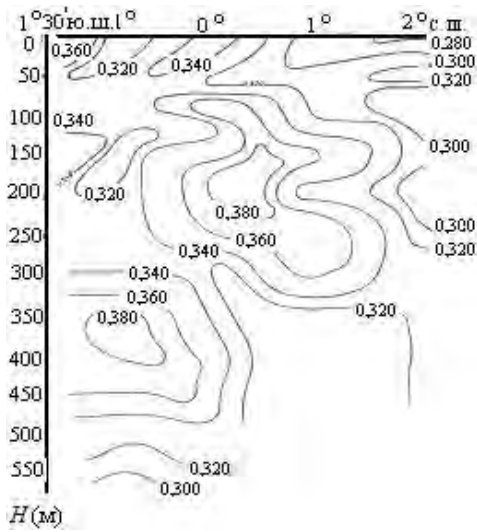


Рис. 2. Тихий океан. Вертикальное распределение скорости спин-решеточной релаксации (T_1^{-1}) в экваториальной зоне по 160° в. д.

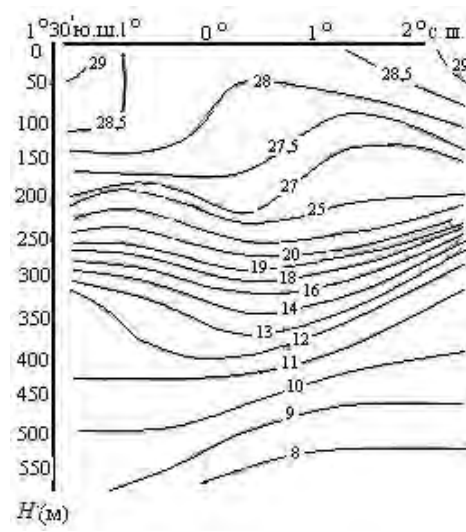


Рис. 3. Распределение температуры на разрезе по 160° в. д. в экваториальной зоне Тихого океана

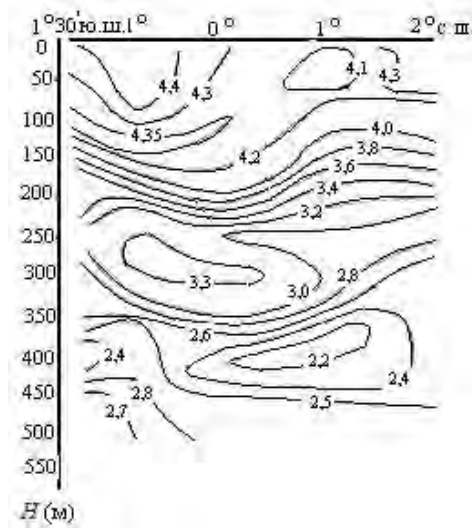


Рис. 4. Распределение кислорода (мл/л) на разрезе по 160° в. д. в экваториальной зоне Тихого океана

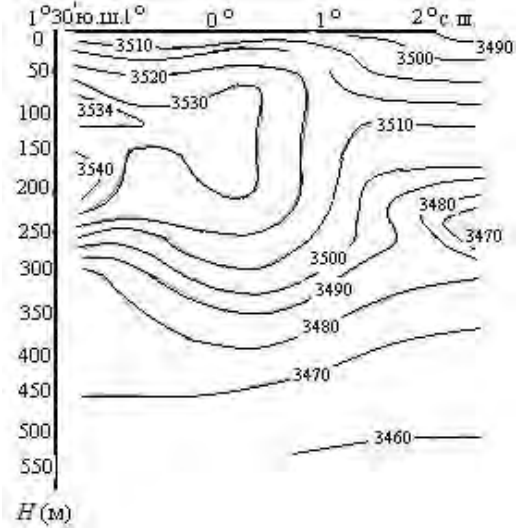


Рис. 5. Распределение солёности на разрезе по 160° в. д. в экваториальной зоне Тихого океана

Как видно на рис. 2, в этом слое распределение параметра скорости спин-решеточной релаксации (T_1^{-1}) имеет достаточно сложную топографию. Имеется два ядра (T_1^{-1}) со значениями $0,380 \text{ с}^{-1}$ на глубинах примерно 150–250 м и 330–420 м. Такое распределение параметра (T_1^{-1}) характерно для разнонаправленных течений.

Согласно показаниям датчика направлений ЯМР-зонда, верхнее ядро относится к водам, движущимся в западном направлении, а нижнее – в восточном. Исходя из ЯМР томографии водного слоя, отображенного на рис. 2, можно примерно оценить масштаб циркуляции водных масс в данном районе и для получения более подробной схемы в будущем необходимо увеличить протяженность разреза на север примерно на один градус и на юг, соответственно, на два градуса.

Характер распределения значений T_1^{-1} в центральной части разреза указывает на то, что воды в центральной части противотечения Кромвелла формируются не из южных субтропических вод, которые, как следует из распределения солености, только подпитывают противотечение сверху. Происхождение вод, формирующих противотечение, связано, видимо, с водами северного полушария, переносимыми Северным Пассатным течением. Другим источником вод центральной части противотечения может быть район, где формируются воды, лежащие под термоклином в нижней части противотечения, которые, как считает В. А. Бурков [3], относятся к водам Кораллового моря.

Таким образом, практические результаты исследования распределения параметров спиновой релаксации (T_1^{-1} , T_2^{-1} , T_{2*}^{-1} , T_p^{-1}) в морских и океанических водах позволяют делать выводы о структурных особенностях и активности различных процессов в Мировом океане и уточнять их пространственные масштабы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зверев С. Б., Копвиллем У. Х. и др. Парамагнитные примеси в Западной части Южно-Китайского моря // Океанология. – 1986. – Т. XXVI, вып. 2. – 250 с.
2. Зверев С. Б., Копвиллем У. Х. Протонная продольная релаксация в естественных средах / Тихоокеанский океанолог. ин-т ДВНЦ АН СССР. В. деп. ВИНТИ, № 624–В 87. – 1981. – 24 с.
3. Бурков В. А. Общая циркуляция вод Тихого океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 254 с.

NUCLEAR-MAGNETIC SPECTROSCOPY OF MARINE AND OCEAN WATERS

S. B. Zverev (GEOCI RAS)

Spectrometric method for nuclear magnetic resonance has long proven itself as an accurate, informative and rapid laboratory method for analyzing the substance in various fields of knowledge. Preliminary research findings by this method of Quantum Radiophysics of different natural environments in natural conditions confirm its scope and prospects of practical use in the field.

УДК 551.465

ПАРАМАГНИТНЫЕ ТРАССЕРЫ В МОРСКОЙ ВОДЕ**С. Б. ЗВЕРЕВ (ГЕОХИ РАН)**

В морской воде содержится большое количество парамагнитных примесей в виде парамагнитных ионов переходных металлов и их комплексных соединений в парамагнитном состоянии. Изучение распределения этих примесей в морской воде представляет большой научный интерес, поскольку они могут служить в качестве трассеров для изучения динамики водных масс. Исследование динамики концентрационных полей парамагнитных примесей даёт дополнительную информацию о степени и масштабе влияния их внешних источников (речного стока, глубинных гидротерм, вулканической деятельности, сброса промышленных отходов и т. д.) на компонентный и структурный состав морских и океанических вод.

Применение метода ядерной магнитной релаксации в комплексе с гидрологическими и гидрохимическими методами позволяет производить анализ общего содержания парамагнитных веществ в морской воде [1, 2, 3]. Суммарную концентрацию парамагнитных примесей N , присутствующих в морской воде, можно оценить по формуле [4]:

$$N = \frac{3}{28} \left(\frac{h^2}{\mu_e \mu_p} \right)^2 \frac{kT}{\eta} \left(\frac{1}{T_{1,\text{э}}} - \frac{1}{T_{1,\text{п}}} - \frac{1}{T_{1,0}} - \frac{1}{T_{1,k}} \right), \quad (1)$$

где μ_e и μ_p – магнитные моменты электрона и протона, соответственно,
 η – вязкость морской воды,
 k – постоянная Больцмана,
 $T_{1,\text{э}}$ – время релаксации, полученное в эксперименте,
 $T_{1,\text{п}}$ – вклад парамагнитных примесей в $T_{1,\text{э}}$,
 $T_{1,0}$ – время спин-решёточной релаксации дегазированной дистиллированной воды,
 $T_{1,k}$ – вклад растворённого в воде кислорода (молекулярный кислород обладает парамагнетизмом).

Эта формула приведена с учётом предположения, что все присутствующие в воде парамагнитные примеси имеют эффективный спин электронной оболочки $S_{\text{eff}} = 5/2$, и что основной парамагнитный вклад дают ионы, находящиеся в S -состоянии (Mn^{2+} , Fe^{3+}) [2, 5]. Данное предположение позволяет характеризовать общее распределение парамагнитных примесей в морской воде по одному эмпирическому параметру $T_{1,\text{э}}$.

Эксперименты по измерению параметра $T_{1,\text{э}}$ в различных районах Мирового океана в морских экспедиционных условиях нами проводились при помощи судового

импульсного ЯМР спектрометра [6], погружного ЯМР-зонда и аппаратуры, предназначенной для получения гидрофизических и гидрохимических данных, необходимых для определения истинных значений релаксационных параметров при использовании ЯМР-зондирования *in situ* [7].

Парамагнитный вклад кислорода оценивался из соотношения:

$$1/T_{1K} = V N_K, \quad (2)$$

где N_K – равновесная концентрация кислорода в образце с морской водой при атмосферном давлении и температуре 310 К,

V – коэффициент релаксационной эффективности кислорода.

Для наших экспериментальных условий значение последнего равно $V = 0,007$ л/(мг·с). Для определения концентрации N_K необходимо было учитывать солёность морской воды в отобранных образцах морской воды. С этой целью параллельно проводилось зондирование водной толщи погружаемым зондом «Исток». Кроме того, для тестирования на геохимические аномалии воды из проб придонной воды извлекали газовую составляющую и на хроматографе ЛХМ-8МД определяли концентрацию углекислого газа, водорода, гелия, метана и тяжёлых углеводородов.

В качестве примера работоспособности судового измерительного комплекса, основанного на применении явления ЯМР для целей исследования динамики водных масс, приведём экспериментальные результаты, выполненные в виде графиков распределения времени спин-решёточной релаксации (T_1) в поверхностном (рис. 1) и придонном (рис. 2) слоях воды дельты реки Меконг в Южно-Китайском море (январь – февраль).

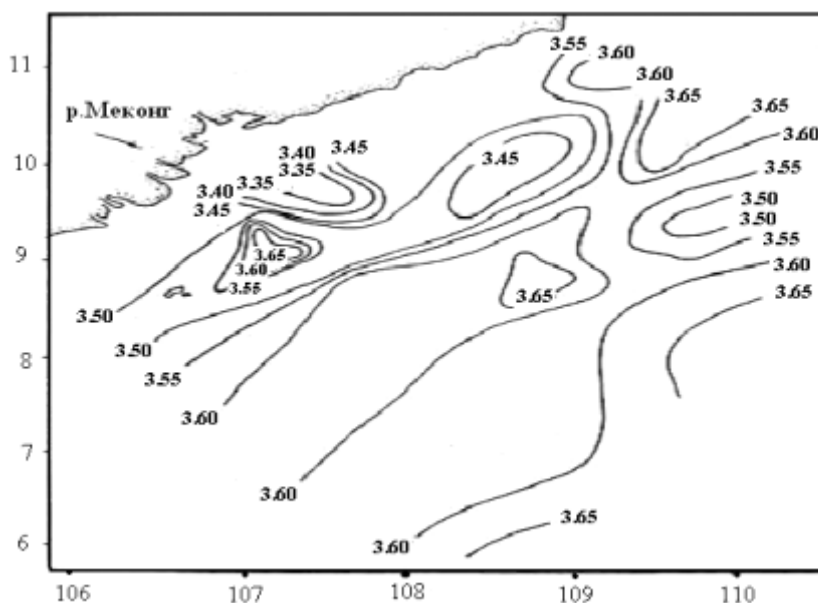


Рис. 1. Изолинии времени спин-решёточной релаксации протонов морской воды (T_1) на поверхности дельты реки Меконг

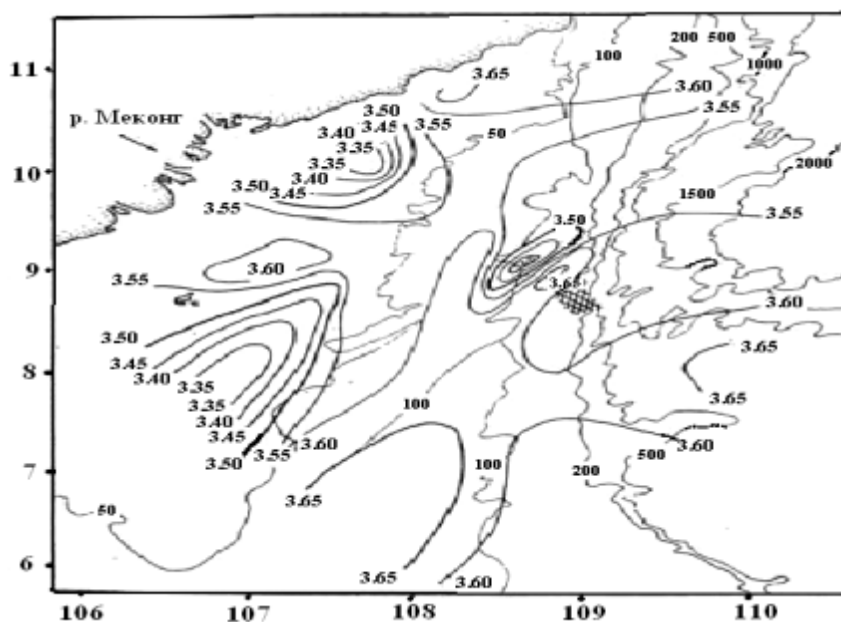


Рис. 2. Изолинии времени спин-решёточной релаксации протонов морской воды (T_1) в придонном слое дельты реки Меконг

В этих графиках содержится много важной океанологической информации [8]. В частности, полученные изолинии позволяют «оконтурить» зоны влияния на компонентный состав поверхностной и придонной морской воды таких источников парамагнитных примесей, как речной сток реки Меконг и области геохимической аномалии, приуроченной к геологическому разлому в западной части Южно-Китайского моря.

Таким образом, при проведении натуральных экспериментов методом ЯМР-зондирования, который позволяет осуществлять оперативные исследования динамики концентрационных полей парамагнитных примесей, появляется возможность оценивать степень и масштаб влияния различных источников парамагнитных трассеров (речной сток, глубинные гидротермы, вулканическая деятельность, сброс промышленных отходов и т. д.) на компонентный и структурный состав морских и океанических вод, а так же получить дополнительную информацию о динамике морских вод исследуемого района.

ЛИТЕРАТУРА

1. Химия океана / Под ред. А. С. Момма. – М.: Наука, 1979. – Т. 1. – 518 с.
2. Мельниченко Н. А. Влияние основных компонентов морской воды на её структурные особенности // Океанология. – 1975. – Т. 15. – Вып. 5. – С. 839–841.
3. Мельниченко Н. А., Чижик В. И. Определение содержания железа в морской воде методом ядерной магнитной релаксации. Тез. докл. Первого Всесоюзного совещания «Спектроскопия координационных соединений». – Краснодар, 1980. – С. 103.
4. Керрингтон А., Мак-Лечлан Э. Магнитный резонанс и его применение в химии. – М.: Мир, 1970. – 447 с.
5. Попель А. А. Магнитно-релаксационный анализ неорганических веществ. – М.: Химия, 1978. – 220 с.

6. Зверев С. Б., Копвиллем У. Х., Обжиров А. И., Пасынков А. С., Таранков С. В. Парамагнитные примеси в Западной части Южно-Китайского моря. – Океанология, 1986. – Т. XXVI. – Вып. 2. – С. 250.
7. Научно-технический отчёт о работах в 29-м рейсе НИС «Профессор Богоров». – Владивосток, 1989. – Т. 1. – С. 31–64.
8. Зверев С. Б., Парамонов А. А. К вопросу о некоторых возможностях метода протонного спинового эха в изучении структуры и динамики вод Мирового океана. Тез. докл. VIII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований». – М.: Изд-во ИО РАН, 2005. С. 166–169.

PARAMAGNETIC TRACERS IN SEA WATER

S. B. Zverev (GEOCI RAS)

The sea water contains a large amount of paramagnetic impurities in the form of paramagnetic transition metal ions and their complex compounds in the paramagnetic state. Studies of their distribution in sea water are of great scientific interest. Paramagnetic impurities can serve as tracers to study the dynamics of water masses. Study of the dynamics of concentration fields of paramagnetic impurities gives additional information on the extent and scale of influence of external sources of paramagnetic impurities (river runoff, deep hydrothermal vents, volcanic activity, dumping of industrial waste, etc.) on the component and the structural composition of sea and ocean waters.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

АЛЕКСЕЕВ Сергей Петрович, генеральный директор ОАО «ГНИНГИ», контр-адмирал, докт. техн. н., профессор, заслуженный военный специалист РФ, председатель Санкт-Петербургского регионального отделения Российского общественного института навигации. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – штурман. Автор более 200 печатных трудов.

E-mail: mail@gningi.ru

БОРОДИН Михаил Анатольевич, инженер-конструктор Кировского филиала ОАО «Концерн «Океанприбор». Окончил Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (СПБГЭТУ) «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) по специальности Радиотехника. Сфера научных интересов – алгоритмы обработки данных многолучевого эхолота. Автор 14 печатных работ.

E-mail: boroda84@gmail.com

БРОДСКИЙ Павел Григорьевич, директор центра инновационных исследований ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в запасе, докт. воен. н., профессор. Окончил Каспийское ВВМУ и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – штурман. Автор более 120 печатных трудов.

Тел. +7(812)327-99-24

ВАХИТОВ Александр Тимурович, доцент кафедры системного программирования СПбГУ. Окончил математико-механический факультет СПбГУ, к.ф.-м.н. Специальность – математическое обеспечение и администрирование информационных систем. Автор 20 печатных трудов.

ГЛАЗКО Владимир Валерьевич, начальник отдела ОАО «ГНИНГИ», капитан 2 ранга в запасе. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специализация – инженер-гидрограф. Область научных интересов – гидрография, геофизика, НГО. Автор шести печатных работ.

Тел. +7(812)322-33-22

Sergey P. ALEKSEYEV, Director General, «GNINGI» OJSC, Rear-Admiral, DSc, professor. Honoured Military Specialist, chairman of St. Petersburg regional branch of the Russian Public Institute of Navigation. Graduated from Frunze Naval College and Kuznetsov Naval Academy. Speciality: navigation. Author of more than 200 publications.

E-mail: mail@gningi.ru

Mikhail A. BORODIN, designer, Kirov Branch, Concern «Oceanpribor» JSC. Graduated from St. Petersburg State Electrotechnical University. Speciality: radiotechnology. Sphere of scientific interests: algorithms of processing the multibeam echosounder data. Author of 14 publications.

E-mail: boroda84@gmail.com

Pavel G. BRODSKY, Director of Centre of Innovation Research, «GNINGI» OJSC, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, professor. Graduated from Caspian Naval College and Kuznetsov Naval Academy. Speciality: navigation. Author of more than 120 publications.

Tel. +7(812)327-99-24

Alexandr T. VAKHITOV, Reader of the chair for system programming, St. Petersburg State University, CandSc. Graduated from St. Petersburg State University, mathematical-mechanical faculty. Speciality: mathematical support and management of information systems. Author of 20 publications.

Vladimir V. GLAZKO, Chief of division, «GNINGI» OJSC, Captain 2-nd Rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College. Sphere of scientific interests: hydrography, geophysics. Author of six publications.

Tel. +7(812)322-33-22

ГРАНИЧИН Олег Николаевич, профессор Санкт-Петербургского государственного университета, докт. физ.-мат. н., профессор. Окончил Ленинградский Государственный университет им. А. А. Жданова. Специальность – математика. Автор более 120 печатных работ.
E-mail: Oleg_granichin@mail.ru

ГУЛЯЕВ Олег Анатольевич, генеральный директор ОАО «Ремвооружение» и ОАО «Спецремонт». Окончил Харьковский ордена Ленина авиационный институт им. Жуковского. Специальность – инженер-механик. Автор 15 печатных работ.

ГУРЕВИЧ Лев Станиславович Окончил математико-механический факультет СПбГУ. Специальность – математическое обеспечение и администрирование информационных систем. Автор пяти печатных работ.

ЖИЛИН Денис Михайлович, директор ОАО «Гидро-Си», старший лейтенант запаса. Окончил ГМА им. Макарова. Специальность – гидрография. Сфера научных интересов: НГО морской деятельности. Автор девяти печатных работ.
E-mail: denis@hydro-c.com

ЖУКОВ Юрий Николаевич, ведущий научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», докт. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – гидрометеорология. Автор более 60 печатных работ.
Тел. +7(812)322-63-39

ЗВЕРЕВ Сергей Борисович, научный сотрудник Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН), канд. техн. н. Окончил Дальневосточный государственный университет (ДВГУ). Специальность – физика моря. Область научных интересов – квантовая радиофизика. Автор 60 печатных работ.
E-mail: zverevsb@yandex.ru

ЗЕНЬКОВ Андрей Федорович, директор управления ОАО «ГНИНГИ», капитан I ранга в запасе. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Область научных интересов – гидрография, НГО. Автор пяти печатных работ.
Тел. (812)322-63-19

Oleg N. GRANICHIN, Professor, St. Petersburg State University, DSc (mathematics). Graduated from Leningrad State University. Speciality: mathematics. Author of more than 120 publications.
E-mail: Oleg_granichin@mail.ru

Oleg A. GULYAEV, Director general «Remvooruzheniye» JSC and «Spetsremont» JSC. Graduated from Kharkov Aviation Institute. Speciality: engeneer-mechanic. Author of 15 publications.

Lev S. GUREVICH, Graduated from St. Petersburg State University (mathematical-mechanical faculty). Speciality: mathematical support and management of information systems. Author of five publications.

Denis M. ZHILIN, Director of «Hydro-C» JSC, Sen. Lt (Ret.). Graduated from Makarov State Maritime Academy. Speciality: hydrography. Sphere of scientific interests: navigation-hydrographic support for maritime activities. Author of nine publications.
E-mail: denis@hydro-c.com

Yuri N. ZHUKOV, Leading researcher, «GNINGI» OJSC, DSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: hydrometeorology. Author of more than 60 publications.
Tel. +7(812)322-63-39

Sergei B. ZVEREV, researcher, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, CandSc. Graduated from the Far-East State University, majoring in physics of the sea. Speciality: quantum radiophysics. Author of 60 publications.
E-mail: zverevsb@yandex.ru

Andrey F. ZENKOV, chief of department, «GNINGI» OJSC, captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College. Sphere of scientific interests: hydrography and navigation-hydrographic support for maritime safety. Author of 5 publications.
Tel. +7(812)322-63-19

КАВРАЙСКИЙ Александр Владимирович, старший научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – гидрография, математическая картография. Автор более 40 печатных трудов.
Тел. +7(812)322-66-48

КИБИТКИНА Юлия Михайловна, младший научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ». Окончила Санкт-Петербургский горный институт. Специальность – горный инженер. Область научных интересов – сейсмоакустика. Автор двух печатных работ.
Тел. +7(812)322-35-18

КОСТЕНИЧ Александр Валерьевич, заместитель директора НИОЦ ОАО «ГНИНГИ», канд. техн. н. Окончил Ленинградский горный институт. Специальность – геофизика. Автор более 60 печатных трудов.
Тел. +7(812)322-35-18

КУРСИН Сергей Борисович, заместитель генерального директора ОАО «ГНИНГИ», канд. техн. н., капитан 1 ранга в запасе. Окончил Каспийское высшее военно-морское училище им. С. М. Кирова, Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Область научных интересов – навигация. Автор 26 печатных работ.
E-mail: zni@gningi.ru

МЕДВЁДКИН Евгений Владимирович, офицер отдела Управления навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации, капитан 3 ранга. Окончил Санкт-Петербургский военно-морской институт. Специализация – гидрография. Автор одной печатной работы.
E-mail: mev_1979@mail.ru

МЕЛЕШКО Владислав Валентинович, доцент кафедры приборов и систем ориентации и навигации Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», канд. техн. н. Окончил Киевский политехнический институт. Специальность – гироскопические приборы и устройства. Автор 75 печатных работ.
E-mail: mvv44@mail.ru

Alexander V. KAVRAISKY, Senior researcher, «GNINGI» OJSC, Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College, Naval Academy. Speciality: hydrography, mathematical cartography. Author of more than 40 publications.
Tel. +7(812)322-66-48

Julia M. KIBITKINA, junior researcher «GNINGI» OJSC. Graduated from St. Petersburg Mining Institute. Speciality: mining engineer. Sphere of scientific interests: seismic acoustics. Author of two publications.
Tel. +7(812)322-35-18

Alexander V. KOSTENICH, deputy director, Research Oceanographic Centre, «GNINGI» OJSC. Graduated from Leningrad Mining Institute, CandSc. Speciality: geophysics. Author of more than 60 publications.
Tel. +7(812)322-35-18

Sergei B. KURSIN, deputy Director-General, «GNINGI» OJSC, CandSc, captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Kirov Caspian Naval College, Kuznetsov Naval Academy. Sphere of scientific interests: navigation. Author of 26 publications.
E-mail: zni@gningi.ru

Evgeny V. MEDVYEDKIN, officer of the MoD Department of Navigation and Oceanography, Captain 3-rd Rank. Graduated from St. Petersburg Naval Institute. Speciality: hydrography. Author of one publication.
E-mail: mev_1979@mail.ru

Vladimir V. MELESHKO, reader of the Chair for devices and orientation systems, the National Technical University of the Ukraine «Kiev Polytechnical Institute», majoring in gyroscopic devices and appliances, CandSc. Author of 75 publications
E-mail: mvv44@mail.ru

ПИРОГОВА Екатерина Александровна,
начальник лаборатории ОАО «ГНИНГИ».
Окончила Российский Государственный
гидрометеорологический университет, магистр.
Специализация – климатология,
гидрометеорология. Автор пяти печатных
работ.

E-mail: ka_pir@mail.ru

СТАВРОВ Константин Георгиевич,
начальник научно-исследовательского центра
ОАО «ГНИНГИ», докт. техн. н., профессор.
Окончил Ленинградский государственный
университет. Область научных интересов –
геофизические исследования. Автор более 200
печатных работ.

Тел. +7(812)322-63-14

СТЕПАНОВ Егор Владимирович,
студент 5 курса математико-механического
факультета СПбГУ. Специальность –
математическое обеспечение и
администрирование информационных систем.
Автор двух печатных работ.

ФИЛАБОК Нина Николаевна,
старший научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ».
Окончила Ленинградский государственный
университет. Специализация – географ-
картограф. Область научных интересов –
гидрография, геофизика. Автор трех печатных
работ.

Тел. +7(812)322-33-22

ЧЕРВЯКОВА Нина Владимировна,
начальник лаборатории ОАО «ГНИНГИ».
Окончила Российский Государственный
гидрометеорологический университет, магистр.
Специализация – климатология,
гидрометеорология. Автор трех печатных работ.

Тел. +7(812)322-35-18

ШЕЙКО Борис Николаевич,
старший научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ»,
канд. техн. н. Окончил Высшее военно-морское
училище радиоэлектроники им. А. С. Попова,
Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова.
Специализация – эксплуатация АСУ. Автор
пяти печатных работ.

Тел. +7(812)322-33-22

Ekaterina A. PIROGOVA,
head of laboratory, «GNINGI» OJSC. Graduated
from Russian State Hydrometeorological
University. Master's degree. Speciality:
climatology, hydrometeorology. Author of five
publications.

E-mail: ka_pir@mail.ru

Konstantin G. STAVROV,
chief of Research Centre, «GNINGI» OJSC, DSc,
professor. Graduated from Leningrad State
University. Sphere of scientific interests:
geophysical investigations. Author of more than 200
publications.

Tel. +7(812)322-63-14

Egor V. STEPANOV,
Student of mathematical-mechanical faculty,
St. Petersburg State University. Speciality:
mathematical support and management of
information systems. Author of two publications.

Nina N. FILABOK,
senior researcher, «GNINGI» OJSC. Graduated
from Leningrad State University. Speciality:
engineer-cartographer. Sphere of scientific interests:
hydrography, geophysics. Author of three
publications.

Tel. +7(812)322-33-22

Nina V. CHERVYAKOVA,
head of laboratory, «GNINGI» OJSC. Graduated
from Russian State Hydrometeorological
University. Master's degree. Speciality:
climatology, hydrometeorology. Author of three
publications.

Tel. +7(812)322-35-18

Boris N. SHEIKO,
Senior researcher, «GNINGI» OJSC, CandSc
Captain 1-st Rank (Ret.). Graduated from Popov
Naval College of Radioelectronics and Kuznetsov
Naval Academy. Speciality: exploitation of
automated control systems. Author of five
publications.

Tel. +7(812)322-33-22

ШУСТОВ Борис Викторович,
начальник отдела ОАО «ГНИНГИ», капитан 2
ранга в запасе. Окончил Калининградское
высшее военно-морское училище и Военно-
морскую академию им. Н. Г. Кузнецова.
Специальность – корабельные системы
вооружения. Область научных интересов –
финансово-экономическое обеспечение
НИОКР. Автор 13 печатных работ.

Тел. +7(812)322-21-42

ШУСТОВ Егор Борисович,
заместитель начальника отдела ОАО
«ГНИНГИ». Окончил Высшее военно-морское
училище подводного плавания им. Ленинского
комсомола. Специализация – инженер по
специальности судовождение. Область научных
интересов – гидрография, геофизика, НГО.
Автор пяти печатных работ.

Тел. +7(812)322-33-22

Boris V. SHUSTOV,
Chief of division, «GNINGI» OJSC, Captain 2-nd
Rank (Ret.). Graduated from Kaliningrad Naval
College and Kuznetsov Naval Academy. Speciality:
Armament of ships. Sphere of scientific interests:
financial economic support for R&D work. Author
of 13 publications.

Tel. +7(812)322-21-42

Egor B. SHUSTOV,
deputy chief of division, «GNINGI» OJSC.
Graduated from the College of Submarine Sailing.
Speciality: engineer, ship navigation. Sphere of
scientific interests: hydrography, geophysics,
navigation-hydrographic support. Author of five
publications.

Tel. +7(812)322-33-22

РЕФЕРАТЫ

УДК 656.61

О реализации планов Минобороны России по структуризации подчиненных предприятий навигационно-гидрографического приборостроения. С. П. Алексеев, С. Б. Курсин, О. А. Гуляев – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 8-14.

На основе анализа современного состояния навигационно-гидрографического обеспечения морской деятельности и технического обслуживания морских средств навигации и океанографии рассмотрены организационные подходы и целесообразные пути реализации планов Минобороны по структуризации подчиненных предприятий навигационно-гидрографического приборостроения.

Ключевые слова: навигационно-гидрографическое обеспечение, техническое обслуживание и ремонт, предприятия навигационно-гидрографического приборостроения.

УДК 658 + 656.6 + 551.48

Методический подход к оценке экономической эффективности программы инновационного развития Открытого акционерного общества «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» (ОАО «ГНИНГИ»). П. Г. Бродский, Б. Н. Шейко, Б. В. Шустов – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 15-22.

В статье рассмотрены общие принципы формирования программы инновационного развития, применимые к любой организации как субъекту хозяйственной деятельности, и предложен подход к расчету показателей ее экономической эффективности. Приведены результаты расчетов показателей эффективности двух проектов Программы ОАО «ГНИНГИ».

Ключевые слова: Эффективность; экономическая эффективность; экономическая эффективность программы; экономическая эффективность проекта; инновационное развитие; программа инновационного развития; ОАО «ГНИНГИ»; дисконтированные оценки; чистая текущая стоимость; NPV; индекс рентабельности; PI; внутренняя норма доходности; IRR; текущая окупаемость; ставка рефинансирования.

УДК 681.586.2

Определение параметров магнитного поля судна. В. В. Мелешко – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 23-30.

Рассматривается методика определения магнитных параметров Пуассона, описывающих магнитное поле-помеху судна. Методика позволяет определить параметры в процессе движения судна в условиях качки по данным от трехосного магнитометра, гирогоризонткомпаса и по параметрам магнитного поля Земли, определяемым по карте.

Предложенные алгоритм и методика позволяют с достаточной точностью определить эти параметры за единицы секунд. Оценки этих параметров позволят быстро и с высокой точностью компенсировать (уничтожить) магнитную девиацию. Наличие оценок параметров Пуассона позволяет отказаться от специальных методик уничтожения широтной девиации.

Ключевые слова: магнитные параметры Пуассона, магнитная девиация, метод наименьших квадратов.

УДК 528.475:550.3

Комплексные гидрографо-геофизические исследования второго этапа работ по определению и обоснованию внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане. С. П. Алексеев, А. Ф. Зеньков, В. В. Глазко. – Навигация и гидрография. – 2011. – № 32. – С. 31 – 37.

Рассмотрена организация и основные результаты комплексных гидрографо-геофизических исследований второго этапа работ по определению внешней границы континентального шельфа в Арктике. Показана особенность взаимодействия судов при выполнении сейсмической съемки в сложных ледовых условиях при наличии буксируемого забортного оборудования.

Ключевые слова: гидрографо-геофизические работы, Арктика, однопроцентная мощность донных осадков, сейсмическая съемка.

УДК 519.711.3+528.235

Алгоритмы определения подножия континентального склона на основе батиметрических данных. К. Г. Ставров, А. В. Костенич, А. В. Каврайский, Е. А. Пирогова, О. Н. Граничин, А. Т. Вахитов, Е. В. Степанов, Л. С. Гуревич – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 38-43.

Рассматривается семейство алгоритмов определения положения доверительной полосы, в пределах которой с вероятностью 95% проходит линия подножия континентального склона (ПКС) с учетом неполноты и неточности имеющихся батиметрических данных. Представлены отличительные особенности применения данных алгоритмов по отношению к традиционно используемым. Использование рассматриваемых алгоритмов позволяет получить дополнительную информацию для экспертной оценки ПКС.

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, Конвенция ООН по морскому праву, подножие континентального склона, алгоритм, интерполяция, аппроксимация, модель поверхности дна.

УДК 550.8

Возможность получения качественной информации многолучевым эхолотом EM-122 в ледовых условиях. К. Г. Ставров, А. В. Костенич, Н. В. Червякова, Е. А. Пирогова, Ю. М. Кибиткина, Д. М. Жилин – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 43-49.

В статье описаны результаты экспериментальных исследований возможности получения информации многолучевым эхолотом EM-122 в ледовых условиях. В сложившихся ледовых условиях при толщине льда до 1,4 м и на скоростях более 3 узлов происходит потеря батиметрических данных с последующим восстановлением сигнала при снижении скорости судна. При скорости судна не более 2 узлов сохраняется непрерывность данных съёмки рельефа дна.

Ключевые слова: Арктика, многолучевой эхолот, научно-исследовательское судно, гидрографическая съемка, граница континентального шельфа

УДК 528.92

Рельеф Земли как математический объект. Ю. Н. Жуков – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 49-59.

В статье вводится и обосновывается набор постулатов, осуществляющих экспликацию представлений о рельефе Земли в математические понятия. Аргументируется фрактальный характер реального рельефа Земли. Приводятся два основных математических метода описания фрактальных поверхностей.

Ключевые слова: рельеф, постулаты, фракталы, системы итерированных функций, вейвлеты.

УДК 528.92

Математические инструменты описания картографического отображения рельефа Земли. Ю. Н. Жуков – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 60-69.

В картографии рельеф Земли отображается в виде гладкой поверхности. В статье приводятся основные математические методы топологического описания гладких двумерных функций. Эти математические инструменты позволяют автоматизировать многие практические задачи картографии.

Ключевые слова: рельеф, гладкие функции, функции Морса, графы Кронрода-Риба, комплексы Морса-Смейла.

УДК 534.6.082/084

Математическая модель эхосигналов многолучевого эхолота. М. А. Бородин – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 70-78.

Предложена математическая модель эхосигналов многолучевого эхолота. Приведены результаты анализа и сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными.

Ключевые слова: многолучевой эхолот, математическая модель, эхосигналы, сравнение с результатами натурального эксперимента.

УДК 550.312; 528.27

Морские гравиметрические комплексы и гравиметры Гидрографической службы Военно-Морского Флота. В. В. Глазко, Е. Б. Шустов, Н. Н. Филабок – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 79-87.

В статье в хронологическом порядке рассмотрены основные этапы разработки ведущими в области гравиметрического приборостроения научными и промышленными организациями отечественных морских гравиметрических комплексов для ВМФ и других пользователей. Приведены основные технические характеристики и условия эксплуатации созданных комплексов. Отмечено, что разработанные морские гравиметрические комплексы четвертого поколения по тактико-техническим характеристикам соответствуют мировым стандартам и конкурентноспособны на мировом рынке.

Ключевые слова: гравитационное поле Земли, морская гравиметрия, гиростабилизированный гравиметр, гравиметрический комплекс, гравиметрическая съемка, ускорение силы тяжести.

УДК 528.475

Из истории исследования рельефа дна центрального арктического бассейна с дрейфующих ледовых платформ. Е. В. Медвѣдкин – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 87-95.

В статье представлена история гидрографических исследований центральной части Северного Ледовитого океана с дрейфующего льда в период с 1937 по 2009 гг. Рассмотрены способы, методы и технические средства исследований, применявшиеся при работах на дрейфующем льду в различные годы. Описаны гидрографические работы, выполненные автором на дрейфующей станции СП-36, результаты которых могут послужить обоснованием одного из методов оценки достоверности и точности навигационных морских карт, составленных на ту часть акватории Центрального Арктического бассейна, поверхность которой закрыта льдом.

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, Центральный Арктический бассейн, изученность, дрейфующая станция, гидрографические исследования, гидрографическая изученность, глубина, промер, определение места, формы рельефа дна, лунка, ледовое поле, эхолот-профилограф.

УДК 551.46.0

Ядерно-магнитная спектроскопия морских и океанических вод. С. Б. Зверев – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 96-100.

Спектрометрический метод ядерного магнитного резонанса давно себя зарекомендовал как точный, информативный и экспрессный лабораторный метод анализа вещества. Предварительные результаты исследований данным методом различных природных сред в натуральных условиях подтверждают его широкие возможности и перспективу практического использования в данной области.

Ключевые слова: ядерный магнитный резонанс, квантовая радиофизика, термоядерный анализ, физические свойства морской воды, спин-решеточная релаксация, измерительно-вычислительный комплекс.

УДК 551.465

Парамагнитные трассеры в морской воде. С. Б. Зверев – Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 101-104.

В морской воде содержится большое количество парамагнитных примесей в виде парамагнитных ионов переходных металлов и их комплексных соединений в парамагнитном состоянии. Изучение их распределения в морской воде представляет большой научный интерес. Парамагнитные примеси могут служить в качестве трассеров для изучения динамики водных масс. Исследование динамики концентрационных полей таких примесей даёт дополнительную информацию о степени и масштабе влияния их внешних источников парамагнитных примесей (речной сток, глубинные гидротермы, вулканическая деятельность, сброс промышленных отходов и т. д.) на компонентный и структурный состав морских и океанических вод.

Ключевые слова: парамагнитные примеси, трассеры, динамика водных масс, метод ядерной магнитной релаксации, гидрофизические и гидрохимические данные.

ABSTRACTS

On implementing the RF Ministry of Defence plans for structuring the subordinate navigation-hydrographic device engineering enterprises. S. P. Alekseyev, S. B. Kursin, O. A. Gulyaev – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 8-14.

The organizational approaches and expedient ways to implementing the MoD plans for structuring the subordinate navigation device-making enterprises, based on the analysis of the current state of navigation-hydrographic support for maritime activities and technical service of the marine aids to navigation and oceanography, are considered.

Key words: navigation-hydrographic support, technical service and repair, navigation-hydrographic device-making enterprise.

Methodical approach to evaluation of the cost-effectiveness for the program of innovation development of «GNINGI» OJSC. P. G. Brodsky, B. N. Sheiko, B. N. Shustov – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 15-22.

The general principles of forming the innovation development program applicable to any organization as a subject of economic activity are considered. The approach to calculation of the cost-effectiveness indices is suggested. The results of calculation of the cost-effectiveness indices for two projects of the “GNINGI” OJSC Program are presented.

Key words: effectiveness, cost-effectiveness, cost-effectiveness of a program of a project, innovation development, program of innovation development, the state research navigation-hydrographic institute, «GNINGI» OJSC, discount evaluation, net pure value, index of profitability, international profitability rating, refinancing rate.

Determination of the magnetic field parameters of a vessel. V. V. Meleshko – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 23-30.

The method of determining the Poisson magnetic parameters describing the magnetic field-interference of a vessel is considered. The method enables the parameters to be determined during the vessel's movement under the roll and pitch conditions, using the data of three-axis magnetometer, gyrohorizon and parameters of the Earth magnetic field, determined by the chart. Having determined the parameters within short period of time (seconds) without numerous vessel's maneuvers, it is possible to compensate for deviation easily.

Key words: Poisson magnetic parameters, magnetic deviation, method of the least squares.

Complex hydrographic-geophysical explorations during the second stage of survey with the aim to define and substantiate the outer limit of the RF continental shelf in the Arctic Ocean. S. P. Alekseyev, A. F. Zen'kov, V. V. Glazko – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 31-37.

The organization and main results of the complex hydrographic-geophysical explorations during the second stage of the survey intended to define the outer limit of the RF continental shelf in the Arctic are considered. The specific features of cooperation of the vessels in the seismic survey under the complicated ice conditions and using the towed outboard equipment are described.

Key words: hydrographic-geophysical survey, seismic survey, the Arctic, the Arctic Ocean, one-percent thickness of bottom sediments.

Algorithms for defining the foot of the continental slope, based on the bathymetric data. K. G. Stavrov, A. V. Kostenich, A. V. Kavraisky, E. A. Pirogova, O. N. Granichin, A. T. Vakhitov, E. V. Stepanov, L. S. Gurevich – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 38-43.

The family of algorithms for determining the position of the confidence interval within which, with 95% probability, the line of the continental slope foot passes, taking the incompleteness and inaccuracy of the available data into account, is considered. The specific features of using these algorithms, as compared to the traditionally used ones, are presented. The use of the algorithms being considered enables the additional information to be obtained for the expert evaluation of the continental slope foot.

Key words: the Arctic Ocean, the United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS), foot of the continental slope, algorithm, interpolation, approximation, model of the bottom surface.

The possibility to obtain the high-quality information using the EM-122 multibeam echosounder under the ice conditions. K. G. Stavrov, A. V. Kostenich, N. V. Chervyakova, E. A. Pirogova, Y. M. Kibitkina, D. M. Zhilin – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 43-49.

The results of the experimental explorations of the possibility to obtain the information by the EM-122 multibeam echosounder installed on the RV «Akademic Fedorov» under the ice conditions without the icebreaker support are presented. Under the existing ice conditions, with the ice thickness up to 1.4 m and at a speed higher than 3 kts, the bathymetric data are lost; the signal is recovered when the vessel's speed is reduced. At a speed not higher than 2 kts the continuous recording of the bottom relief is maintained.

Key words: the Arctic, The Arctic Ocean, multibeam echosounder, research vessel (RV), nuclear-powered icebreaker, the outer limit of the continental shelf, hydrographic survey.

Relief of the Earth as a mathematical object. Y. N. Zhukov – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 49-59.

A set of postulates explicating the notions of the Earth's relief into the mathematical notions is introduced and substantiated. The arguments for the fractal character of the real Earth's relief are used. Two principal mathematical methods of the fractal surfaces description are presented.

Key words: postulate, relief, fractal, system of iterative functions, wavelet.

Mathematical tools describing the cartographic portrayal of the Earth's relief. Y. N. Zhukov – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 60-69.

In cartography, the Earth's relief is portrayed as a smooth surface. Here the principal mathematical methods of topological description of the smooth two-dimensional functions are presented. These mathematical tools enable many applications of cartography to be automated.

Key words: relief, smooth functions, Morse function, Kronrod-Reeb graphs, Morse-Smale complexes.

Mathematical model of multibeam echosounder signals. M. A. Borodin – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 70-78.

Mathematical model of multibeam echosounder echo signals is suggested. The results of analysis and comparison of the experimental data with simulated data are given.

Key words: multibeam echosounder, mathematical model, echosignals, comparison with results of experiment.

Marine gravimetric complexes and gravimeters of the RF Navy Hydrographic Office. V. V. Glazko, E. B. Shustov, N. N. Filabok – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 79-87.

The main development stages of the domestic marine gravimetric complexes by the scientific and industrial organizations, leaders in the field of the gravimetric device-building for the Navy and other users, are

chronologically considered. The main technical characteristics and the operating conditions of the existing complexes are presented. It is pointed out that the tactical-technical characteristics of the developed fourth-generation marine gravimetric complexes meet the world standards and that these complexes can sustain the competition on the world market.

Key words: the Earth's gravitation field, marine gravimetry, gyro-stabilised gravimeter, gravimetric complex, gravimetric survey, gravity.

On the history of exploration of the bottom relief in the Central Arctic basin from the drifting ice platforms. E. V. Medvedkin – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 87-95.

The history of hydrographic exploration in the central part of the Arctic Ocean from the drifting ice fields in 1937–2009 is set forth. The ways, methods and technical means used for exploratory work on the drifting ice are described. The description of the hydrographic survey carried out by the author from the North Pole-36 drifting station is presented as its results can be used to substantiate one of the evaluation methods for the validity and accuracy of navigation charts compiled for the water area of the Central Arctic basin whose surface is covered by ice.

Key words: the Arctic Ocean, the Central Arctic basin, state of knowledge, drifting station, hydrographic survey, hydrographic state of knowledge, depth, sounding, survey, positioning, the forms of bottom relief, types of bottom configuration, hole. Ice field, echo sounder-profiler.

Nuclear-magnetic spectroscopy of marine and ocean waters. S. B. Zverev – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 96-100.

Spectrometric method for nuclear magnetic resonance has long proven itself as an accurate, informative and rapid laboratory method for analyzing the substance in various fields of knowledge. Preliminary research findings by this method of Quantum Radiophysics of different natural environments in natural conditions confirm its scope and prospects of practical use in the field.

Key words: nuclear magnetic resonance, quantum radiophysics, thermohaline analysis, physical properties of sea water, spin-lattice relaxation, measurement-computation complex.

Paramagnetic tracers in sea water. S. B. Zverev – Navigation and Hydrography. – 2011. – No. 32. – P. 101-104.

The sea water contains a large amount of paramagnetic impurities in the form of paramagnetic transition metal ions and their complex compounds in the paramagnetic state. Studies of their distribution in sea water are of great scientific interest. Paramagnetic impurities can serve as tracers to study the dynamics of water masses. Study of the dynamics of concentration fields of paramagnetic impurities gives additional information on the extent and scale of influence of external sources of paramagnetic impurities (river runoff, deep hydrothermal vents, volcanic activity, dumping of industrial waste, etc.) on the component and the structural composition of sea and ocean waters.

Key words: paramagnetic impurities, tracers, dynamics of water masses, method of nuclear magnetic relaxation, hydrophysical and hydrochemical data.

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. Журнал знакомит с передовыми техническими достижениями, с материалами симпозиумов, конференций и хроникой важнейших событий научной жизни. Статьи журнала рецензируются.

Журнал «Навигация и гидрография» включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук».

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

Информация для авторов

Журнал выходит два раза в год. Статьи, предназначенные для первого номера, принимаются до конца марта, а для второго – до конца сентября текущего года.

Требования к оформлению материалов

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

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

Название статьи должно в наиболее краткой форме отражать ее содержание.

В статье указывается *индекс УДК*. К работе прилагаются *аннотация, реферат с ключевыми словами и сведения об авторах*.

В аннотации (объем не более 250 печатных знаков) перечисляются вопросы, освещенные в статье, при этом содержание вопросов не раскрывается. В реферате (объем не более 500 печатных знаков) раскрывается содержание каждого из рассмотренных в статье вопросов. Сведения об авторах: фамилия, имя, отчество; полное наименование учреждения, где работает автор; должность; ученая степень, звание; воинское звание (если имеется); полное наименование высшего учебного заведения, которое закончил автор; специализация; количество опубликованных научных трудов. Кроме того, авторам необходимо указать контактную информацию: почтовый и электронный адрес, номера телефонов.

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

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

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

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

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

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

Подписка на журнал «Навигация и гидрография»

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

Периодичность выхода – два номера в год.

Стоимость одного номера 200 руб., включая НДС 18%.

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

Архив журнала в формате PDF доступен на официальном сайте ОАО «ГНИНГИ» <http://www.gningi.ru/journal.html>.

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



ДЛЯ ЗАМЕТОК

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 2011, №32

Научный редактор П. И. Малеев
Редактор И. Ю. Бугрова
Технический редактор: В. Ю. Бахмутов
Редактор-переводчик Г. В. Трибуц

Подписано в печать 19.12.2011 г.
Тираж 300 экз.
Заказ № 15/32-11 от 23.12.2011 г.

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

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

Журнал «Навигация и гидрография» включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»

Электронная версия журнала размещена на сайте www.gningi.ru

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