

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

**НАВИГАЦИЯ И ГИД-
РОГРАФИЯ**

Издается с 1995 года

**9
1999**

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

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

Редакционная коллегия:

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

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

1999

**THE STATE RESEARCH
NAVIGATION-HYDROGRAPHIC INSTITUTE**

**NAVIGATION AND
HYDROGRAPHY**

Published since 1995

**9
1999**

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint -Petersburg

Editor-in-chief
ScD S.P.Alekseev

Editorial board

V.A.Avdonyushkin, PhD S.B.Balyasnikov, PhD A.I.Baranov (secretary),
ScD B.N.Belyaev, ScD P.G.Brodsky, PhD A.K.Vorobiev,
PhD A.A.Dadashev, PhD V.G.Dzyuba,
ScD A.N.Dobrotvorsky (vice editor-in-chief),
ScD G.I.Yemelyantsev, PhD A.V.Zinchenko (responsible for the issue),
ScD B.E.Ivanov, PhD I.V.Kozyr, PhD P.I.Maleyev,
ScD A.P.Mikhaylovsky, ScD N.N.Neronov,
PhD A.G.Panov, ScD V.I.Peresyphkin, CM RAS V.G.Peshekhonov,
PhD Yu.V.Rumyantsev, PhD S.A.Rudas (vice editor-in-chief),
CM RAS A.E.Sazonov, CM RAS A.I.Sorokin,
ScD V.N.Fradkin

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

1999

Уважаемые читатели!

Редакционная коллегия и редакция журнала «Навигация и гидрография» поздравляет Вас с 2000 годом!

Желаем Вам здоровья, счастья, благополучия в жизни и успехов в плодотворном сотрудничестве с нами.

Главный редактор
С. Алексеев

Dear Readers!

Editorial board and staff of the
journal «Navigation and Hydrography»
congratulate you on the Year
2000!

We wish you good health,
happiness, prosperity in your
life and success
in fruitful cooperation with us.

Editor-in-chief
S. Alekseev

О Б Р А Щ Е Н И Е

к гидрографам мирового сообщества

Человечество с древнейших времен осваивало Мировой океан. Морские торговые пути сегодня связывают десятки стран мира пяти континентов. Рыбопромысловые суда добывают морепродукты за тысячи миль от своих родных берегов. Активно разрабатываются месторождения нефти и газа, расположенные на континентальном шельфе. Археологи, изучая древнейшие цивилизации, обследуют города, за тысячелетия поглощенные водой.

Вся эта деятельность неразрывно связана с работой гидрографов – гражданских и военных специалистов, с давних пор занимающихся обеспечением безопасности судоходства, а также исследованием и описанием географических и геофизических характеристик океанов и морей.

Трудами многих поколений гидрографов на побережьях материков и островов создано современное навигационное оборудование, организована система навигационных предупреждений, изданы миллионы листов морских карт, тысячи и тысячи томов руководств для плавания. Сотни гидрографических судов постоянно находятся в плавании, обследуя еще недостаточно изученные районы Мирового океана. Во время этих экспедиций сделаны уникальные открытия, исследован характер подводного рельефа и определены геофизические характеристики вод всех четырех океанов и большинства морей земного шара.

Заслуги гидрографов различных стран перед мировым сообществом столь велики, а задачи выполняемые ими, столь сходны, что Российское Гидрографическое общество сочло возможным обратиться к Международной Гидрографической организации с предложением об учреждении Международного Дня Гидрографа – профессионального праздника специалистов, посвятивших себя проблемам повышения безопасности мореплавания и исследованию Мирового океана. Таким днем могло бы стать 13 октября – дата, знаменующая закрытие полевого сезона работ для гидрографов стран северного полушария, поскольку именно эти страны обладают приоритетом в указанной области деятельности.

Сегодня нет сомнений в том, что XXI век будет веком интенсивного использования ресурсов Мирового океана. Учредив Международный День Гидрографа, мы отдадим дань уважения тем, кто самоотверженно изучал и осваивал его в прошлом, подчеркнем важность и значимость труда наших современников и вдохновим тех, кто последует за нами.

Обращаясь к гидрографам всего мира, мы рассчитываем на одобрение и поддержку наших инициатив.

Принято на ежегодном общем собрании членов Гидрографического Общества.

*Санкт-Петербург (Россия)
Президент Гидрографического Общества
20 ноября 1999 года*

Н.Н. Неронов

APPEAL

to Hydrographers of the World Community

Since the ancient times the mankind has been exploring the World ocean. Nowadays the sea trade routes connect dozens of countries on the world's five continents. Fishing vessels operate in locations thousands of miles away from their native shores. Oil and gas fields are actively developed on the continental shelf. Archeologists, studying the ancient civilizations, investigate the towns that had been deluged thousands of years ago.

All these activities are inseparably linked with the work of hydrographers – civil and military specialists engaged, for a long time in provision of the navigation safety as well as in the investigation and description of the geographic and geophysical characteristics of the oceans and seas.

Thanks to the work of many generations of hydrographers, modern navigation equipment has been installed on the coasts of the continents and islands, the system of warnings to navigation has been created, millions of chart sheets and thousands upon thousands of sailing directions have been produced. Hundreds of the hydrographic vessels operate permanently at sea, investigating the still insufficiently studied areas of the World ocean. In the course of these expeditions, unique discoveries have been made, the submarine relief features have been studied and geophysical characteristics have been determined for the waters of all the four oceans and most of the World's seas.

The services of the hydrographers of different countries to the world community are so great and the tasks carried out by them are so similar that the Russian Hydrographic Society has considered it necessary to appeal to the International Hydrographic Organization, proposing to establish the International Hydrographer's Day – the professional holiday of specialists who have devoted their lives to the problems of increasing the navigation safety and investigating the World ocean. This day could be fixed for October 13 – the date that signifies the end of the field surveys season for the hydrographers of the countries located in the Northern Hemisphere because these countries have the priority in the above-mentioned sphere of the activities.

Today there is no doubt that the XXI century will be the century of the intensive use of the World ocean resources. Having established the International Hydrographer's Day, we shall pay a tribute of respect to those people who selflessly studied and developed it in the past, emphasize the importance and significance of the work of our contemporaries and inspire those hydrographers who will follow us.

Appealing to the hydrographers throughout the world, we hope that our initiative will be approved and supported.

The appeal has been adopted at the Annual General Meeting of the members of the Hydrographic Society.

*St.Petersburg (Russia)
President of the Hydrographic Society
November 20, 1999*

N.N.Neronov

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Комарицын А.А. Перспективные пути развития системы навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения ВМФ в современных условиях	11
--	----

МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

Дубинко Ю.С., Дубинко Т.Ю. Робастное оценивание в задачах обработки навигационной информации	17
Каврайский А.В. Оценка точности формул преобразования геодезических координат из одной геодезической системы в другую	27
Иванов Б.Е. Особенности оценки точности определения места при использовании навигационного створа	37
Сорокин А.И. О влиянии закона распределения погрешностей измерения океанографических и навигационных параметров на доверительную вероятность оценки математического ожидания	43

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

Зубченко Э.С. Координатная привязка измеренных глубин при авиационной лазерной съемке рельефа дна	51
Галошин А.И., Густов А.А. Методика и опыт испытаний многолучевого эхолота на морском полигоне с плоским дном	55
Завгородний В.Н. Метод анализа робастной устойчивости и динамического качества стабилизации ориентации и траектории движения подводных аппаратов	61
Опарин А.Б., Панов В.Н. Расширение возможностей морского гидрографического грунтографа по определению грунтов	65

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

Бухановский А.В., Иванов Н.Е., Рожков В.А. Вероятностные модели и экстремумы годовой ритмики гидрометеорологических процессов	71
Бухановский А.В., Захарченко Е.Н., Иванов Н.Е., Клеванцов Ю.П., Рожков В.А. Вероятностный анализ и моделирование вертикально неоднородного океанологического поля	86

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Авдонушкин В.А., Лакунин А.А., Вучко А.И., Фурса Р.А. Развитие топографической науки в Российском государстве – от «Большого чертежа» к геоинформационной системе	104
Стрельбицкий К.Б. Участие гидрографов Краснознамённого Балтийского флота в обороне Моонзундских островов в сентябре – октябре 1941 года	111
ABSTRACTS	115
ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	118
Сводный перечень статей, опубликованных в журнале за 1995–1999 гг.	122

CONTENT

GENERAL MATTERS

A.A.Komaritsyn. Perspective Ways of the Navy's Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Support System Development in Modern Conditions.	11
--	----

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

Yu.S.Doubinko, T.Yu.Doubinko. Robust Estimation in the Problems of Navigation Information Processing.	17
A.V. Kavraysky. Evaluation of Formulas Accuracy for Convert the Geodetic Coordinates from One Geodetic System to Another.	27
B.E.Ivanov. Specific Features of Evaluating the Fix Accuracy when Using the Navigational Range.	37
A.I.Sorokin. On the Influence of the Error Distribution Law in Measurement of Oceanographic and Navigation Parameters on the Confidence Probability of Mathematical Expectation Evaluation.	43

MEANS AND METHODS OF HYDROGRAPHY, MARINE CARTOGRAPHY AND GEOPHYSICS

E.S.Zoubchenko. Fixing the Position of Soundings in Aircraft Laser Bottom Relief Survey.	51
A.I.Galoshin, A.A.Gustov. Methods and Experience of Testing the Multibeam Echo Sounder at Sea Test Range with Flat Bottom.	55
V.N.Zavgorodny. Robust Stability and Dynamic Quality Analysis Method of Stabilizing the Orientation and Trajectory of Underwater Vehicles.	61
A.B.Oparin, V.N.Panov. Augmentation of Capabilities of the Marine Hydrographic Surface Soil Profiler for Soil Types Identification.	65

HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT OF MARINE NAVIGATION

A.V.Boukhanovsky, N.E.Ivanov, V.A.Rozhkov. Probabilistic Models and Extrema of the Yearly Rhythm System of Hydrometeorological Processes.	71
A.V.Boukhanovsky, E.N.Zakharchenko, N.E.Ivanov, Yu.P.Klevantsov, V.A.Rozhkov. Probability Analysis and Modelling of the Vertically Non-homogeneous Oceanologic Field.	86

HISTORY PAGES

V.A.Avdonyushkin, A.A.Lakounin, R.A.Vouchko, A.I.Foursa. Development of Topographic Science in the Russian State – from the "Big Drawing" to Geoinformation System.	104
K.B.Strelbitsky. Participation of the Baltic Fleet Hydrographers in the Defence of the Moonsund Island in September-October 1941.	111
ABSTRACTS	115
INFORMATION ABOUT AUTHORS	118
Summary Contents of Publications in the Journal for the Period 1995–1999.....	135

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ГРНТИ 18.21.41.01:78.21.39.17.01:78.21.43.15

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВМФ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

А.А.КОМАРИЦЫН
(ГУНиО МО РФ)

Рассматриваются задачи Гидрографической службы (ГС) ВМФ РФ на этапе реформирования национальных Вооруженных Сил. Отмечается возросшая в новых экономических условиях необходимость удовлетворения интересов гражданских пользователей, что влечет за собой целесообразность придания ГС федерального статуса.

В настоящее время приоритетной задачей военного строительства для Российской Федерации является реализация военной реформы. Последняя рассматривается как приведение военной организации государства в соответствие с новыми геополитическими и экономическими условиями путем реформирования структуры, состава и боевых возможностей армии и флота для приведения их в соответствие с существующими и потенциальными угрозами безопасности и финансово-экономическими возможностями России [1 – 5].

Правовую базу военного строительства составляют документы, принятые в последние годы. Они отражают официальные взгляды новой России на государственную стратегию в области обеспечения безопасности, определяют комплекс мер и конкретных действий по военному строительству [6 – 9]. Проводимое реформирование флота требует внесения существенных изменений в функции и организационное построение всех входящих в ВМФ структур, к числу которых относится сложная организационно-техническая система навигационно-гидрографического (НГО) и гидрометеорологического (ГМО) обеспечения ВМФ. Эта система, ядром которой является Гидрографическая служба (ГС), должна быть реформирована с учетом новых факторов и обстоятельств, возникших в последнее время и не нашедших достаточно полного отражения в организации и функциях существующей структуры НГО и ГМО [10 – 11]. К числу таких обстоятельств можно отнести:

1. Необходимость выполнения системой НГО и ГМО ВМФ функций и за-

дач общегосударственного (федерального) масштаба и уровня в большем, чем ранее объеме, выходящих за рамки непосредственных интересов МО и ВМФ [11 – 14].

2. Существенное повышение технической сложности современных средств и систем навигации, гидрографии и гидрометеорологии и, как следствие, значительный рост стоимости их разработки и эксплуатации.

3. Сокращение финансирования ВС РФ, в том числе ВМФ и всех его структур.

4. Внедрение в систему управления силами флота количественных методов поддержки оперативно-стратегических и тактических решений на базе широкого применения современных информационных технологий, требующих оперативного представления достоверной и полной исходной информации (в том числе навигационно-гидрографической и гидрометеорологической) в соответствующей форме.

5. Возрастание роли научных методов обоснования решений по реформированию сложных систем, к числу которых относится и система НГО и ГМО ВМФ.

Учет данных обстоятельств позволит уточнить замысел и обосновать концепцию реформирования НГО и ГМО ВМФ. Это, в свою очередь, может быть выполнено только на основе соответствующей методологии, предусматривающей анализ возможностей НГО и ГМО ВМФ, прежде всего с оперативно-стратегических и тактических позиций с учетом военно-экономических факторов.

На базе такого анализа должен быть предложен методологический подход к проблеме синтеза реформируемой системы НГО и ГМО ВМФ, оптимизированной по показателю "стоимость-эффективность" при обеспечении оборонной доктрины с учетом возможностей экономики страны. Это позволит сформулировать основные положения концепции реформирования системы НГО и ГМО ВМФ и тем самым установить официальные взгляды ВМФ на данный процесс.

Проведенные по данному вопросу исследования позволили сформировать направления развития и мероприятия, которые могут быть положены в основу совершенствования НГО и ГМО ВМФ [10].

ГС ВМФ представляет собой информационную систему, продуктом функционирования которой являются систематизированные сведения (базы данных) и специализированные услуги. Полезность ее определяется, с одной стороны, свойствами поставляемого продукта (количеством и качеством информации), а с другой – эффективностью его использования. Отсюда вытекают два направления совершенствования НГО и ГМО:

1. Повышение количества и качества навигационно-гидрографической и гидрометеорологической информации.
2. Оптимизация (рационализация) способов использования информации.

В течение почти 200 лет существования отечественной ГС главное внимание уделялось первому направлению – получению в интересах ВМФ преимущественно гидрографической и гидрометеорологической информации. Это не совсем правильно: ведь одна и та же информация может использо-

ваться неоднократно и разными потребителями, что представляется более эффективным и дает возможность получать определенный экономический выигрыш.

Однако, во-первых, до недавнего времени соответствующих информационных данных было сравнительно мало, а техника и технология их получения, обработки и предоставления пользователям были относительно невелики и не требовали столь больших затрат как в современных условиях.

Во-вторых, способы использования информации у разных пользователей различны и их реализация требует глубоких познаний в соответствующих областях прикладных наук. Поэтому на практике бытовал (и во многом сохраняется) следующий подход: пользователи выдвигают свои требования к получаемой ими информации, не ставя, как правило, под сомнение их справедливость (т.е. выдвигают фактически необоснованные требования). При этом игнорируется то обстоятельство, что соответствующее их обоснование может быть выполнено только при совместном (заказчик/пользователь плюс исполнитель) анализе и учете специфики работы каждого конкретного пользователя, а также объективных свойств физических объектов, о которых потребуются информация.

Первый аспект был понятен пользователю, второй – специалистам ГС. Поскольку каждая из сторон действовала преимущественно автономно, то считать предъявляемые требования обоснованными в большинстве случаев действительно практически невозможно.

Живучести подобной ситуации до последнего времени способствовало и то, что еще в недавнем прошлом, до распада СССР, экономическая сторона дела мало кого интересовала. Пользователь получал информацию фактически бесплатно и мог позволить себе беспредельно ужесточать требования к ней, а исполнитель (ГС) имел реальную возможность запрашивать и, как правило, получать в полном объеме необходимое финансирование на компенсацию своих затрат по удовлетворению возросших запросов пользователей.

В последние годы ситуация однако резко изменилась. Взаимодействие пользователя и исполнителя по описанной схеме, и ранее приводившее лишь к необоснованным дополнительным затратам, стало значительно превышать реально возможный уровень финансирования.

Помимо перечисленных обстоятельств, с позиций рыночной экономики на систему НГО и ГМО ВМФ в современных условиях оказывает непосредственное влияние увеличение потребностей пользователей других отечественных министерств и ведомств, а также международных потребителей гидрографической информации.

Интересы названных потребителей в принципе удовлетворялись и ранее в виде обеспечения гражданского отечественного и зарубежного мореплавания картографической продукцией и предоставления им возможности использования принадлежащих ГС ВМФ средств навигационного оборудования (маяков, знаков и т.п.).

Кроме того, ГС отвечала за техническую политику в области разработки навигационных средств двойного предназначения (военного и гражданского): гирокомпасов, лагов, эхолотов и др. Все эти функции ГС в настоящее время усиливаются. Кроме того к ним добавляется еще и ряд новых [12–15].

В частности, постановлением Правительства РФ от 19.06.94 г. №711 "О совершенствовании научных исследований в области навигации, гидрографии и океанографического обеспечения" на подчиненный ГУНиО Гос.НИНГИ возложены обязанности головной научно-исследовательской организации, ответственной за обоснование и разработку технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии, океанографического обеспечения обороны и экономики страны [16]. Тем самым ГС оказывается ответственной за реализацию разработанной технической политики как в традиционных направлениях, но только в большем масштабе, так и в совершенно новом вопросе по океанографическому обеспечению экономики [15].

Все сказанное приводит к необходимости осуществления ряда мероприятий по развитию ГС как федеральной (общегосударственной) структуры. В их число целесообразно включить следующие:

По первому направлению (повышение количества и качества функций НГ и ГМО мореплавания):

1. Организация разработки технических средств морской навигации, гидрографии и гидрометеорологии для вооружения новых кораблей ВМФ и судов гражданского флота с учетом возможности двойного (военного и гражданского) использования последних.

2. Организация модернизации и ремонта существующих и состоящих на вооружении морских средств навигации и океанографии в интересах поддержания готовности кораблей и судов наличного боевого и вспомогательного флота.

3. Разработка и содержание системы обеспечения потребителей ВМФ, а также других ведомств картографическими материалами (включая цифровые карты и электронные системы) и навигационными пособиями.

4. Оптимизация системы НГО и ГМО ВМФ с учетом ее роли в обеспечении гражданских пользователей на основе применения современных методов системного анализа.

5. Определение и согласование с заинтересованными ведомствами содержания и методов океанографического обеспечения обороны и экономики страны; разработка мероприятий по реализации данного вида обеспечения.

6. Определение задач, объема и методов проведения гидрографических и океанографических исследований Мирового океана и их согласование с аналогичной деятельностью РАН и других ведомств; оптимизация состава гидрографических и океанографических судов ВМФ.

7. Разработка и оптимизация методов финансового обеспечения ГС исходя из принципа оптимального использования бюджетных средств и средств, получаемых от обеспечиваемых (кроме ВМФ) ведомств.

8. Создание замкнутой системы навигационного поля на акватории Мирового океана и реализации концепции Единого Навигационного Поля.

9. Разработка концепции ГМО ВМФ, предусматривающей внедрение на флотах современных автоматизированных методов сбора, обработки, анализа и отображения гидрометданных на основе исследований по оптимизации сочетания в структуре ГМО ВМФ централизованного и автономного принципов ее построения.

По второму направлению (оптимизация способов использования ин-

формации):

1. Разработка способов оптимального автоматизированного использования НГ и ГМ информации при управлении силами флота на различных уровнях и организации взаимодействия ГС с соответствующими управляющими структурами флота [10].

2. Разработка по заказу гражданских ведомств способов усвоения информации о состоянии и ожидаемой пространственно-временной изменчивости среды при океанографическом обеспечении интересов национальной экономики [15].

3. Разработка и реализация методов оценки эффективности планируемых структурных изменений ГС в целом по показателю "стоимость – эффективность", использование результатов такой оценки для реорганизации структуры ГС.

4. Внедрение в практику ГС и ее подразделений на флотах методов количественного учета НГ и ГМ факторов при выполнении оперативно-тактических расчетов в поддержку принимаемых решений по управлению силами флота в боевых и повседневных условиях.

5. Оценка по заказу гражданских ведомств проводимых ими мероприятий по изучению и освоению Мирового океана по показателю "стоимость – эффективность" [15].

6. Оптимизация направлений и объемов гидрографических и океанографических исследований Мирового океана силами ГС, исходя из возможности использования полученных результатов в интересах повышения качества управления силами флота.

Реализация данных направлений и мероприятий совершенствования НГО и ГМО должна будет обеспечить решение задач реформирования структуры системы ГС ВМФ с учетом изложенных выше факторов и обстоятельств в процессе реформирования ВС РФ [7,8,17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барынькин В.М. Проблемы строительства Вооруженных сил Российской Федерации на современном этапе // Военная мысль. – 1996. – №1 – 2. – С.2 – 6.
2. Селезнев Г. Законодательное обеспечение морской безопасности Российской Федерации//Морской сборник. – 1999. – №4. – С.3 – 7.
3. Московенко М. О стратегических интересах России в Мировом океане// Морской сборник. – 1997. – №10. – С.14 – 19.
4. Волобуев В. О некоторых проблемах борьбы с подводной опасностью // Морской сборник. – 1998. – №10. – С. 14 – 19.
5. Ерофеев О.А. Какой флот нужен России? //Военная мысль. – 1995. – №3. – С.28 – 35.
6. Указ Президента РФ об утверждении "Концепции национальной безопасности Российской Федерации" от 17.12. 1997 г.
7. Указ Президента РФ об утверждении "Концепции строительства Вооруженных Сил Российской Федерации до 2005 г." от 07.07.1997 г.
8. Указ Президента РФ об утверждении положения "О первоочередных мерах по реформированию Вооруженных Сил РФ по совершенствованию их структур" от 16.07.1997 г.
9. Указ Президента РФ об утверждении положений "О комиссии по военному строительству при Совете обороны РФ " и "О комиссии по финансовому и экономическому обеспечению военной реформы при Совете обороны РФ" от 19.07.1997 г.
10. Комарицын А.А. и др. Проект "Положения о Федеральной Гидрографической службе Российской Федерации". – СПб.: ГУНиО МО, 1997. – 11 с.
11. Макорта А. От такой реорганизации выиграют все// Морской сборник. – 1998. – №1. – С.12 – 13.
12. Комарицын А.А. Гидрографы решают государственные задачи//Морской сборник. – 1998. – №39. – С. 12 – 14.

13. Комарицын А.А., Алексеев С.П. Национальная гидрография и навигационная безопасность // Рыбное хозяйство . – 1997. – №6. – С.14 – 15.
14. Комарицын А.А. В интересах обороны и народного хозяйства// Морской сборник. – 1999. – №3. – С.59 – 62.
15. Концепция Федеральной Целевой Программы "Мировой океан"// Российская газета. – 1997. – 28.01. – С.3 – 5.
16. Сидоренко Л. Военно-научный комплекс и строительство ВМФ России XXI века// Морской сборник. – 1998. – №8. – С. 12 – 15.
17. О реструктуризации и конверсии оборонной промышленности // Российская газета. – 1997. – 30.12. – С.3.



МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

ГРНТИ 78.25.31.35.29.01

РОБАСТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

**Ю.С. ДУБИНКО,
Т.Ю. ДУБИНКО**
(КБ «НАВИС», Москва)

Кратко излагаются основы робастного оценивания. Характеризуется применение робастного подхода к решению задач навигации. Приведенные примеры подтверждают преимущества предложенной нелинейной процедуры робастного оценивания по сравнению с традиционно используемыми методами.

Последние десятилетия в математической статистике интенсивно развиваются теория и методы робастного оценивания [1, 2, 3]. Термин «робастный» – это перевод английского «robust» – буквально «устойчивый». Определение робастной статистики [3] «...область знания, касающаяся отклонений от допущений идеальной модели в статистике».

Одной из целей робастной статистики [3] является определение отклоняющихся значений данных (резко выделяющихся наблюдений) или, если это необходимо, выделяющихся структур. В отличие от целей математической статистики как науки получения статистических выводов на основе наблюдений случайных по своей природе величин (поиск закономерностей в случайном), где отклоняющиеся данные или выделяющиеся структуры могут нести полезную информацию для этих выводов, во многих технических приложениях (таких как навигация, астрономия, гидрография, геодезия, топография и т.д.), ряд наблюдений представляет собой измерения некоторых физических величин с помощью специально спроектированных для этих целей высокоточных приборов и систем с относительно низким уровнем шумов в стандартных условиях функционирования. Появление в ряду таких измерений резко выделяющихся членов обусловлено, как правило, существенным отличием от стандартных условий функционирования измерительных систем, что приводит к аномалии в их работе. Например, применительно к радионавигации –

это отказы (неисправности) в элементах передатчиков сигналов, срыв сопровождения сигналов в приёмниках, вызванный воздействием промышленных или преднамеренных помех, манёвром объекта при несферичной диаграмме направленности приёмной антенны, затенением источников радиосигналов местными предметами или элементами конструкции объекта при манёвре, фединге в каналах с многолучевым распространением. Этот перечень можно продолжить. Ограничимся упоминанием только ещё одной, характерной для современной техники, причины аномалий – это случайные сбои в цифровых устройствах измерения, хранения и обработки первичной информации.

Проблема обнаружения резко выделяющихся наблюдений и удаления их из обработки восходит к прошлым векам. В настоящее время один из основоположников современной робастной статистики Хампель утверждает [3], что «...автоматическое удаление выделяющихся наблюдений без дальнейших попыток установить причины их возникновения оправдано лишь тогда, когда модель хорошо обкатана и уже доказала своим долгим применением в целевых исследованиях право на существование в качестве приближения, которым стоит дорожить, а интерес ограничен лишь большинством данных безотносительно к тому, каковы выделяющиеся наблюдения и что представляет собой любое из них». Но это именно те условия, которые соответствуют перечисленным выше техническим приложениям математической статистики. И с этой точки зрения защита оценок от аномалий в измерениях обнаружением их в выборке и удалением из обработки вполне оправдана.

Видимо исторически первым (однако применяемым и в настоящее время) можно считать эмпирическое правило «трёх сигм», в соответствии с которым в общем случае в итерационной процедуре (что особенно важно для случая оценивания векторного параметра сдвига в линеаризованных задачах навигации, астрономии и геодезии) отбрасываются те элементы выборки, которые отклоняются от предыдущей оценки сдвига на утроенную (и более) оценку СКП. Причём для указанного выше класса задач весьма существенным (с точки зрения несмещённости оценки) являются требования оценки СКП той части выборки, которая осталась неотбракованной в предыдущей итерации, а проверка гипотез о попадании элемента выборки в интервал $\pm 3\tilde{\sigma}$ должна выполняться для всех элементов исходной выборки в каждой итерации.

Такая робастная процедура с резкой отбраковкой некоторых элементов выборки, а также аналогичные оценки в виде цензурированного или винзорированного среднего, связанные с построением ранжированного ряда, представляют собой существенно нелинейные статистики (функции выборочных значений), в которых весовые коэффициенты зависят от реализаций измеренных значений элементов выборки и в перечисленных вариантах реализуют бинарную (нуль, единица) систему весов.

Предельным случаем бинарной системы весовых коэффициентов можно считать наиболее робастную оценку параметра сдвига в виде выборочной медианы (срединный элемент ранжированного ряда, которому приписывается единственный вес, а все остальные элементы этого ряда отбрасываются).

Сравнительный анализ различных робастных оценок. Впервые систематическое изложение проблем робастной статистики и строгие математи-

ческие обоснования некоторых видов робастных оценок приведены Хьюбером [2]. В частности, им предложен класс робастных оценок М-типа (максимально-правдоподобные оценки при минимаксном критерии). Весовая функция М-оценок по Хьюберу выражается соотношением

$$g(z_i - \bar{z}) = \frac{\frac{\partial}{\partial \vartheta}(f(z/\vartheta))}{(z_i - \bar{z})f(z/\vartheta)}, \quad (1)$$

где ϑ – параметр сдвига выборки z (в наших приложениях – математическое ожидание измерения $z = HX + \xi$);

$f(z/\vartheta)$ – плотность вероятности измерения z с учётом засорения выборки;

X – вектор состояния объекта (координаты, составляющие скорости и пр.);

H – матрица частных производных $\frac{\partial z}{\partial x}$;

ξ – погрешность измерения.

Специалисты в области математической статистики вместо весовой функции предпочитают оперировать с т.н. определяющими, которые имеют чёткий смысл вклада каждого элемента выборки в формируемую оценку и связаны с весовыми функциями соотношением

$$\psi(z/\vartheta) = (z - \bar{z}) \cdot g(z/\vartheta). \quad (2)$$

Обычно с именем Хьюбера связывают предложенную им М-оценку с определяющей и весовой функциями, представленными на рис. 1а и 1б соответственно.

Из вида определяющей функции (рис.1а) нетрудно реконструировать исходную плотность вероятности – это гауссово распределение в интервале $\{-k; k\}$ и экспоненциальные «хвосты» за его пределами. Характерно, что и основное гауссово распределение и его утяжелённые (удлинённые) хвосты – засоряющая часть выборки – симметричны относительно одного и того же параметра сдвига ϑ .

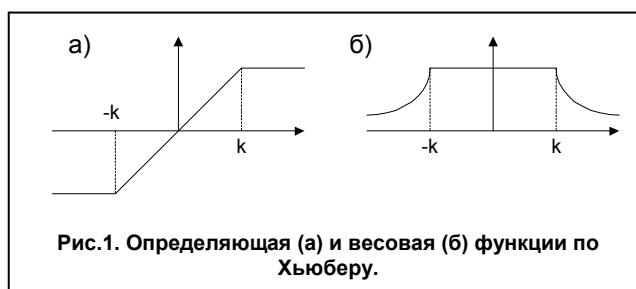


Рис.1. Определяющая (а) и весовая (б) функции по Хьюберу.

и его утяжелённые (удлинённые) хвосты – засоряющая часть выборки – симметричны относительно одного и того же параметра сдвига ϑ . Согласно Хампелю [3] «Это обстоятельство является одним из самых стойких предубеждений против робастной статистики, поскольку предположение о точной симметричности с очевидностью столь же нереалистично, как и предположение о точной параметрической модели. Это предубеждение было подкреплено исследованиями по методу Монте-Карло Принстонского университета (1977 г.)¹ и заставило многих учёных-статистиков поверить в то, что робастные статистики – это статистики симметричных распределений, обла-

¹ Как выяснилось впоследствии, в силу недостаточно корректной интерпретации этих результатов. (Прим. авт.).

дающих длинными хвостами (хотя ни одна из теорем в работах Хьюбера не нуждается в условии симметричности и не содержит слова «симметрия»). Тем не менее ... при хьюберовском минимаксном подходе симметрия всё же играет некоторую роль... в двух других основных теориях робастности – во втором подходе Хьюбера и подходе Хампеля нет ни малейшей нужды обращаться к симметрии.»

Подход Хампеля [3]: «...можно назвать методы лучшие¹, нежели прямое принятие данных или их резкое «жесткое» удаление, если они лежат за некоей чертой, в частности, те методы, в которых предусмотрена промежуточная зона, где вопрос о том, является ли данное наблюдение резко выделяющимся или нет, решается неоднозначно». Хампелем [3] дано достаточно строгое обоснование новому классу робастных оценок, т.н. «сниженных M-оценок», которые в отличие от M-оценок Хьюбера имеют определяющую и соответственно весовую функции, отличные от нуля лишь на ограниченном интервале.

По-видимому, исторически первой (ещё до выхода в свет книги Хампеля) и в значительной степени основанной на интуиции автора была оценка, известная под названием «бивес Тьюки» (рис.2), затем оценка Эндрюса с определяющей функцией в виде отрезка синусоиды на интервале $\pm \pi$ (см.рис.2), и наконец, оценка Хампеля с кусочно-линейной определяющей функцией (см.рис.2).

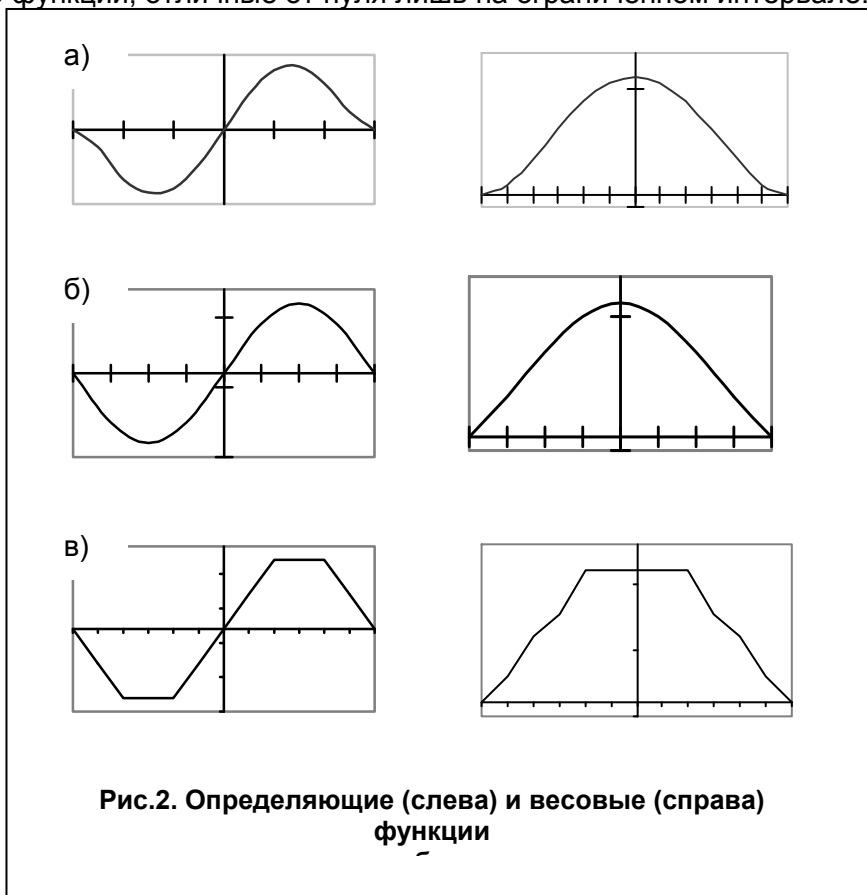


Рис.2. Определяющие (слева) и весовые (справа) функции

Следует заметить, что эти оценки не основаны ни на каких допущениях о параметрической модели (пусть неточной) засорённых наблюдений. Други-

¹ В смысле эффективности. (Прим. авт.).

ми словами, они обладают определённой универсальностью, а их эффективность лишь проверялась и подтверждалась на моделях разных классов распределений.

Естественно предположить, что для более определённого класса моделей погрешностей измерений (например, в радионавигационных системах) должна существовать более эффективная робастная оценка. Это предположение подтверждается сравнительной оценкой (таблица) относительной эффективности рассматриваемых методов, полученной имитационным моделированием по методу Монте-Карло, где за единицу принята эффективность предлагаемой в данной статье оценки, впервые полученной в [4].

Относительная эффективность различных робастных оценок

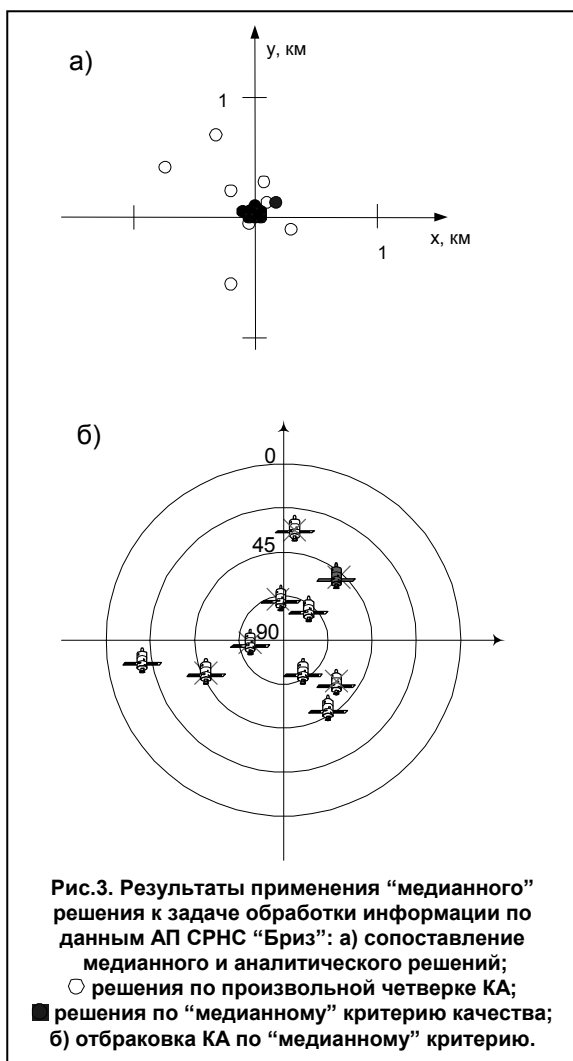
Оценка	Показатель относительной эффективности
Среднее арифметическое	0,132
Хьюбера	0,298
Медиана	0,421
Хампеля	0,452
Бивес Тьюки	0,522
Эндрюса	0,954

Основным затруднением в применении указанных выше робастных оценок является опасность расходимости итерационного процесса. Другими словами, практическое применение этих достаточно эффективных и робастных оценок требует хорошего робастного начального приближения. Хампель [3] по этому поводу пишет: «Особую важность имеют такие пороговые аспекты как... существование простых процедур ... , которые могут считаться обобщениями медианы и служить инструментом при определении безопасной начальной точки для итераций».

Такая процедура была найдена ещё в 70-е годы при разработке программного обеспечения аппаратуры потребителей низкоорбитальных навигационных систем. Особенность этой навигационной задачи заключается в очень сильной зависимости погрешности обсервации от количества неотбракованных аномальных измерений. Естественно, возник вопрос – почему измерения с отклонением в 2,9 ... 9 СКП считаются хорошими, а с отклонением в 3,0 ... 001 СКП отбрасываются как негодные? Первой попыткой оптимизации этой процедуры были численные эксперименты с множеством реальных выборок измерений по изменению величины порога отбраковки. Увеличение этого порога с 3 до 5 СКП заметного эффекта не дало (видимо, сказалось влияние точек разбалансировки), а снижение этого порога в каждой итерации (от 3 с шагом 0,5) приводило к заметному сокращению размера оставшейся не отбракованной части выборки (с несущественным ухудшением качества решения). Это говорит о том, что правило «нескольких СКП» достаточно эффективно удаляет все аномальные измерения, по крайней мере в задачах спутниковой навигации.

Наконец, когда величина порога отбраковки приближалась к единице, в выборке оставался лишь необходимый минимум измерений для решения навигационной задачи – число степеней свободы. Оставшиеся измерения учитывают геометрический фактор задачи и обладают всеми свойствами выборочной медианы для одномерного случая. Будем называть такое решение «медианным».

Очевидно, что лучших измерений, чем выбранный этим способом необходимый их минимум, не существует, и эта оценка обладает свойствами предельной безопасности в смысле защиты данного решения от аномалий в измерениях (строго говоря, при условии, что число релевантных элементов в выборке не менее числа степеней свободы, а это ситуация, в которой большая часть элементов выборки принадлежат к нормальной генеральной совокупности, а меньшая – аномальна. В противном случае задача робастного оценивания становится некорректной).



Основной недостаток «медианного» решения – в его излишней «осторожности», отбрасывании значительной части «хороших» измерений, обработка которых могла бы повысить эффективность оценивания за счёт избыточности для усреднения шумов измерений. Поэтому его целесообразно использовать в качестве робастного начального приближения для применения более эффективных робастных оценок (с непрерывной системой весов).

На рис.3а показано преимущество решения по «медианному» критерию качества перед аналитическим решением по произвольно выбранной четверке КА. Рис. 3б иллюстрирует отбраковку КА по «медианному» критерию (сбойный спутник выделен черным цветом).

Предлагаемая робастная оценка построена в соответствии с формулой (1) как максимально правдоподобная (оценка М-типа по Хьюберу) для плотности вероятности засорённой выборки в виде широко известной модели ε -засорения Тьюки

$$f(z / \vartheta) = (1 - \varepsilon)w(z / \vartheta) + \varepsilon\varphi(z), \quad (3)$$

где ε – вероятность появления аномального измерения;

$w(z / \vartheta)$ – нормальное распределение погрешностей измерений с параметром сдвига ϑ (в наших задачах – это математическое ожидание);

$\varphi(z)$ – плотность вероятности аномальных измерений (параметр сдвига ϑ опущен сознательно, чтобы подчеркнуть независимость от него аномальных измерений).

При выводе выражения для весовой функции этой оценки использованы следующие допущения, которые традиционно используются в практических приложениях математической статистики (в частности, в статистической радиотехнике) и отражают специфику навигационных измерений:

1. Засоряющее измерение не связано с оцениваемым параметром. Это означает, что $\frac{\partial \varphi(z)}{\partial g} = 0$.

2. СКП (параметр масштаба) засоряющей части выборки с распределением $\varphi(z)$ во много раз больше этого параметра нормального распределения. Это означает, что в области узкого пика нормальной плотности вероятности, где она заметно отлична от нуля, уровень плотности вероятности засоряющего распределения $\varphi(z)$ настолько мал, что независимо от вида этой функции он не может сколь-либо существенно сместить положение максимума функции (3), а это, в свою очередь, позволяет в качестве $\varphi(z)$ принять равномерное распределение и считать, что границы этого распределения никак не повлияют на весовую функцию.

Подставляя (3) в (1), с учётом указанных допущений после очевидных преобразований получим

$$g(\xi) = [1 + Q \exp(\xi^2)]^{-1}, \quad (4)$$

где \hat{z} – нормированное на оценку СКП и $\sqrt{2}$ отклонение текущего измерения от его прогнозированного значения (нормированная разность измеренного и числимого значения навигационного параметра);

$$\xi_i = \frac{z_i - H_i \tilde{x}_{i/i-1}}{\sqrt{2} \tilde{\sigma}_{z,i-1}};$$

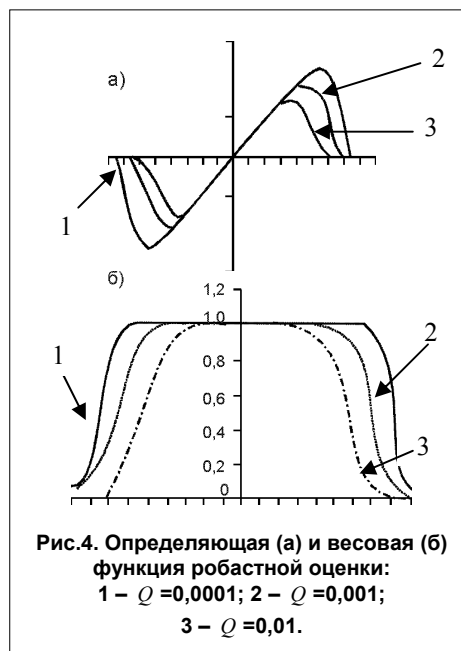
$$Q = \frac{\varepsilon \sqrt{\frac{\pi}{6}}}{(1-\varepsilon)k} \quad \text{— обобщённый}$$

параметр настройки робастной оценки, который будем называть обобщённым уровнем засорения;

k – отношение СКП аномальных измерений к СКП нормальных.

Определяющая и весовая функции полученной оценки представлены графиками на рис.4(а) и 4(б) соответственно.

Для организации контура адаптации (рекуррентного уточнения параметра настройки Q) введём вспомогательную процедуру проверки гипотез для разбраковки выборки на релевантную и иррелевантную части. Априорные оценки (применительно к задачам спутниковой навигации) показывают, что этот параметр существенно меньше 10^{-4} , а из рис.4(б) следует, что с умень-



шением Q возрастает крутизна спада весовой функции. Установление порога разбраковки в пространстве весов на низком уровне ($\approx 0,1$) даже с большой ошибкой практически не окажет влияния на порог отбраковки в выборочном пространстве.

С учётом этого замечания будем считать элемент z_{ij} нормальным измерением, если $g(\mathbf{x}_{ij}) > 0,1$, или аномальным – в противном случае. Здесь индекс i относит измерение к моменту времени t_i , а j – к номеру выборки (серии измерений, номеру спутникового канала в СРНС). Причём для $i=1$ вычисляется медианная оценка \tilde{x}_1 , а в каждый последующий момент времени t_i она уточняется обработкой всех i, j -тых элементов выборки с весами (4), и если для $i=2$ проверка гипотезы $g(\mathbf{x}_{2j}) < 0,1$ производится для отклонения z от его счислимого значения, полученного с использованием медианной оценки \tilde{x}_1 , то для последующих робастных оценок \tilde{x}_i при вычислении счислимых значений используются предыдущие оценки \tilde{x}_{i-1} , прогнозированные к моменту t_i .

Для расчёта весовых коэффициентов вначале используется априорное значение параметра Q в диапазоне $10^{-3} - 10^{-4}$, которое затем рекуррентно уточняется в контуре адаптации.

Организация контура адаптации. В каждой j -той серии измерений (j -том канале приёма сигналов) фиксируются случаи снижения вырабатываемого веса ниже 0,1, подсчитывается их число m_j и вычисляется оценка СКП_а аномальных измерений. Для остальных измерений (нормальных) вычисляется также СКП_н, а далее отношение

$$k_j = \frac{СКП_a}{СКП_n}.$$

После окончания обработки всех серий вычисляются общие для них параметры $\varepsilon_0 = \frac{\sum m_j}{\sum n_j}$ и k_0 . Величины ε_0 и k_0 запоминаются для последующего их использования и рекуррентного уточнения в других сериях.

Основные свойства полученной робастной оценки. Сводятся к следующему:

1. Синтезированная робастная оценка получена по критерию максимального правдоподобия исходя из расширенной (введением параметров ε и k) модели засорения (с учётом принятых допущений) и представляет собой адаптивную субоптимальную оценку. Подстройка к реальным условиям измерений осуществляется в описанном выше контуре адаптации.

Субоптимальность оценки, с одной стороны, определяется ограничениями и допущениями, принятыми в исходной расширенной модели засорения выборки. С другой стороны, вместо совместного оценивания в оптимальной процедуре параметров, формирующих сдвиг в выборке из нормальной генеральной совокупности и параметров расширенной модели ε и k (свя-

занных с масштабом), принято эвристическое решение о раздельном их оценивании. Это решение оправдано не только существенным сокращением объема вычислений, но и значительным различием частотных свойств этих групп параметров (ε и k – практически константы, по крайней мере в рамках принятой модели).

2. Несмотря на то, что весовая функция этой оценки определена на всей числовой оси, вес при увеличении отклонения ε настолько быстро стремится к нулю, что по своим свойствам робастная оценка с весовой функцией (4) вплотную примыкает к классу сниженных М-оценок (по терминологии Хампеля [3]), превосходя их по эффективности при условии точной настройки параметров модели ε и k (см. таблицу).

3. Предлагаемая робастная оценка легко встраивается в традиционные для навигации линейные (линеаризованные) формы оценивания (фильтрации), например, в форме взвешенного способа наименьших квадратов:

$$\tilde{x} = (H^T G H)^{-1} H^T G \varepsilon,$$

где $G = g^T g$ – диагональная матрица квадратов весовых коэффициентов (4);

L – разность измеренных и счислимых значений вектора навигационных параметров.

4. В процессе дискретной нелинейной (робастной) фильтрации вектор состояния объекта x при регулярном обновлении измерений z , например, в задачах радионавигации (особенно спутниковой), начальное робастное (медианное) приближение достаточно выполнить один раз при инициализации навигационной задачи в аппаратуре потребителей. Последующие шаги оценивания (фильтрации) с весовой функцией (4) улучшают качество этого приближения, сохраняя робастность и не позволяя текущей оценке уклониться в сторону аномального измерения.

5. Положительным свойством предложенной робастной оценки с весами (4) является то, что при восстановлении нормального режима измерений эти новые данные немедленно войдут в обработку с «хорошими» весами (строго говоря, при условии, что постоянные времени усреднения в контуре адаптации значительно превышают интервал обновления измерений, что в реальных радионавигационных системах выполняется всегда).

Из [1,2] следует, что наилучшими характеристиками контроля целостности обладают алгоритмы фильтрационные (использующие предысторию процесса измерений для обнаружения аномального скачка, вызванного сбоем, отказом), однако они сложны в реализации из-за большого объема вычислений.

В [2] приводятся более простые в вычислительном отношении одношаговые алгоритмы, которые по качеству уступают фильтрационному [1]. При этом использование доплеровских измерений в алгоритмах обоих типов приводит к улучшению характеристик контроля целостности. Наше моделирование этот вывод полностью подтверждает.

Применительно к задаче спутниковой навигации использование уникальных свойств примыкающих доплеровских интегралов не только напрямую улучшает качество контроля целостности, но и позволяет организовать

фильтрационную задачу при снижении вычислительных затрат, связанных в стандартных процедурах фильтрации с матричными операциями. Любой линейный фильтр (в отличие от ОФК – оптимального фильтра Калмана) взвешивает прогноз и свежее измерение с заранее вычисленными весами (отвечающими принятому критерию оптимальности). В дискретном ОФК прогноз выполняется в соответствии с выражением

$$\tilde{z}_{i/i-1} = H_i \Phi_{i/i-1} \tilde{x}_{i-1}, \quad (5)$$

где $\tilde{z}_{i/i-1}$ – прогнозируемая на момент t_i оценка вектора измерений;

H_i – градиентная матрица;

$\Phi_{i/i-1}$ – матрица перехода системы из состояния в момент t_{i-1} в состояние t_i ;

\tilde{x}_{i-1} – предыдущая оценка вектора состояния (в момент t_{i-1}).

С использованием доплеровских интегралов прогноз (5) можно заменить более простым и точным (в поканальной обработке) с применением вместо вектора измерений z скаляра D (дальности)

$$\tilde{D}_{i/i-1} = \tilde{D}_{i-1} + I_{gi}. \quad (6)$$

где $\tilde{D}_{i/i-1}$ – прогнозируемые (счислиемые) значения дальности на момент очередного измерения t_i ;

\tilde{D}_{i-1} – сглаженное значение дальности (оценка), полученное в момент t_{i-1} ;

I_{gi} – доплеровский интеграл (набег фазы несущей, или приращение дальности на интервале от t_{i-1} до t_i).

Точность (6) выше, чем (5), по двум причинам:

1. В стандартном ОФК прогнозе (5) погрешность $\tilde{z}_{i/i-1}$ включает ненулевые погрешности (шумы) модели движения объекта, а в прогнозе (6) доплеровский интеграл с высокой точностью (секундные отсчеты I_g имеют СКП в доли миллиметра) воспроизводит его истинное движение.

2. Неограниченное суммирование примыкающих доплеровских интегралов (при условии непрерывности сопровождения сигнала спутника) не приводит к накоплению погрешности по той причине, что коэффициент корреляции примыкающих интегралов в точности равен $-0,5$.

Сглаживание дальностей с помощью доплеровских измерений осуществляется в классической рекуррентной форме экспоненциального БИХ линейного фильтра первого порядка астатизма

$$\tilde{D}_{i-1} = (1 - \alpha)(\tilde{D}_{i-2} + I_{gi-1}) + \alpha D_{изм}(t_{i-1}).$$

Здесь $\alpha < 1$ – коэффициент передачи фильтра.

Для формирования робастной оценки (по результатам моделирования) достаточно эффективное сглаживание дальностей происходит даже при $\alpha = 0,5$.

Вывод. Предложенная нелинейная процедура робастного оценивания (фильтрации), а также подход к её синтезу могут быть непосредственно ис-

пользованы в программном обеспечении аппаратуры потребителей наземных и особенно спутниковых радионавигационных систем и комплексной обработки информации различных по физической природе навигационных датчиков для обеспечения целостности комплексированной системы, а также при автоматизации обработки больших объемов измерительной информации с обеспечением целостности (например, в задачах уравнивания геодезических сетей или в постобработке фазовых измерений геодезических спутниковых приёмников).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гильбо Е.П., Челпанов И.Б. Обработка сигналов на основе упорядоченного выбора. М., Сов. Радио, 1976 г.
2. П.Хьюбер. Робастность в статистике. М., МИР, 1984 г.
3. Ф.Хампель и др. Робастность в статистике. Подход на основе функций влияния. М., МИР, 1989 г.
4. Дубинко Т.Ю. Нелинейные задачи при определении вектора состояния потребителя системы спутниковой навигации. Дисс. на соиск. уч. ст. к.ф.-м.н., ЛГУ, 1995 г.
5. Харисов В.Н., Карпейкин А.В. Методы нелинейной фильтрации в задаче обнаружения отказов в спутниковых радионавигационных системах // Статистический синтез радиосистем, 1996 г. №1, с. 63–67.
6. Харисов В.Н., Карпейкин А.В. Алгоритмы автономного контроля целостности СРНС по однократным измерениям // Радиотехника, 1998 г., №3, с. 85–90.

ГРНТИ 78.21.36.01

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ФОРМУЛ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ИЗ ОДНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ДРУГУЮ

А.В. КАВРАЙСКИЙ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Выполнен анализ ряда известных дифференциальных формул преобразования геодезических координат из одной системы в другую. Предложен алгоритм точного решения задачи, с помощью которого определены фактические погрешности различных формул.

В практике кораблевождения, составления и использования навигационных морских карт по-прежнему остается актуальной задача преобразования геодезических координат из одной геодезической системы (исходной ГС) в другую (требуемую ГС), поскольку сохраняется множественность применяемых систем геодезических координат. По существу — это задача такого трансформирования одной пространственной системы координат в другую, при котором положение точки относительно эллипсоида или в пространстве может быть выражено как в геодезических, так и в связанных с ними известными соотношениями прямоугольных пространственных координатах.

Такая задача преобразования координат описывается в общем случае следующими условиями.

Исходные координаты:

$\varphi_1, \lambda_1, h_1$ – геодезические широта, долгота и высота в исходной ГС.

Параметры эллипсоидов исходной (индекс 1) и требуемой (индекс 2)

ГС:

a_1, a_2 – большие полуоси эллипсоидов;

α_1, α_2 – сжатия эллипсоидов.

Элементы взаимосвязи исходной и требуемой ГС:

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – линейные элементы ориентирования (прямоугольные координаты центра исходной ГС в требуемой ГС);

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – угловые элементы ориентирования, характеризующие разворот одной пространственной прямоугольной системы относительно другой, если их оси не являются взаимно параллельными;

m – масштабный элемент, характеризующий различие линейных масштабов в двух системах координат.

Вычисляемые величины:

$\varphi_2, \lambda_2, h_2$ – геодезические широта, долгота и высота в требуемой ГС.

Далее используются также следующие обозначения и величины, относящиеся к земному эллипсоиду:

b – малая полуось;

M – радиус кривизны меридиана;

N – радиус кривизны первого вертикала;

R – радиус средней кривизны;

e^2 – квадрат первого эксцентриситета.

Точность решения задачи преобразования координат с одной стороны (и главным образом) зависит от того, насколько точно определены элементы ориентирования исходной ГС в требуемой ГС. В настоящее время погрешность определения элементов взаимного ориентирования составляет в лучшем случае 2 м для линейных элементов [1, 2] и 0,1" для угловых элементов [1].

С другой стороны, точность преобразования в определенной степени зависит от применяемых расчетных формул, в которые подставляются численные значения элементов ориентирования. На практике обычно используются т.н. дифференциальные формулы того или иного вида, по которым вычисляются малые поправки Δ в исходные геодезические координаты. Преобразованные координаты далее получают из выражений

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta\varphi; \lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda; h_2 = h_1 + \Delta h .$$

Существует много вариантов дифференциальных формул, приводимых в различных источниках [1-8]. Например, в техническом отчете Картографического агентства министерства обороны США по системе WGS-84 [8] упоминается о 13 возможных вариантах таких формул, а для практического применения рекомендованы т.н. сокращенные формулы Молоденского. Очевидно, что при решении конкретных задач возникает вопрос о целесообразности применения тех или иных формул и их методической точности.

Для решения этого вопроса следует прежде всего обратить внимание на некоторые допущения, принятые в формулах.

Так, можно выделить формулы, в которых присутствуют все три геодезические координаты (φ, λ, h) , все 7 элементов взаимосвязи двух ГС $(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \omega_x, \omega_y, \omega_z, m)$ и вычисляются все три поправки $(\Delta\varphi, \Delta\lambda, \Delta h)$, что соответствует наиболее общему случаю решения задачи. Примерами являются формулы, приведенные в руководстве "Параметры Земли 1990 г." [1] Военно-топографического управления (ВТУ) и формулы из справочного пособия Координационного научно-информационного центра (КНИЦ) [5], которые ранее были опубликованы в [6]. Такие формулы можно условно назвать «дифференциальными формулами общего вида». Эти формулы, как и любые дифференциальные формулы, являются приближенными, т.к. при их выводе в исходных уравнениях ограничиваются дифференциалами первого порядка [3]. Количественная оценка точности для формул ВТУ в [1] не приводится. Для формул КНИЦ (Герасимова) в [5] указано, что поправки в координаты вычисляются с точностью 0,3 м (хотя в [6] эта точность оценивалась в 1 мм).

На практике часто применяются дифференциальные формулы, выведенные при допущении параллельности осей пространственных прямоугольных координат двух систем и равенства θ масштабного элемента m , вследствие чего в этих формулах члены с параметрами $\omega_x, \omega_y, \omega_z, m$ отсутствуют. Примером являются т.н. «полные» формулы Молоденского [8] и формулы Морозова 1979 г., приведенные в [3]. Такие формулы можно условно назвать «дифференциальными формулами частного вида». Так, если в формулах КНИЦ принять $\omega_x = \omega_y = \omega_z = m = \theta$, то получим, как частный случай, формулы Морозова (заметим, что последние опубликованы раньше, чем формулы КНИЦ). Приводимые в специальной литературе значения угловых элементов находятся в пределах $0,2'' \dots 0,8''$, что дает оценку возможных погрешностей преобразованных координат, если предположение о параллельности осей сделано без достаточных оснований.

Наконец, формулы еще более упрощаются, если пренебречь в них геодезической высотой h , что оправдано для задач, решаемых в пределах высот поверхности океана и ближайшего побережья. По таким формулам вычисляются только две поправки – $\Delta\varphi, \Delta\lambda$. Таковы т.н. сокращенные формулы Молоденского [2], а также полученные из них путем дальнейших упрощений формулы, приведенные в ПГС-5 [7], и формулы В.П.Морозова 1969 г. [4]. Назовем такие формулы «упрощенными дифференциальными формулами». Легко убедиться, что за счет данного допущения погрешности δ вычисляемых поправок составят

$$\delta \Delta \varphi \leq (h/R) \Delta \varphi; \quad \delta \Delta \lambda \leq (h/R) \Delta \lambda .$$

Учитывая, что искомые поправки на практике не превышают в линейной мере 1000 м, для $h \leq 100$ м получим $\delta \leq 0,016$ м (для $h \leq 1000$ м $\delta \leq 0,16$ м и т.д.)

Различия в вариантах формул не ограничиваются отмеченными выше «классификационными» признаками, а связаны также с принятыми при выво-

де формул преобразованиями, иными упрощениями и использованными при этом параметрами эллипсоида вращения (как известно, эллипсоид вращения полностью определяется параметрами a и α , но в формулах могут использоваться также производные от них параметры b, e^2, M и N).

В заключение проведенного предварительного анализа отметим, что погрешности любых дифференциальных формул вблизи полюса возрастают [2], а для точки полюса эти формулы неприменимы.

Поясним основания, по которым представляется важным оценить методические погрешности различных формул.

Если руководствоваться лишь требованиями обычной навигации, то погрешности в пределах 20 м представляются приемлемыми [2, 9] и, забегая вперед, можно констатировать что такую точность обеспечат все известные варианты дифференциальных формул. Однако нельзя не учитывать другие возможные задачи, требующие получения координат с повышенной точностью: в военном кораблевождении, при съемочных работах, при демаркации границ (в последнем случае преобразование координат в другую ГС может оказаться особенно актуальным). Наконец, формулы пересчета геодезических координат из одной системы в другую используются и при выводе указанных выше семи параметров связи между двумя системами [5, 6]. Поэтому оценить предел необходимой точности представляется целесообразным исходя из реальной точности геодезических сетей. В настоящее время, по результатам переуравнивания отечественной государственной геодезической сети, точность взаимного положения её пунктов находится на уровне 30 – 50 см [5,10]. С этой позиции приемлемой может считаться вычислительная погрешность преобразования координат в пределах 3 – 5 см, однако не исключены задачи, для решения которых может потребоваться еще более высокая точность.

Существенным представляется и такое соображение: при разработке программных средств, руководящих и производственно-технических документов, включающих решение рассматриваемой задачи, должен решаться вопрос о принятии за основу тех или иных формул, что также требует обоснованной оценки их точности. В навигации и гидрографии в настоящее время предпочтение отдается формулам Молоденского [2, 7, 8], однако по этим формулам нельзя, например, перевычислять координаты из системы 1942 г. в систему Параметры Земли 1990 г. [1], т.к. они не учитывают угловые элементы трансформации.

Таким образом, вопрос о целесообразности применения для преобразования координат тех или иных формул и их методической точности является достаточно актуальным. Наиболее простой и наглядный путь его решения – проведение практического сравнения результатов расчетов по исследуемым формулам и по формулам, дающим строгое или близкое к нему решение задачи. В качестве таковых применим формулы связи двух пространственных систем координат x_1, y_1, z_1 и x_2, y_2, z_2 [1, 11] и формулы преобразования геодезических координат в пространственные прямоугольные и обратно [3, 12]. Эти формулы в совокупности описывают «пространственный» метод вычисления непосредственно преобразованных координат (а не поправок к ис-

ходным координатам, как дифференциальные формулы). Частный вариант такого метода ($\omega_x = \omega_y = \omega_z = m = 0$) под названием «трехшагового» приведен в руководстве S-60 [2] Международной гидрографической организации (МГО) для решения задачи трансформации координат вблизи полюса.

Приведем совокупность формул пространственного метода в его наиболее общем виде с внесенными в них некоторыми изменениями и дополнительными условиями, необходимыми для практических расчетов, и с оценкой их точности (угловые величины в формулах выражены в радианах).

1. Вычисление прямоугольных координат в исходной ГС [3].

$$e_1^2 = \alpha_1(2 - \alpha_1); \quad (1)$$

$$N_1 = \frac{a_1}{\sqrt{1 - e_1^2 \sin^2 \varphi_1}}; \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= (N_1 + h_1) \cos \varphi_1 \cos \lambda_1; \\ y_1 &= (N_1 + h_1) \cos \varphi_1 \sin \lambda_1; \\ z_1 &= (N_1 + h_1 - N_1 e_1^2) \sin \varphi_1. \end{aligned} \right\}; \quad (3)$$

Все формулы (1–3) являются строгими.

2. Преобразование пространственных прямоугольных координат из исходной ГС в требуемую.

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2'' \\ z_2 \end{pmatrix} = (1 + m) \begin{pmatrix} 1 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 1 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}; \quad (4)$$

$$y_2 = y_2', \text{ если } |y_2'| \geq 0,001 \text{ м}; \quad y_2 = 0,001 \text{ м, если } |y_2'| < 0,001 \text{ м}.$$

Введенное условие вычисления y_2 необходимо далее для избежания нулевого значения y_2 в знаменателе при вычислении долготы (в этом маловероятном случае в расчеты будет внесена несущественная дополнительная погрешность 1 мм).

При выводе формулы (4) сделаны следующие допущения: $\sin \omega_i = \omega_i$, $\cos \omega_i = 1$ [12]. Полагая, что $\omega_i \leq 1''$, а величины x_1, y_1, z_1 не превышают 7 000 000 м, найдем, что линейная погрешность положения точки в реальном пространстве за счет приближений, допущенных в формуле (4), составит не более 1 мм.

Для избежания значительно больших ошибок при вычислениях по формуле (4), равно как и по дифференциальным формулам общего вида, содержащим угловые элементы, следует иметь в виду, что в специальной литературе встречаются две модели определения угловых элементов. В случае применения 1-й модели знаки в формулах при членах, содержащих ω_i , таковы, как указано, например, в [1] и [6], а при другой модели противоположны им (например, в [5, 12, 14]). Соответственно различаются и знаки численных значений угловых элементов, рассчитанных по двум различным моделям для

конкретного случая преобразования (сравним например, значения $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ для преобразования координат из Системы 1942 г. в Систему ПЗ-90, приведенные в [1], с соответствующими значениями в [5, 14]). Таким образом, независимо от модели, результат вычисления преобразованных прямоугольных координат будет один и тот же, а во избежание ошибок необходимо убедиться, что формулы и численные значения элементов ориентирования относятся к одной модели. Потенциальную возможность таких ошибок можно проиллюстрировать на примере материалов журнала «Геодезия и картография» №11 за 1993 г. Здесь в статье [6] приведены формулы, соответствующие 1-й модели, а в статье [14] параметры связи координат, соответствующие 2-й модели.

3. Вычисление геодезических координат в требуемой ГС.

3.1. Вычисление широты.

$$e_2^2 = \alpha_2(2 - \alpha_2); \quad (5)$$

$$r = \sqrt{x_2^2 + y_2^2}; \quad (6)$$

$$\theta = \arctg \frac{z_2}{(1 - \alpha_2)r}; \quad (7)$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{\frac{e_2^2}{\sqrt{1 - e_2^2}} a_2 \sin^3 \theta + z_2}{r - a_2 e_2^2 \cos^3 \theta}. \quad (8)$$

Вывод формул (7), (8) приведен в [3] со ссылкой на работу Боуринга (Survey Review, XXIII, 181, July 1976), но в окончательной формуле в [3] допущена ошибка: в числителе вместо квадрата второго эксцентриситета e'^2

следует поставить выражение $\frac{e^2}{\sqrt{1 - e^2}}$, или вместо a поставить b , что вытекает

из предшествующих выкладок (данная ошибка отмечена также в [13]). Формулы Боуринга позволяют вычислять геодезическую широту с точностью 0,0001" (3 мм на местности) при геодезических высотах до 700 км [3].

Можно полагать, что для интересующих нас высот погрешности будут ещё меньше. Заметим, что в руководстве МГО S-60 широта в «трехшаговом методе» вычисляется по формулам, очень похожим на формулы Боуринга (источник не указан), но путем последовательных приближений.

3.2. Вычисление геодезической долготы.

$$\lambda_2 = \arctg \frac{x_2}{|y_2|}, \text{ если } y_2 > 0; \lambda_2 = -\arctg \frac{x_2}{|y_2|}, \text{ если } y_2 < 0. \quad (9)$$

Формулы (9) являются строгими, а принятые в них условия обеспечивают автоматическое вычисление долготы в полукруговом исчислении, принятом в морской картографии и навигации (в руководстве S-60 [3] и в [2] долгота вычисляется по формуле $\lambda = \arctg(y/x)$, что дает результат только в пределах от -90° до $+90^\circ$, а нужно от -180° до $+180^\circ$).

3.3. Вычисление геодезической высоты [12] (строгая формула).

$$h_2 = z_2 \sin \varphi_2 + r \cos \varphi_2 - a_2 \sqrt{1 - e_2^2 \sin^2 \varphi_2}. \quad (10)$$

3.4. При необходимости вычисляются поправки к исходным координатам

$$\Delta \varphi = \varphi_2 - \varphi_1, \Delta \lambda' = \lambda_2 - \lambda_1 \left| \begin{array}{l} \Delta \lambda = \Delta \lambda', \text{ если } \pi \geq \Delta \lambda' \geq -\pi, \Delta h = h_2 - h_1. \\ 2\pi + \Delta \lambda', \text{ если } \Delta \lambda' < -\pi, \\ \Delta \lambda' - 2\pi, \text{ если } \Delta \lambda' > \pi. \end{array} \right. \quad (11)$$

Введенные условия вычисления $\Delta \lambda$ исключают ошибки, возможные вблизи меридиана $\pm 180^\circ$ – линии разрыва непрерывного счета долгот.

Из приведенных точностных характеристик следует, что погрешности преобразования координат по пространственным формулам (1) – (10) не превышают единиц миллиметров (при вычислениях необходимо использовать 11 значащих цифр). Учитывая также введенные в них условия можно сказать, что данные формулы обеспечивают универсальное решение задачи для всей поверхности земного шара, с точностью, достаточной, в обозримом будущем, для любых практических и исследовательских целей. Эти формулы могут быть использованы в качестве эталонных для оценки точности дифференциальных формул.

В соответствии с предложенной выше классификацией дифференциальных формул пространственные формулы также могут быть приведены к упрощенному частному виду если в формулы (3) подставить $h = 0$, в формулу (4) $\omega_x = \omega_y = \omega_z = m = 0$, а для вычисления широты вместо формул (7), (8) применить простейшую формулу

$$\varphi_2 = \arctg \frac{z_2}{r(1 - e_2^2)}, \quad (12)$$

которая легко выводится из соотношения геоцентрической и геодезической широт [3] и является строгой для случая, когда точка с координатами x_2, y_2, z_2 находится на поверхности эллипсоида. Поскольку в результате преобразования координат x_1, y_1, z_1 такой случай практически невозможен, при вычислениях допускается погрешность за счет пренебрежения высотой. Долгота λ_2 в этом методе вычисляется по формулам (9), а геодезическую высоту вычислять не требуется.

Оценка точности дифференциальных (а также упрощенных пространственных) формул проводилась с помощью точных пространственных формул (1)–(10), принятых за эталонные, по следующей методике.

Для расчетов использовались две модели взаимосвязи геодезических систем – предельная (гипотетическая) модель и реальная модель.

В предельной модели использовались исходная (1-я) геодезическая система с параметрами эллипсоида $a_1 = 6378388 \text{ м}$, $\alpha_1 = 1 : 301$ и требуемая (2-я) система с параметрами эллипсоида $a_2 = 6377276 \text{ м}$, $\alpha_2 = 1 : 293$. Для элементов взаимосвязи двух систем были приняты величины

$$\Delta x = \Delta y = \Delta z = 1000 \text{ м}; \quad \omega_x = \omega_y = \omega_z = 1''; \quad m = 0,3 \cdot 10^{-6}.$$

Учитывая данные упоминавшихся выше источников [1–3], такие величины элементов взаимосвязи, а также разностей $a_2 - a_1$ и $\alpha_2 - \alpha_1$ для существующих геодезических систем являются практически предельными.

В качестве реальной модели приняты параметры преобразования из системы координат 1942 г. в Североамериканскую систему координат 1927 г., полученные по данным из [2, 5]: $a_1 = 6378245 \text{ м}$; $\alpha_1 = 1 : 298,3$; $a_2 = 6378206,4 \text{ м}$; $\alpha_2 = 1 : 294,979$; $\Delta x = 33$; $\Delta y = -301$; $\Delta z = -255 \text{ м}$; $\omega_x = 0''$; $\omega_y = 0,35''$; $\omega_z = 0,866''$; $m = 0$.

В качестве оценочной величины d методической погрешности преобразования координат принималось линейное расстояние между точкой, полученной в результате преобразования координат по исследуемым формулам, и контрольной точкой. Для получения последней применялись два способа. Согласно первому, координаты контрольной точки вычислялись по формулам точного пространственного метода, принятого за эталонный (оценочная величина d_3). Второй способ был применен для дополнительного независимого контроля принятого метода оценки точности. Для этого выполнялось прямое (из 1-й ГС во 2-ю) преобразование, полученные координаты преобразовывались обратно в 1-ю ГС и за контрольную точку принималась исходная точка с координатами $\varphi_1, \lambda_1, h_1$ в 1-й ГС (оценочная величина d_1). Очевидно, что такой способ позволяет вычислять погрешности и для самих «эталонных формул». Для расчетов использовалась сеть точек, образованная пересечением параллелей $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 85^\circ, 89^\circ, 89,9^\circ, -30^\circ, -60^\circ, -85^\circ$ и меридианов $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 150^\circ, 180^\circ, -45^\circ, -90^\circ, -150^\circ$, распределенная таким образом по всей поверхности земного эллипсоида (для пространственных формул дополнительно произведены расчеты d_1 в точке полюса). Геодезическая высота h_1 принималась равной 1000 м для экстремальной модели и 100 м для реальной модели. При оценке формул, отнесенных к частному виду, в моделях принималось $\omega_x = \omega_y = \omega_z = m = 0$, т.к. оценивалась только методическая точность формул, а не правомерность гипотезы о параллельности осей двух систем. Для упрощенных формул частного вида расстояния d_3 до контрольной точки вычислялись по парам координат φ, λ (полученная по пространственным формулам высота h_2 не учитывалась).

Оценка методической точности производилась для следующих вариантов формул (условные названия):

1. Формулы ВТУ [1];
2. Формулы КНИЦ [5];
3. Полные формулы Молоденского [8];
4. Сокращенные формулы Молоденского [2];
5. Формулы Морозова 1969 г. [4];
6. Формулы ПГС-5 [7];

7. Упрощенные пространственные формулы частного вида, предложенные выше.

Результаты расчетов d_3 приведены в табл.1. Для каждой позиции таблицы показано наибольшее значение d_3 из соответствующей серии.

Таблица 1

Значения d_3 (в метрах)

Условные наименования формул	Предельная модель		Реальная модель		
	Широты		Широты		
	0°...± 85°	89°	0°...± 85°	89°	89,9°
Формулы ВТУ	3,22	10,80	1,24	0,96	4,92
Формулы КНИЦ	2,27	10,30	0,10	0,48	4,79
Полные формулы Молоденского	2,25	10,20	0,12	0,47	4,75
Сокращенные формулы Молоденского	2,02	10,10	0,42	0,44	4,75
Формулы Морозова 1969 г.	2,23	10,10	0,12	0,47	4,73
Формулы ПГС-5	11,80	16,40	2,67	2,44	5,66
Упрощенные пространственные формулы	10,60	0,53	1,74	0,05	0,05

Заметно большее значение погрешности формул ПГС-5 объясняется принятым в них допущением $M = N = R$, что дает дополнительную относительную погрешность около 0,005. Видно также, что погрешности упрощенных пространственных формул с приближением к полюсу убывают. В этой связи отметим, что применение формулы (12) означает вычисление широты на поверхности эллипсоида концентрического и соосного по отношению к эллипсоиду требуемой

системы (a_2, α_2) , но имеющего большую полуось, отличающуюся от a_2 . Очевидно, что с приближением к полюсу расхождение нормалей, проведенных из одной точки к поверхностям таких двух эллипсоидов, стремится к 0.

Таблица 2

Значения d_1 для предельной модели (в метрах)

Условные наименования формул	Широта	
	0°... ± 85°	90°
Формулы ВТУ	4,29	—
Формулы КНИЦ	4,45	—
Полные формулы Молоденского	4,38	—
Сокращенные формулы Молоденского	4,47	—
Формулы Морозова 1969 г.	4,48	—
Формулы ПГС-5	4,51	—
Упрощенные пространственные формулы	0,60	0,51
Точные пространственные формулы	0,0006	0,0008

В табл.2 приведены наибольшие значения d_1 в широтах 0°... ± 85° для всех формул и в широте 90° для пространственных формул. Способ получения d_1 (вычисления «туда и обратно») нельзя считать строгим методом оценки точности расчетных формул и это видно из сравнения d_1 и d_3 (предельная модель) для формул ПГС-5 и упрощенных пространственных. В то же время данные табл.2 подтверждают величины d_3 для прочих формул и не противоречат теоретической оценке погрешностей точных пространственных формул.

Выводы и предложения.

1. Рассмотренные варианты дифференциальных формул для преобразования координат из одной геодезической системы в другую по точности отвечают требованиям морской навигации, за исключением околополюсных районов ($|\varphi| > 89^\circ$). Однако возможны задачи, для решения которых точность этих формул может оказаться недостаточной.

2. Точные пространственные формулы преобразования координат обеспечивают решение задачи для всей поверхности земного шара с погрешностью не более единиц миллиметров и могут быть рекомендованы в качестве стандартных при разработке программного обеспечения средств навигации и гидрографии.

3. Целесообразно установить стандартную модель определения всех элементов ориентирования, например ту, которая применена в формулах из Руководства ВТУ [1].

4. Для следующего издания руководства S-60 можно было бы рекомендовать:

- в разделе 2 для полярного района привести упрощенные пространственные формулы в том виде, как они были определены выше, т.к. эти формулы значительно проще, чем приведенные в нынешнем издании, не требуют итераций и в широтах выше 85° не менее точны, чем принятые для «не полярных районов» сокращенные формулы Молоденского.

- для программы, прилагаемой к S-60, использовать один универсальный алгоритм на основе точных пространственных формул вида (1) – (11)*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Параметры общего земного эллипсоида и гравитационного поля Земли («Параметры Земли 1990 года»). – М.: ВТУ ГШ, 1991. 68с.
2. Users Handbook on Datum Transformations involving WGS – 84 (IHO Publication S–60). 1994.
3. Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии.– М.: Недра, 1979. 296с.
4. Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии.– М.: Недра, 1969.
5. Справочный документ «Параметры Земли 1990 года» (подготовлен Топографической службой МО РФ), М.: Координационный научно-информационный центр, 1998. 44 с.
6. Герасимов А.П., Ефимов Г.Н., Насретдинов К.К. Совместное уравнивание астрономо-геодезической и космических сетей // Геодезия и картография, 1993, N 11. С.23.
7. Правила гидрографической службы N 5, часть 1, ГУНиО МО, 1989.
8. Defence Mapping agency. Technical Report 8350.2–B, 1987.
9. Информационное письмо Главморинспекции Департамента морского транспорта РФ, N ГМИ–01/14–211, 1993.
10. Базлов Ю.А., Галазин В.Ф., Каплан Б.Л. и др. Анализ результатов совместного уравнивания астрономо-геодезической, доплеровской и космической геодезических сетей. // Геодезия и картография, 1996, N 7. С. 26 – 37.
11. Медведев Г.А. Исследование рекуррентных формул для вычисления широты при переходе от пространственных прямоугольных координат к геодезическим. Часть 1.// Геодезия и картография, 1994, N 6. С. 8 –14.
12. Пеллинен Л.П. Высшая геодезия. – М.: Недра, 1978. – 264 с.
13. Портнов А.М. По поводу формул Боуринга. // Известия ВУЗ, Геодезия и аэрофотосъемка, 1986, N 2. С. 115 – 116.

* Соответствующие замечания и предложения были направлены от имени начальника ГУ-НиО МО РФ в адрес МГО в июне 1998 г. и в апреле 1999 г.

14. Бойков В.В., Галазин В.Ф., Каплан Б.Л. и др. Опыт создания геоцентрической системы координат ПЗ – 90 // Геодезия и картография, 1993, N 11. С. 17 – 21.

ГРНТИ 78.21.41.19

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАВИГАЦИОННОГО СТВОРА

Б.Е.ИВАНОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Согласно [1], средняя квадратическая погрешность (СКП) определения места, в отличие от эллипса погрешностей, может быть оценена при любом законе распределения погрешностей навигационных параметров. СКП определения места M по двум навигационным параметрам в соответствии с [2] определяется как

$$M = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{m_1^2 + m_2^2 - 2 r m_1 m_2 \cos \theta}, \quad (1)$$

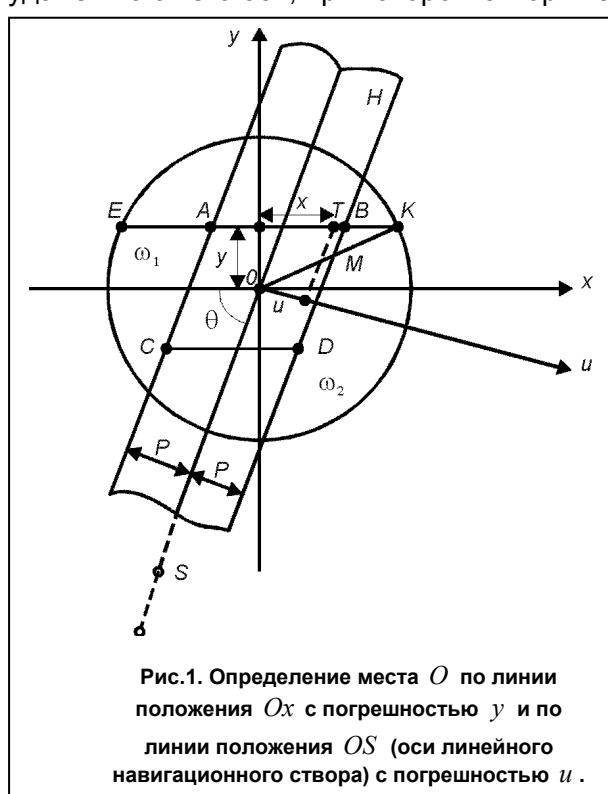
где m_1 и m_2 – СКП первой и второй линии положения соответственно;
 r – коэффициент корреляции погрешностей навигационных параметров;
 θ – угол между градиентами навигационных параметров.

Формула (1) получена независимо от вида закона распределения погрешностей навигационных параметров. Поэтому она может использоваться при любых законах распределения погрешностей.

В случае, когда одна из линий положения, например, вторая, представляет собой ось линейного навигационного створа, случайная погрешность места корабля по перпендикуляру к оси створа подчиняется равномерному распределению, а СКП этой линии положения равна [3]

$$m_2 = \frac{P}{\sqrt{3}}, \quad (2)$$

где P – боковое уклонение от оси створа, соответствующее максимальному удалению от его оси, при котором створные знаки видны на одной вертикали.



В более поздней работе [4] для m_2 приводится другая формула

$$m_2 = P, \quad (3)$$

что ошибочно, т.к. величина P является не СКП, а предельной погрешностью второй линии положения.

Когда погрешности линий положения подчиняются нормальному распределению, то изолинией плотности распре-

ления является эллипс, вероятность нахождения места в среднем квадратическом эллипсе равна 0,39, а вероятность нахождения места в круге с радиусом, равным M , изменяется от 0,63 до 0,68 [2].

Рассмотрим, как изменяются эти вероятностные характеристики при использовании линейного навигационного створа. Пусть в точке O место корабля определяется по двум навигационным параметрам, погрешности которых независимы (рис.1). Первый навигационный параметр не конкретизируется, случайное смещение y его линии положения Ox имеет плотность распределения $f_1(y)$. Линия положения второго навигационного параметра представляет собой ось линейного навигационного створа OS . Погрешность второй линии положения является случайным боковым уклонением u , которое в соответствии с работой [3] подчиняется равномерному распределению.

На основе теоремы умножения вероятностей [5] с учетом влияния угла пересечения линий положения согласно [6] плотность распределения $\varphi(x, y)$ погрешности определения места в прямоугольной системе координат может быть получена в виде

$$\varphi(x, y) = \frac{\sin \theta}{2P} f_1(y). \quad (4)$$

Плотность распределения $\varphi(x, y)$ имеет область существования в пределах полосы H с учетом пределов существования погрешности y . Изолиния плотности распределения погрешности определения места представляет собой отрезок AB . Последний и симметричный ему отрезок CD являются сторонами параллелограмма, который представляет собой фигуру погрешности – аналог эллипса. Вероятность P_{II} нахождения места в таком параллелограмме выражается зависимостью

$$P_{II} = \int_{-y}^y f_1(y^*) dy^*, \quad (5)$$

где y^* – текущее значение координаты y .

В случае, когда погрешность y будет подчиняться нормальному распределению, формула (5) примет вид

$$P_{II} = 2\Phi\left(\frac{y}{m_1}\right),$$

где $\Phi\left(\frac{y}{m_1}\right) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{y/m_1} e^{-\frac{y^{*2}}{2}} dy$ – значение интеграла вероятности при аргументе $\frac{y}{m_1}$.

В этом случае при $y = m_1$, будем иметь $P_{II} = 0,68$. Такая вероятность в 1,7 раза больше вероятности нахождения места в среднем квадратическом эллипсе погрешностей.

Оценим вероятность нахождения места в круге с радиусом, равным СКП определения места. Такая задача решается в двух вариантах: когда круг не выходит за пределы полосы H и когда он находится в ее пределах. Для того, чтобы определить к какому варианту относится то или иное решение, необходимо в равенство (1) подставить формулу (2), а вместо M поставить P . Тогда получим граничное отношение СКП первой линии положения к боковому уклонению от оси створа

$$\frac{m_1}{P} = \sqrt{\sin^2 \theta - \frac{1}{3}}. \quad (6)$$

Из этой формулы следует, что круг с радиусом M не выйдет за пределы полосы H , если угол θ будет больше $35,3^\circ$ и отношение m_1/P будет меньше граничного значения, вычисленного по формуле (6).

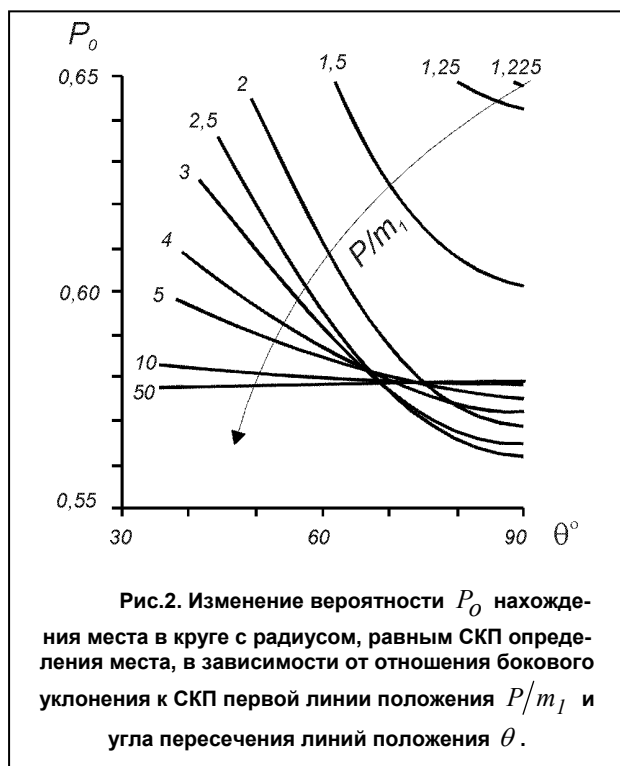
Рассмотрим первый вариант, когда $M \leq P$. В этом варианте вероятность P_o нахождения места в круге с радиусом M равна двукратному интегралу от функции $\varphi(x, y)$ по площади круга с радиусом M . Для выражения этого интеграла используется формула (4) и длина хорды EK (см.рис.1), которая равна $2\sqrt{M^2 - y^2}$. Проинтегрировав его по переменной x , получим

$$P_o = \frac{\sin \theta}{P} \int_{-M}^M \sqrt{M^2 - y^2} f_1(y) dy. \quad (7)$$

Во втором варианте, когда $M > P$, вероятность P_o^* нахождения места в круге с радиусом M оценивается по формуле

$$P_o^* = P_o - \Delta P,$$

где ΔP – приращение вероятности, соответствующее сегментам ω_1 и ω_2 , выступающим за пределы полосы H (см.рис.1).



Величина ΔP равна интегралу от функции $\varphi(x, y)$ по площади сегментов ω_1 и ω_2 и может быть определена путем численного интегрирования.

Для нормального распределения погрешности первой линии положения по формуле (7) вычислены значения вероятности P_o .

Из расчетов следует, что вероятность P_o изменяется от

0,56 до 0,65 (рис.2). Это на 5–10 % меньше, чем в случае, когда погрешности обеих линий положения подчиняются нормальному распределению. При неограниченном возрастании P/m_1 вероятность P_o приближается к $\frac{1}{\sqrt{3}}$ и становится независимой от θ .

Снижение вероятности нахождения места в круге и увеличение вероятности нахождения места в параллелограмме объясняются тем, что плотность распределения погрешности определения места вдоль оси x постоянна.

Используя полученные зависимости, можно также оценить вероятность нахождения места в круге, радиус которого в k раз больше СКП определения места. Для этого достаточно в эти зависимости подставить kM вместо M .

Формула (2) получена при условии постоянства горизонтального критического угла створа, а, следовательно, и постоянства бокового уклонения P от оси створа. В то же время известно, что горизонтальный критический угол не является постоянной величиной [7]. Следовательно, связанное с этим углом боковое уклонение может считаться случайной величиной, что и отмечено в работе [8]. Такое положение более правильно отражает реальный процесс определения места. Однако, в этом случае оценка точности определения места существенно усложнится. Рассматривая боковое уклонение как случайную величину и основываясь на формуле (3), в работе [8] предлагается зависимость

$$m_2 = P + M_p, \tag{8}$$

где M_p – среднее квадратическое отклонение бокового уклонения от оси створа.

Представляется, что формула (8) не соответствует сущности рассматриваемого процесса, т.к. включение в ошибочную формулу (3) величины M_p просто привело к появлению новой неверной зависимости. Корректное решение рассматриваемой задачи приводится ниже.

Пусть координата u соответствует случайному боковому уклонению (рис.3). Предположим, что известен закон распределения горизонтального критического угла. Тогда с учетом линейной зависимости согласно [4] можно получить плотность распределения $\psi(u)$ бокового уклонения, которая ограничена в пределах оси u от u_F до u_N и имеет параметр положения (в частном случае – координату центра рассеивания) u_G .

Плотность распределения погрешности второй линии положения $f_2(u)$ будет зависеть от плотности распределения

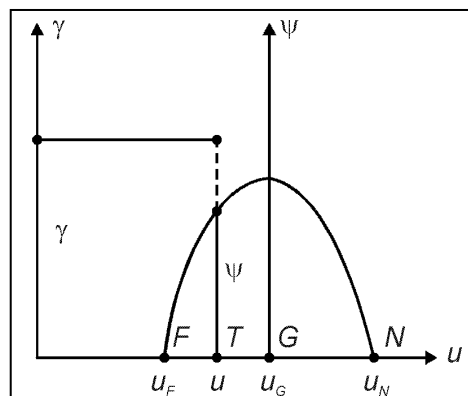


Рис.3. Изменение плотности распределения бокового уклонения ψ и условной плотности распределения γ в зависимости от погрешности второй линии положения u .

$\psi(u)$ и условной плотности распределения погрешности определения места

$$\gamma(u) = 1/2u.$$

Тогда с учетом формулы полной вероятности [5] получим выражение плотности распределения погрешности второй линии положения

$$f_2(u) = \frac{1}{2} \int_u^{u_N} \frac{1}{u^*} \psi(u^*) du^*, \quad (9)$$

где u^* – текущее значение координаты u .

Формула (9) определяет значения $f_2(u)$ при $u_F < u \leq u_N$. Значение $f_2(u)$ при $u \leq u_F$ может быть найдено по формуле (9) при изменении нижнего предела интегрирования u на u_F .

Зная плотность распределения погрешности, можно согласно [5] получить СКП второй линии положения и, подставив ее значение в формулу (1), оценить СКП определения места. В рассматриваемом случае изолиния плотности распределения погрешности определения места будет представлять собой овал с двумя параллельными отрезками, находящимися в пределах от $-u_F$ до $+u_F$.

В качестве примера оценим СКП второй линии положения при использовании параболического распределения с плотностью распределения [9]

$$\psi(u) = 6(u - u_F)(u_N - u)(u_N - u_F)^{-3}. \quad (10)$$

Подставив выражение (10) в формулу (9), после преобразования получим

$$m_2 = \sqrt{\frac{1}{(u_N - u_F)^3} \left[\frac{1}{10}(u_N^5 - u_F^5) - \frac{1}{6}u_N u_F (u_N^3 - u_F^3) \right]}. \quad (11)$$

По формуле (11) были вычислены нормированные значения СКП второй линии положения m_2/u_G .

Видно (рис.4), что при уменьшении интервала $u_N - u_F$ параболического распределения СКП второй линии положения уменьшается и при $u_N - u_F = 0$ становится равной величине, выраженной формулой (2).

Кроме того СКП второй линии положения оценивалась с помощью метода статистических испытаний. С использованием зависимости для генерирования случайных чисел, подчиняющихся параболическому распределению [9], получено выражение случайного бокового уклонения

$$u = u_G + (u_N - u_F) [\ln(R_1 R_2) / \ln(R_3 R_4 R_5 R_6) - 0,5], \quad (12)$$

где R_i – i -ое равномерно распределенное случайное число в пределах от 0 до 1 ($i=1, 2, 3, 4, 5, 6$).

По формуле (12) определены 20 совокупностей случайной величины u . Используя эти совокупности согласно [5] были вычислены значения СКП второй линии положения. Видно (см.рис.4), что полученные по формулам (11) и (12) результаты достаточно близки друг к другу.

Для подтверждения ошибочности уже отмеченных положений работы [8], согласно [9], оценено среднее квадратическое отклонение M_p параболического распределения. Далее по формуле (8) вычислена СКП второй линии положения и оценена относительная погрешность δ этой формулы (см.рис.4). Видно, что при вычислении по формуле (8) величина СКП второй линии положения будет иметь относительную погрешность от 75 до 130 % (см.рис.4). Это еще раз подтверждает ошибочность формулы (8).

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что предложенный метод оценки точности определения места с использованием навигационного створа существенно отличается от традиционных способов, когда погрешности выработки навигационных параметров подчиняются нормальному распределению. Указанные особенности следует учитывать при оценке точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин А.И., Иванов Б.Е. О средней квадратической погрешности определения места и обозначающих ее терминах // Навигация и гидрография.– 1998.–№ 6. – С.33–38.
2. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения.–М.:Транспорт,1969. –256 с.
3. Практическое кораблевождение для командиров кораблей, штурманов и вахтенных офицеров. Кн.1. N 9035.1 / Отв.ред. А.П.Михайловский. – Л.: ГУ-НиО МО, 1988. – 896 с.
4. Инструкция по навигационному оборудованию (ИНО–89). – Л.: ГУНиО МО, 1990. – 304 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Изд.2-е, перераб. и доп. – М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.
6. Каврайский В.В. Избранные труды. Т.1. Астрономия и геодезия.– Л.: УНГС ВМФ,1956.– 358 с.
7. Алексеев В.В. Навигационные створы. Их теория и расчеты.– Л.: УНГС ВМФ,1959. – 172 с.
8. Родичкин Н.И. Теория и методика проектирования линейных навигационных створов с заданной вероятностью безопасности плавания и ее приложения.Ч.2. – СПб.: ВВМУ, 1997. – 77 с.
9. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: ВМА, 1996. – 282 с.

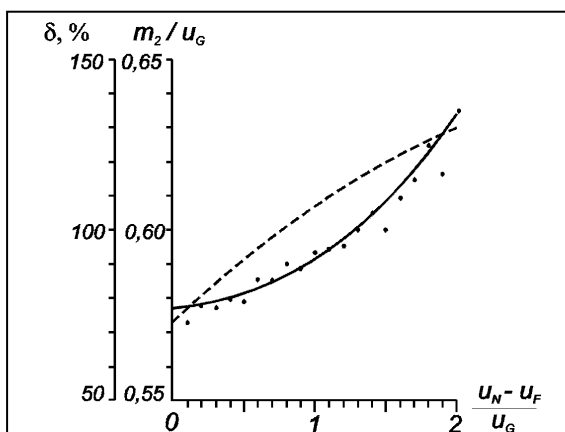


Рис.4. Изменение нормированной СКП второй линии положения m_2/u_G (сплошная линия) и относительной погрешности вычисления по формуле (8) δ (штриховая линия) в зависимости от нормированного интервала параболического распределения $(u_N - u_F)/u_G$. Точками обозначены значения m_2/u_G , полученные методом статистических испытаний.

ГРНТИ
78.21.37.15.01:78.21.41.19

О ВЛИЯНИИ ЗАКОНА РАС- ПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ И НАВИГАЦИОННЫХ ПАРА-

МЕТРОВ

**НА ДОВЕРИТЕЛЬНУЮ ВЕРОЯТНОСТЬ ОЦЕНКИ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ**

А.И.СОРОКИН
(ИНОЗ РАН)

Рассмотрены вопросы оценки точности арифметического среднего при реальном, отличном от нормального, законе распределения погрешностей измерений навигационного параметра. С этой целью получены два варианта обобщенного закона Стьюдента для случая, когда генеральная совокупность погрешностей имеет отличный от нуля эксцесс, но с уменьшением последнего стремится к нормальному распределению. Результаты применения полученных обобщений закона Стьюдента к оценке точности арифметического среднего сравнены между собой, а также с результатами, полученными ранее другим автором при использовании иного варианта обобщения того же закона. Показано, что при одном и том же значении эксцесса применение различных вариантов обобщений приводит к существенно различным результатам.

На основании изложенного делается вывод о целесообразности определения (в процессе наблюдений) характеристик реального закона распределения погрешностей, что представляется возможным при современном уровне развития навигационных систем.

При выполнении океанографических исследований обычно возникает потребность в отыскании погрешности замены математического ожидания его средним арифметическим значением с использованием оценки СКП, полученной по отклонениям измеренных величин от их среднего значения. С увеличением числа наблюдений n закон Стьюдента, которому подчиняется распределение отклонений арифметического среднего от математического ожидания, приближается к закону Гаусса, совпадая с последним при $n = \infty$. Однако, при малом числе наблюдений, что обычно и имеет место на практике, результаты, полученные с применением этих законов, существенно различаются.

Более того, необходимо учитывать, что в действительности генеральная совокупность случайных погрешностей наблюдений обычно не подчиняется строго и закону Гаусса, обладая, как правило, некоторой асимметрией и эксцессом [1]. В этом случае погрешность арифметической середины будет подчинена уже не закону Стьюдента, а некоторому его обобщению. Вид этого обобщения зависит от принятого закона распределения генеральной совокупности, выступающего в качестве некоторого обобщения нормального закона.

Рассмотрим степень влияния выбора закона распределения генеральной совокупности на результаты, получаемые при использовании соответствующего обобщения закона Стьюдента, ограничившись для краткости симметричным распределением с ненулевым эксцессом.

Прежде всего воспользуемся ранее полученными результатами [2], основанными на принятии в качестве закона генеральной совокупности распределения Эджворта. Отсылая интересующихся выводом обобщенного закона Стьюдента к первоисточнику, воспользуемся лишь результатами численного примера, которые приведены в сводной таблице.

Кроме того, рассмотрим два других распределения с ненулевым эксцессом, обращающихся в нормальное при уменьшении эксцесса до нулевого значения.

Во-первых, воспользуемся распределением Грама-Шарлье [3, 4]

$$p(z) = \Phi'(z) + \sum_{n=3}^{\infty} \frac{(-1)^n C_n}{\sqrt{n!}} \Phi^{(n+1)}(z), \quad (1)$$

где z – случайная погрешность;

$\Phi^{(n+1)}(z)$ – $(n+1)$ -я производная функции Лапласа;

$$C_4 = \frac{1}{\sqrt{4!}} \left(\frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3 \right);$$

μ_4 – четвертый центральный момент распределения погрешности;

σ – средняя квадратическая погрешность.

Поставим условием, чтобы $C_3 = C_5 = C_6 = \dots = C_{\infty} = 0$.

Обобщенному закону Стьюдента в этом случае будет соответствовать закон распределения величины

$$t = \frac{z\sqrt{k}}{\sqrt{v}}, \quad (2)$$

где v и z независимые величины, z распределена в соответствии с формулой (1), а v распределена по закону χ^2 с k степенями свободы

$$p(v) = \frac{1}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} e^{-\frac{v}{2}} v^{\frac{k}{2}-1}, \quad (3)$$

где $\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)$ – центральный момент.

Найдем плотность вероятности и функцию распределения величины t . Подставим в формулу (1) соответствующие значения C_i и, обозначая эксцесс буквой E , получим

$$p(z) = \Phi'(z) + \frac{E}{\sqrt{4!}} \Phi^{(5)}(z)$$

или

$$p(z) = f(z) + \frac{E}{\sqrt{4!}} f^{(5)}(z), \quad (4)$$

где $f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$ – плотность нормального распределения.

Подставим в уравнение (4) значение пятой производной функции Лапласа

$$p(z) = f(z) + \frac{E}{\sqrt{4!}} (3 - 6z^2 + z^4) f(z).$$

Для определения плотности совместного распределения величин v и z перемножим, вследствие независимости, их плотности $p(v)$ и $p(z)$

$$p(v, z) = p(v) \cdot p(z) = (a_1 + a_2 z^2 + a_3 z^4) e^{-\frac{z^2}{2} - \frac{v^2}{2}} v^{\frac{k}{2} - 1},$$

где

$$a_1 = \left(1 + \frac{3E}{\sqrt{4!}}\right) b;$$

$$a_2 = -\frac{6Eb}{\sqrt{4!}};$$

$$a_3 = \frac{Eb}{\sqrt{4!}};$$

$$b = \frac{1}{\sqrt{2\pi} 2^{\frac{k}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}.$$

Правая часть полученного выражения является суммой трех слагаемых, каждое из которых можно записать как

$$p_i(v, z) = a_i \cdot z^n e^{-\frac{z^2}{2} - \frac{v^2}{2}} v^{\frac{k}{2} - 1},$$

где $n = 2(i - 1)$.

Таким образом

$$p(v, z) = \sum_{i=1}^3 a_i z^n e^{-\frac{z^2}{2} - \frac{v^2}{2}} v^{\frac{k}{2} - 1}. \quad (5)$$

Для получения функции распределения величины t возьмем двойной интеграл по переменным v и z

$$S_k(x) = \iint_{(D)} \sum_{k=1}^3 a_i z^n e^{-\frac{z^2}{2} - \frac{v^2}{2}} v^{\frac{k}{2} - 1} dv dz.$$

Область интегрирования D найдем из условия $t \leq x$.

Подставляя значение t , получим $\frac{z\sqrt{k}}{\sqrt{v}} \leq x$,

откуда $z \leq \frac{x\sqrt{v}}{\sqrt{k}}$.

Таким образом

$$S_k(x) = \sum_{i=1}^3 a_i \iint_{\substack{z \leq \frac{x\sqrt{v}}{\sqrt{k}} \\ z \leq \frac{x^2}{\sqrt{k}}}} z^n e^{-\frac{z^2}{2} - \frac{v}{2}} v^{\frac{k}{2}-1} dv dz .$$

Произведя двойное интегрирование сначала по z – от $-\infty$ до $\frac{x\sqrt{v}}{\sqrt{k}}$, а затем по v – от 0 до ∞ , имеем

$$S_k(x) = \sum_{i=1}^3 a_i \int_0^{\infty} v^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{v}{2}} dv \int_{-\infty}^{\frac{x\sqrt{v}}{\sqrt{k}}} z^n e^{-\frac{z^2}{2}} dz .$$

Дифференцируя по x последнее выражение под знаком интеграла, получим искомую плотность вероятности

$$\begin{aligned} S'_k(x) &= S_k(x) = \sum_{i=1}^3 a_i \int_0^{\infty} v^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{v}{2}} \left\{ \frac{d}{dx} \int_{-\infty}^{\frac{x\sqrt{v}}{\sqrt{k}}} z^n e^{-\frac{z^2}{2}} dz \right\} dv = \\ &= \sum_{i=1}^3 \frac{a_i}{k^{\frac{n+1}{2}}} \int_0^{\infty} v^{\frac{k-1}{2} + \frac{n}{2}} e^{-\frac{v}{2} \left(1 + \frac{x^2}{k}\right)} x^n dv . \end{aligned}$$

После подстановки

$$v = \frac{2u}{1 + \frac{x^2}{k}}; \quad dv = \frac{2du}{1 + \frac{x^2}{k}}$$

возьмем интеграл, стоящий в правой части полученного выражения

$$\begin{aligned} s_k(x) &= \sum_{i=1}^3 \frac{2^{\frac{k+n+1}{2}} a_i x^n}{k^{\frac{n+1}{2}} \left(1 + \frac{x^2}{k}\right)^{\frac{k+n+1}{2}}} \int_0^{\infty} u^{\frac{k+n-1}{2}} e^{-u} du = \\ &= \sum_{i=1}^3 \frac{2^{\frac{k+n+1}{2}} a_i x^n}{k^{\frac{n+1}{2}} \left(1 + \frac{x^2}{k}\right)^{\frac{k+n+1}{2}}} \Gamma\left(\frac{k+n+1}{2}\right) \end{aligned}$$

и, заменяя x в соответствии с формулой (2) переменной t , окончательно получим

$$s_k(t) = D_1 \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}} + D_2 t^2 \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+3}{2}} + D_3 t^4 \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+5}{2}}, \quad (6)$$

$$\text{где } D_1 = \left(1 + \frac{3E}{\sqrt{4!}}\right) \frac{\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi} k^{\frac{1}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)};$$

$$D_2 = -\frac{12E}{\sqrt{4!}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{k+3}{2}\right)}{\sqrt{\pi} k^{\frac{3}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)};$$

$$D_3 = \frac{4E}{\sqrt{4!}} \frac{\Gamma\left(\frac{k+5}{2}\right)}{\sqrt{\pi} k^{\frac{5}{2}} \Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}.$$

Таким образом по формуле (6) может быть подсчитана плотность вероятности и построена кривая обобщенного распределения Стьюдента для заданной величины E . Очевидно, что при $E=0$ получим обычное распределение Стьюдента.

Вероятность того, что величина t не превышает некоторого заданного значения t_p , может быть найдена по формуле

$$p = S_k(t_p) = \int_{-t_p}^{t_p} s_k(t) dt, \quad (7)$$

где $s_k(t)$ – плотность вероятности, определяемая по формуле (6).

Для полноты картины рассмотрим еще одно распределение с ненулевым эксцессом. Пусть распределение погрешностей измерения океанографических или навигационных параметров в генеральной совокупности подчинен закону М.Ф.Субботина [5]

$$\varphi(z) = C e^{-h^\varepsilon |z|^\varepsilon}. \quad (8)$$

Как нами было показано ранее [1], после раскрытия нормировочного коэффициента C распределение М.Ф.Субботина запишется в виде

$$\varphi(z) = \frac{\varepsilon h}{2\Gamma\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)} e^{-h^\varepsilon |z|^\varepsilon}. \quad (9)$$

В частном случае, при $\varepsilon=2$, получим нормальный закон распределения.

Найдем зависимость между величиной ε и эксцессом распределения, для чего предварительно получим выражение для центрального момента порядка S

$$\mu_s = \int_{-\infty}^{\infty} z^S \varphi(z) dz = \frac{\varepsilon h}{2\Gamma\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)} \int_{-\infty}^{\infty} z^S e^{-h\varepsilon|z|^\varepsilon} dz$$

или

$$\mu_s = \frac{1}{h^S \Gamma\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)} \Gamma\left(\frac{S+1}{\varepsilon}\right). \quad (10)$$

Как известно, эксцесс E выражается через центральные моменты следующим образом

$$E = \frac{\mu_4}{\mu_2^2} - 3 = \frac{\frac{1}{h^4 \Gamma\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)} \Gamma\left(\frac{5}{\varepsilon}\right)}{\frac{1}{h^4 \left[\Gamma\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)\right]^2} \left[\Gamma\left(\frac{3}{\varepsilon}\right)\right]^2} - 3$$

или

$$E = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\varepsilon}\right) \Gamma\left(\frac{5}{\varepsilon}\right)}{\left[\Gamma\left(\frac{3}{\varepsilon}\right)\right]^2} - 3.$$

При $\varepsilon = 2$ получим

$$E = \frac{\sqrt{\pi} (1,5 \cdot 0,5\sqrt{\pi})}{(0,5\sqrt{\pi})^2} - 3 = 0,$$

т.е. эксцесс нормального распределения, как и должно быть, равен нулю.

Перейдем к выводу формулы t -распределения Стьюдента, обобщенного на тот случай, когда распределение в генеральной совокупности имеет отличный от нуля эксцесс и выражается с помощью формулы (9).

Снова найдем плотность вероятности величины t , определяемой формулой (2), учитывая, что в этом случае плотность вероятности $p(z) = \varphi(z)$ определяется формулой (9).

Проделав аналогичные первому случаю выкладки, окончательно получим формулу

$$s_k(t) = \frac{\varepsilon \Gamma\left(\frac{k+1}{\varepsilon}\right)}{2\sqrt{k} \Gamma\left(\frac{1}{\varepsilon}\right) \Gamma\left(\frac{k}{\varepsilon}\right)} \left(1 + \frac{|t|^\varepsilon}{k^{\frac{\varepsilon}{2}}}\right)^{-\frac{k+1}{\varepsilon}}, \quad (11)$$

определяющую другой вариант обобщенного закона Стьюдента.

В качестве примера, иллюстрирующего влияние закона распределения генеральной совокупности на доверительные вероятности математического ожидания, приведем сводную таблицу результатов, полученных для распределения Стьюдента и его обобщений, выведенных из предположения, что распределение генеральной совокупности описывается формулами М.Ф.Субботина (1), Грама-Шарлье (2) и Эджворта (3). Таблица рассчитана для числа наблюдений $n=5$ и различных значений эксцесса E и величин t , равных отношению доверительного интервала оценки математического ожидания к удвоенной оценке СКП. Очевидно, что при $E=0$ получаем значения для обычного (не обобщенного) закона Стьюдента. Там же, для сравнения, приведены значения вероятностей, соответствующие закону Гаусса ($E=0, n=\infty$), примененному в данном случае вместо закона Стьюдента, как это иногда бывает на практике.

Из рассмотрения таблицы следует, что:

- величина эксцесса E оказывает существенное влияние на результат;
- вид распределения погрешностей в генеральной совокупности (1, 2 или 3) по-разному влияет на величину доверительной вероятности погрешности среднего арифметического значения при одной и той же величине эксцесса;
- применение закона Гаусса вместо закона Стьюдента (строка $n = \infty$) приводит к еще большим ошибкам. Так, при $n = 5$ и $E = -0,5$ (что часто имеет место на практике [1]) доверительная вероятность 95% соответствует величине около 3 СКП вместо 2 СКП – согласно закону Гаусса (см. выделенные в таблице числа).

Таблица вероятностей, отвечающих заданной величине доверительных интервалов оценки математического ожидания

Закон распределения погрешностей наблюдений	Закон распределения отклонений арифметического среднего	n	t	Доверительная вероятность оценки СКП ($n=5$)				
				$E = -1,0$	$E = -0,5$	$E = 0,0$	$E = 0,5$	$E = 1,0$
Гаусса	Стьюдента	5	1	–	–	0,626	–	–
Субботина	Обобщение 1	5		0,449	0,554	0,626	0,678	0,715
Грама-Шарле	Обобщение 2	5		0,451	0,538	0,626	0,717	0,801
Эджворта	Обобщение 3	5		0,622	0,624	0,626	0,628	0,630
Гаусса	Гаусса	∞		–	–	0,683	–	–
Гаусса	Стьюдента	5	2	–	–	0,884	–	–
Субботина	Обобщение 1	5		0,826	0,861	0,884	0,900	0,890
Грама-Шарле	Обобщение 2	5		0,857	0,870	0,884	0,898	0,911
Эджворта	Обобщение 3	5		0,887	0,885	0,884	0,883	0,881
Гаусса	Гаусса	∞		–	–	0,954	–	–

Гаусса	Стьюдента	5	3	–	–	0,960	–	–
Субботина	Обобщение 1	5		0,958	0,956	0,960	0,964	0,965
Грама-Шарле	Обобщение 2	5		0,971	0,966	0,960	0,954	0,949
Эджворта	Обобщение 3	5		0,963	0,961	0,960	0,959	0,957
Гаусса	Гаусса	∞		–	–	0,997	–	–

На основании полученных результатов можно высказать предположение о целесообразности при современном состоянии развития технических средств (обеспечивающих возможность выполнения многократных наблюдений в сравнительно однородных условиях) производить оценку точности определения места, исходя из фактического распределения погрешностей с использованием оценок СКП, найденных по отклонению от среднего значения, полученного в результате многократных измерений навигационного параметра. Особенности фактического распределения погрешностей должны учитываться и при выборе методов уравнивания результатов наблюдений, что должно способствовать дальнейшему повышению точности кораблевождения и качества материалов гидрографических и океанографических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин А.И. Теоретические основы гидрографических исследований. Л., ГУНиО МО. 1972. 196 с.
2. Gayen A.K. The distribution of Student's in random samples of any size drawn from non-normal universes. Biometrika, June 1949, v.XXXVI, parts 1 and 2. London. P.353–369.
3. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. М., Гос. издат. техн. лит., 1954.
4. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. М., Физматгиз, 1959. 435 с.
5. Субботин М.Ф. О законе распределения ошибок. Математический сборник, т.31, вып.2. М., Госиздат, 1923.



СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

ГРНТИ 78.21.39.17.17.17

КООРДИНАТНАЯ ПРИВЯЗКА ИЗМЕРЕННЫХ ГЛУБИН ПРИ АВИАЦИОННОЙ ЛАЗЕРНОЙ СЪЕМКЕ РЕЛЬЕФА ДНА

Э.С.ЗУБЧЕНКО
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Предлагается метод координатной привязки глубин, измеряемых авиационной лазерной системой. Приводится результат моделирования погрешности планового положения глубины определяемых погрешностями планового положения самолета и угловой ориентации его осей при различной высоте съемки.

При теоретическом обосновании технологии координатной привязки измеренных глубин будем считать, что при авиационном лазерном зондировании акватории плановое положение самолета-носителя определяется с помощью спутниковой радионавигационной системы (СРНС) или радиогеодезической системы (РГС), а инерциальная навигационная система обеспечивает измерение его положения и элементов угловой ориентации в геодезической системе координат (ГСК). Измерение высоты самолета над водной поверхностью осуществляется с помощью радиовысотомера. В самом лазерном глубиномере (ЛГ) измеряется направление луча зондирования, характеризуемого полярными координатами φ, θ в системе координат (СК) ЛГ (рис.1).

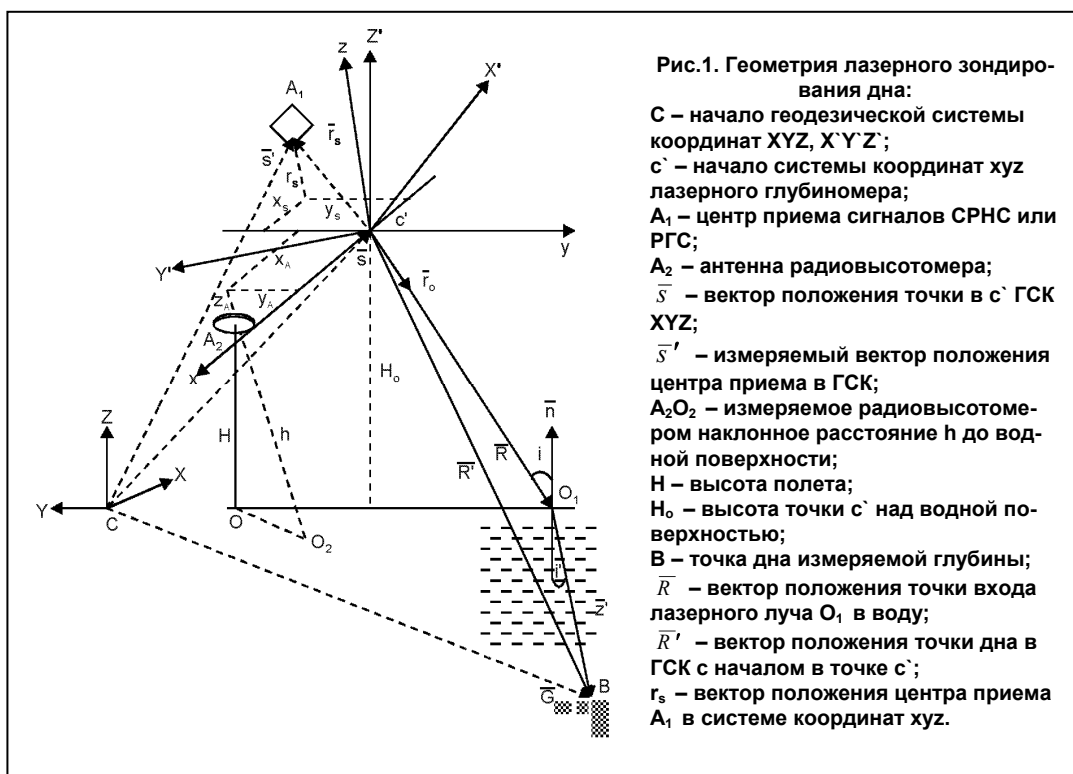
Пусть в момент посылки лазерного импульса СК ЛГ повернута на углы тангажа, крена и рыскания, соответственно α, ω, k . Пусть в этот же момент измеряется вектор S' положения центра приема A_1 и наклонное расстояние $A_2 O_2$. Будем определять плановое положение точки B горизонтальными составляющими X и Y вектора \overline{G} , соединяющего начало ГСК с точкой B (см.рис.1).

Сам вектор \overline{G} определяется как

$$\bar{G} = \bar{S} + \bar{R}' \quad (1)$$

Вектор \bar{S} в свою очередь представим в виде разности

$$\bar{S} = \bar{S}' - \bar{r}_s \quad (2)$$



Для перехода из СК ЛГ в ГСК воспользуемся матрицей преобразования A , имеющей вид

$$A = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где a_i, b_i, c_i ($i=1, 2, 3$) – направляющие косинусы ортов осей СК ЛГ в ГСК, которые вычисляются по известным формулам [1].

Таким образом, вектор \bar{r}_s в ГСК можно представить в виде

$$\bar{r}_s = A(x_s \ y_s \ z_s)^T, \quad (4)$$

где T – оператор транспонирования.

Вектор \bar{R}' представим в виде суммы (см.рис.1)

$$\bar{R}' = \bar{R} + \bar{z}', \quad (5)$$

а \bar{R} – как произведение единичного вектора \bar{r}_o на его модуль $|\bar{R}|$

$$\bar{R} = r^o |\bar{R}|. \quad (6)$$

Модуль вектора \bar{R} также определяется через величину H_o как

$$|\bar{R}| = -H_o / \cos \theta. \quad (7)$$

Чтобы найти величину H_o , заметим, что составляющая на ось z наклонного расстояния, измеряемого высотомером с учетом аппликаты z_A точки приема A_2 , равна $h + z_A$. Эта же составляющая на ось Z' в ГСК равна

$$H_o = A [x_A y_A - (h + z_A)]^T. \quad (8)$$

Единичный вектор \bar{r}_o в СК ЛГ имеет составляющие

$$\bar{r}_o = (\sin \theta \cos \varphi \sin \theta \sin \varphi - \cos \theta)^T. \quad (9)$$

Для преобразования этих составляющих в ГСК воспользуемся матрицей преобразования A

$$\bar{r}_o = A (\sin \theta \cos \varphi \sin \theta \sin \varphi - \cos \theta)^T. \quad (10)$$

Теперь нам необходимо найти составляющие вектора \bar{z}' в ГСК. Для этого воспользуемся условием компланарности: три вектора \bar{R} , \bar{n} и \bar{z}' лежат на одной плоскости. Это значит, что попарные произведения единичных ортов этих векторов равны

$$\begin{aligned} r_y n - r_z m &= -m; \\ r_x n - r_z l &= -l; \\ r_x m - r_y l &= 0, \end{aligned} \quad (11)$$

где r_x, r_y, r_z – составляющие единичного вектора \bar{r}_o в ГСК, определяемые формулой (10);

l, m, n – составляющие единичного вектора \bar{z}' .

Составляющие вектора \bar{n} равны 0;0,1. Используя формулы (11), выразим составляющие l и m вектора \bar{z}' через n

$$l = \frac{r_x n}{r_z - 1}; \quad m = \frac{r_y n}{r_z - 1}. \quad (12)$$

Составляющую n найдем как косинус угла i' между векторами \bar{n} и \bar{z}'

$$n = -\cos i'. \quad (13)$$

Угол преломления (i') лазерного луча найдем по закону Снеллиуса через угол его падения i как

$$\sin i' = \sin i / N, \quad (14)$$

где N – коэффициент рефракции.

Величина i определяется формулой для угла между вектором \bar{R} и \bar{n}

$$\cos i = r_z. \quad (15)$$

Принимая во внимание формулу (10) для составляющих вектора \bar{r}_o , последнюю формулу с учетом выражений для направляющих косинуса орта оси z запишем в виде

$$\begin{aligned} \cos i = & (\sin \alpha \cos k + \cos \alpha \sin \omega \sin k) \cos \theta \cos \varphi + \\ & + (\cos \alpha \sin \omega \cos k - \sin \alpha \sin k) \sin \theta \sin \varphi - \cos \alpha \cos \omega \cos \theta. \end{aligned} \quad (16)$$

Получив по формулам (12)–(16) значения направляющих косинусов вектора \bar{z}' , найдем его составляющие на оси ГСК

$$\begin{aligned} z'_x &= l|\bar{z}'|; \\ z'_y &= m|\bar{z}'|; \\ z'_z &= n|\bar{z}'|. \end{aligned} \quad (17)$$

Определив по формуле (6) составляющие вектора \bar{R} и подставив их в (5), получим составляющие вектора \bar{R}' . Затем по формуле (1) вычислим искомые составляющие X и Y вектора \bar{G} , которые и определяют плановое положение измеренной ЛГ глубины.

Используя полученные формулы, вычислялись координаты глубин, измеряемых ЛГ в диапазоне 0,5–60 м с высот 500 и 1000 м для малых значений α и ω (1° ; 3°) при $\kappa = 45^\circ$ и других произвольно задаваемых параметрах. Полученные значения координат принимались за истинные.

Затем вычисления повторялись при введении (сначала по очереди, а затем одновременно) во все названные параметры СКП их измерения:

- угловых и линейных элементов ориентирования СК ЛГ, соответственно, $25''$ и $0,6$ м [2];
- сферических координат – $30''$;
- координат центров приема сигналов РНС и радиовысотомера 5 ; 10 см;
- высоты, измеряемой радиовысотомером – $0,08\%$ [3].

Полученные таким образом координаты (рис.2) сравнивались с истинными и разность между ними принималась за погрешность метода.

Видно (см.рис.2), что наибольшее влияние на точность планового положения измеряемых ЛГ глубин оказы-

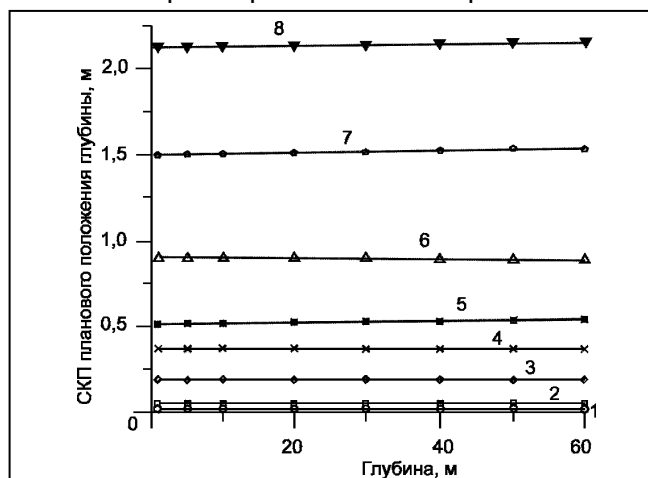


Рис.2. Погрешность планового положения глубины при лазерной съемке с учетом:

- 1 – погрешности измерения высоты; 2 – погрешности определения места на галсе; 3 – погрешности глубины; 4 – погрешности угла рыскания; 5 – погрешности угла наклона; 6 – погрешности положения антенны высотомера; 7 – суммарной погрешности (высота съемки 500 м); 8 – суммарной погрешности (высота съемки 1000 м).

вают погрешности тангажа, крена и рыскания, а также положения антенны радиовысотомера.

Погрешности планового положения самолёта-носителя на галсе и измеряемой глубины оказывают существенно меньшее влияние. Суммарная погрешность планового положения измеряемых глубин в диапазоне 0–60 м при высоте съёмки 500 м составит порядка 1,5 м, а при высоте 1000 м – 2,2 м, что отвечает современным требованиям НГО ВМФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобанов А.Н. Аэрофототопография. М.: Недра, 1978.
2. Ackermann F. The use of camera orientation data in photogrammetria . A review // Photogrammetria. – 1987, – N 42. – P. 19–33.
3. Ковальчук И.Ф. Радионавигационное оборудование самолетов. – М.: Транспорт, 1991.

ГРНТИ 78.25.25.45

МЕТОДИКА И ОПЫТ ИСПЫТАНИЙ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА НА МОРСКОМ ПОЛИГОНЕ С ПЛОСКИМ ДНОМ

**А.И. ГАЛОШИН,
А.А. ГУСТОВ**
(ГНПП “Севморгео”)

Изложена методика испытаний многолучевого эхолота. Описан алгоритм используемого при этом программно-математического обеспечения. Охарактеризован предварительный опыт практического их использования при испытаниях ЭМЛ “Сапфир”.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом широко ведутся разработки многолучевых эхолотов для площадной съёмки рельефа морского дна. Поэтому актуальной является задача испытаний таких эхолотов с оценкой качества получаемой от них информации, используемой при построении характеризующих рельеф морского дна морских карт. Наиболее просто и эффективно проводить такие испытания на полигонах с известной глубиной при практически плоской поверхности дна. Ниже предлагается методика и алгоритм таких испытаний и предварительный опыт их практического использования.

В 1995 г. в рейсе №23 НИС “Академик Александр Карпинский” проводились контрольные испытания опытного образца многолучевого эхолота “Сапфир”. Одной из задач программы испытаний являлась оценка качества получаемой с его помощью батиметрической информации. Для успешного решения этой задачи было разработано программно-математическое обеспечение (ПМО), реализующее следующий алгоритм.

Для испытаний выбирается плоский полигон с известным рельефом морского дна. Под плоским полигоном будем понимать участок морского дна, принятый за горизонтальную или наклонную плоскость, превышения точек дна ΔH которой над горизонтом находятся в пределах 3σ , где σ – разрешающая способность определения глубины эхолотом. Если на выбранный участок отсутствует качественная батиметрическая информация, то для ее получения предварительно выполняется систематический промер однолучевым эхолотом.

Далее по известным батиметрическим данным или результатам промера строится опорная цифровая модель рельефа (ЦМР) дна с определением глубин в узлах регулярной километровой сетки, сторона квадрата которой может быть принята от 100 до 1000 м. Ориентировка сетки сохраняется постоянной на весь период испытаний. Для построения ЦМР необходимо, чтобы внутри каждого квадрата сетки было не менее трех известных глубин.

В качестве контрольных участков, для которых будет строиться ЦМР на ЭВМ, выбираются прилегающих друг к другу 16 квадратов (4x4) и, по заполняющим эти квадраты глубинам, находятся значения глубин в девяти узлах (вершинах) четырех внутренних квадратов.

Для этого внутри каждого квадрата выбирается одна опорная точка, ближе всего расположенная к узлу, для которого будет вычисляться глубина. Затем, для этой опорной точки, используя другие смежные глубины внутри квадрата, определяются производные g_i по направлению τ_i от опорной точки с координатами x , y и глубиной z к i -ой точке с координатами x_i , y_i и глубиной z_i . Производные g_i характеризуют скорость изменения глубины по направлению τ_i

$$g_i = \frac{z_i - z}{r_i}, \quad (1)$$

где $r_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$.

Далее находим

$$\cos \tau_i = \frac{x_i - x}{r_i} \text{ и } \sin \tau_i = \frac{y_i - y}{r_i}. \quad (2)$$

Система нормальных уравнений имеет вид

$$\begin{aligned} a_1 g_x + b_1 g_y - \Lambda_1 &= 0; \\ b_1 g_x + b_2 g_y - \Lambda_2 &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где $a_1 = \sum_{i=1}^n \cos^2 \tau_i$; $b_1 = \sum_{i=1}^n \sin \tau_i \cos \tau_i$; $b_2 = \sum_{i=1}^n \sin^2 \tau_i$;

$$\Lambda_1 = \sum_{i=1}^n g_i \cos \tau_i; \quad \Lambda_2 = \sum_{i=1}^n g_i \sin \tau_i.$$

Из решения нормальных уравнений (3) находятся значения частных производных g_x и g_y по направлениям осей x и y километровой сетки в

опорной точке

$$\begin{aligned} g_x &= \frac{b_1 \Lambda_2 - b_2 \Lambda_1}{b_1^2 - a_1 b_2}; \\ g_y &= \frac{b_1 \Lambda_1 - a_1 \Lambda_2}{b_1^2 - a_1 b_2}, \end{aligned} \quad (4)$$

что позволяет вычислить модуль g градиента глубины в опорной точке с координатами x и y

$$g = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad (5)$$

и его направление (дирекционный угол)

$$\tau = \arctg \frac{g_y}{g_x}. \quad (6)$$

После вычисления g и τ для всех опорных точек внутри всех квадратов участка, переходим к определению глубин 9-ти узловых точек каждого контрольного участка.

Для каждого узла вычисляем

$$\tau_{jk} = \arctg \frac{y_k - y_j}{x_k - x_j}; \quad (7)$$

$$g_{jk} = g_j \cos(\tau_j - \tau_{jk}), \quad (8)$$

где $k = \overline{1,9}$ – число узлов;

$j = \overline{1,4}$ – число опорных точек вокруг каждого узла, по которым находим τ_{jk} и g_{jk} .

Для каждого k -го узла находим по четыре значения глубин z_{jk} с направлений τ_{jk} от 4-х опорных точек, ближе всего расположенных к соответствующему узлу k

$$z_{jk} = z_j + g_{jk} r_{jk}, \quad (9)$$

где z_j – глубина в j -ой опорной точке;

$$r_{jk} = \sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2}.$$

После чего определяем глубину z_{0k} как среднее весовое в каждой k -ой узловой точке.

Среднюю квадратическую погрешность (СКП) определения глубины узла, вычисленной по направлению градиента g_{jk} от одной опорной точки, находим из выражения

$$m^2 = \omega \begin{Bmatrix} M_0^2 & 0 \\ 0 & M_n^2 \end{Bmatrix} \omega^T, \quad (10)$$

где ω – матрица частных производных $\partial Z_{0k} / \partial(x, y, z, x_1, y_1, z_1, \dots, x_n, y_n, z_n)$;

$M_0 = \text{diag}\{m_x^2 \quad m_y^2 \quad m_z^2\}$ – ковариационная матрица координат x , y и глубины z опорной точки;

$M_n = \text{diag}\{m_{x_1}^2 \quad m_{y_1}^2 \quad m_{z_1}^2 \quad \dots \quad m_{x_n}^2 \quad m_{y_n}^2 \quad m_{z_n}^2\}$ – ковариационная матрица координат x_i , y_i и глубин z_i ($i = \overline{1, n}$) всех точек внутри одного квадрата, которые использовались для определения x , y и z опорной точки.

За окончательное значение глубины любого k -го узла принимаем среднее весовое

$$\overline{z_k} = \frac{\sum (P_{jk} z_{jk})}{\sum P_{jk}}, \quad (11)$$

где $P_{jk} = \frac{m_{lk}^2}{m_{jk}^2}$;

$$P_{lk} = 1;$$

m_{jk} – СКП определения глубины узла от j -ой опорной точки.

По известной формуле находим m_k , СКП глубины $\overline{z_k}$, как

$$m_k = \sqrt{\frac{\sum (P_{jk} V_j^2)}{(j-1) \sum P_{jk}}}, \quad (12)$$

где $V_j = z_{jk} - \overline{z_k}$;

j – число опорных точек, используемых для определения $\overline{z_k}$.

Величины m_k являются характеристикой качества ЦМР для каждой узловой точки. При этом m_k должна быть менее 1% от глубины.

Наконец, аппроксимируем контрольный участок горизонтальной плоскостью, с глубиной ее залегания z_0 , определяемой как среднее весовое по формуле, аналогичной (11), а также СКП M_0 определения z_0 по формуле, аналогичной (12).

Находим относительную погрешность

$$\varepsilon_0 = \frac{M_0}{z_0} 100\%. \quad (13)$$

Если $\varepsilon_0 \leq 1\%$, то можно принимать контрольный участок за горизонтальную плоскость и использовать z_0 в качестве контрольной опорной глубины для проверки результатов измерений многолучевым эхолотом на этом участке.

Если $\varepsilon_0 > 1\%$, то по ранее приведенным формулам, для центрального узла участка, по восьми периферийным узлам определяем g_u и τ_u , а затем вычисляем глубины этих восьми узловых точек z_{0k} , приняв глубину цен-

трального узла $z_u = z_0$.

Определяем

$$V_k = \overline{z_k} - z_{0k}, \quad (14)$$

где $\overline{z_k}$ – глубины всех девяти узлов контрольного участка, вычисленные ранее по формуле (11);

z_{0k} – глубины тех же девяти узлов, вычисленные с использованием g_u , τ_u и при условии $z_u = z_0$.

Пользуясь ранее приведенными формулами, аналогично определяем относительную погрешность ε_{0k} для всех девяти узлов.

Если $\varepsilon_0 \leq 1\%$, то контрольный участок можно принять за наклонную плоскость. В противном случае необходимо уменьшить вдвое сторону каждого квадрата контрольного участка и повторить вновь все вышеуказанные вычисления.

После проведения промера полигона испытуемым эхолотом строится частная ЦМР для тех же узловых точек опорной километровой сетки. При достаточном количестве промерных галсов можно построить ЦМР для каждого отдельного луча. Сравнение глубин опорной и любой частной ЦМР в идентичных узлах позволяет оценить качество работы многолучевого эхолота.

Испытания ЭМЛ "Сапфир" проводились на полигоне в Баренцевом море в районе желоба Св. Анны. В результате предварительного промера эхолотом ГЭЛ-3 с межгалсовым расстоянием 250 м в качестве контрольного был выбран участок дна с глубинами 540–545 м размером 4х6 км. По результатам этого промера была построена опорная ЦМР, сторона квадрата регулярной сетки которой равнялась 500 м. Значения m_k для любого узла опорной модели не превышали 1%, что характеризует хорошее ее качество.

После этого на том же участке был проведен промер ЭМЛ "Сапфир" (4 галса параллельно оси X и 3 галса параллельно оси Y опорной сетки). По результатам промера построена опытная ЦМР с глубинами, определенными в узлах той же регулярной сетки. Характеристика качества опытной модели m_k также не превышает 1% для каждого узла.

При определении разности соответствующих глубин опорной и опытной ЦМР (таблица), видно, что только в 3-х узлах разность глубин превысила 1% от глубины опорной модели (3,9% от общего числа глубин в узлах).

Сравнение глубин опорной и опытной ЦМР

Глубина узла для ЦМР, м		Разность глубин, %	Глубина узла для ЦМР, м		Разность глубин, %	Глубина узла для ЦМР, м		Разность глубин, %
опорной	опытной		опорной	опытной		опорной	опытной	
543,09	541,49	0,29	543,36	545,75	0,43	543,38	542,20	0,21
545,87	542,72	0,57	543,00	542,13	0,16	544,15	539,30	0,89
543,33	541,42	0,35	541,78	543,78	0,36	544,17	541,36	0,51
544,32	543,10	0,22	541,34	542,13	0,14	540,80	541,85	0,19
543,54	540,87	0,49	543,10	540,25	0,52	539,14	538,57	0,10
546,36	547,93	0,28	540,20	540,74	0,09	543,10	543,85	0,13
543,79	545,58	0,32	539,88	540,52	0,11	543,02	546,63	0,66
541,88	539,39	0,45	542,80	542,41	0,07	542,29	547,61	0,98
540,51	538,22	0,42	542,73	539,50	0,59	543,87	551,85	1,46
539,81	537,35	0,45	543,20	547,07	0,71	542,96	541,61	0,24
539,60	536,89	0,50	542,71	539,12	0,66	543,66	542,81	0,15
541,86	538,99	0,52	542,62	543,83	0,22	544,07	546,55	0,45
543,48	542,60	0,16	543,20	542,31	0,16	542,93	547,83	0,90
543,07	539,55	0,64	542,24	542,93	0,12	543,19	542,20	0,18
543,19	544,46	0,23	542,50	540,70	0,33	542,86	541,47	0,25
544,26	547,28	0,55	542,99	542,16	0,15	541,14	539,51	0,30
544,33	541,17	0,58	543,14	535,82	1,34	541,33	542,09	0,14
544,93	542,73	0,40	542,05	537,90	0,76	544,34	545,71	0,25
542,84	540,79	0,37	541,01	542,44	0,26	543,95	539,81	0,76
537,77	535,69	0,38	541,01	544,18	0,58	543,37	549,38	1,10
540,80	541,78	0,18	542,95	542,36	0,10	543,60	543,63	0,01
539,75	540,20	0,08	543,04	543,40	0,06	543,98	542,64	0,24
541,30	538,43	0,53	542,01	542,40	0,07	544,06	540,30	0,69
543,22	542,72	0,09	540,99	541,77	0,14	544,02	542,88	0,20
543,79	541,96	0,33	543,05	540,96	0,38	541,95	543,52	0,28
542,92	543,76	0,15	543,71	540,77	0,54			

На основании этого батиметрические данные, полученные в результате промера ЭМЛ "Сапфир", можно признать соответствующими требованиям "Правил гидрографической службы №4" (ПГС-4).

Результаты испытаний выдавались на экран дисплея и на печать в квазиреальном масштабе времени. Опыт использования предложенных методики, алгоритма и ПМО испытаний многолучевого эхолота показал их работоспособность и оперативность в получении окончательных результатов.

**МЕТОД АНАЛИЗА РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И ДИНАМИЧЕСКОГО
КАЧЕСТВА СТАБИЛИЗАЦИИ ОРИЕНТАЦИИ И ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ**

В.Н. ЗАВГОРОДНИЙ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Для повышения точности съемки рельефа дна предложен метод анализа устойчивости траектории движения и ориентации аппарата как динамической системы с интервальной неопределенностью параметров при его проектировании.

В практической деятельности по освоению Мирового океана существуют работы, выполнение которых требует подробной информации о рельефе дна в глубоководных районах. Это – создание и установка подводных сооружений, обследование подводных коммуникаций, оценка районов поиска затонувших и других подводных объектов, измерение магнитных, гравитационных и других полей вблизи дна. Отсутствие подробной информации о рельефе дна и плановой привязке его элементов к координатам при их проведении может привести к принятию неверного решения.

Разработанная концепция изучения рельефа дна первоочередной задачей предусматривает детальное его обследование в особо важных для ВМФ районах.

К используемым для этого техническим средствам относятся, в частности, буксируемые подводные аппараты (БПА), оснащаемые гидролокатором бокового обзора (ГБО). В теоретическом плане такой аппарат можно рассматривать как динамическую систему с шестью степенями свободы. Три – по линейным перемещениям, характеризующим траекторию движения (по курсу K , скорости V , глубине h) и три – по угловым перемещениям, которые определяют ориентацию аппарата (дифферент ψ , рыскание φ , крен θ).

При применении для съемки рельефа дна БПА с ГБО качество измерений в первую очередь зависит от точности стабилизации положения аппарата по трем направлениям – h , φ и ψ . Придание ему свойства устойчивости по стабилизируемым параметрам позволяет повысить производительность съемки рельефа дна и ее точность. Устойчивость движения и ориентации БПА может быть обеспечена при использовании для его стабилизации следящих систем положения рулей как регуляторов с обратной связью по отклонению стабилизируемых параметров от заданных значений. По опыту эксплуатации на кораблях авторулевых, успокоителей качки, стабилизаторов глубины [1] и результатам моделирования движения и ориентации БПА применение регуляторов в состоянии обеспечить уменьшение углов рыскания и дифферента в 3–5 раз, одновременно повысив в 2–3 раза точность определения координат элементов рельефа.

* По этому вопросу см. также статью автора, опубликованную в предыдущем номере журнала (Прим.ред.).

Для проектирования таких регуляторов требуется смоделировать траекторию движения и ориентации аппарата. Применение статистического оценивания параметров и характеристик в модели его движения и ориентации, вследствие того, что БПА является плохообтекаемым телом, как показывают натурные испытания, не позволяет определять гидродинамические коэффициенты с точностью выше 100%. Это ведет к тому, что аппарат оказывается сильно чувствительным к малым отклонениям принятых предположений от реальных условий. Не говоря уже о том, что сам процесс получения таких статистических оценок является трудоемким и дорогостоящим.

В настоящее время при решении задач, в которых имеют место условия неопределенности, отечественными и зарубежными исследователями развивается подход к рассмотрению подобных объектов как динамических систем с интервальной неопределенностью параметров [2]. Такие системы получили название робастных.

Кроме того, и реальные условия эксплуатации характеризуются нелинейностями. При больших их величинах в систему регуляторов требуется вводить корректирующие устройства и переходить к адаптивному управлению. Случай небольших нелинейностей может быть учтен введением интервальной неопределенности в параметры модели. Поведение таких робастных систем описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений с интервальными параметрами.

Одной из основных трудностей в исследовании динамических систем с интервальной неопределенностью параметров является неприспособленность обычного математического аппарата к операциям над элементами интервальных множеств [3].

В создании линейных динамических систем с интервальной неопределенностью параметров установление факта их устойчивости является первым этапом исследования. Суть робастного подхода к анализу устойчивости по интервальному характеристическому полиному, впервые предложенного В.Л. Харитоновым [4, 5], состоит в определении условий, обеспечивающих отрицательность вещественных частей корней семейства многочленов, порожденного интервальным характеристическим полиномом, по конечному числу точечных угловых многочленов этого семейства. По существу в данном случае речь идет об определении устойчивости не одного многочлена, а целого семейства, возникающего при переборе допустимых значений неопределенных параметров.

При полиномиальном анализе робастной устойчивости и динамического качества свободной составляющей переходного процесса исходная интервальная система обыкновенных дифференциальных уравнений стабилизации БПА по рысканию, дифференту и глубине тождественно определяется характеристическим полиномом с интервальными коэффициентами

$$P(s) = \left\{ p(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 \right\},$$

где $a_k \in [\underline{a}_k, \bar{a}_k]$, $k = 0, 1, \dots, n$;

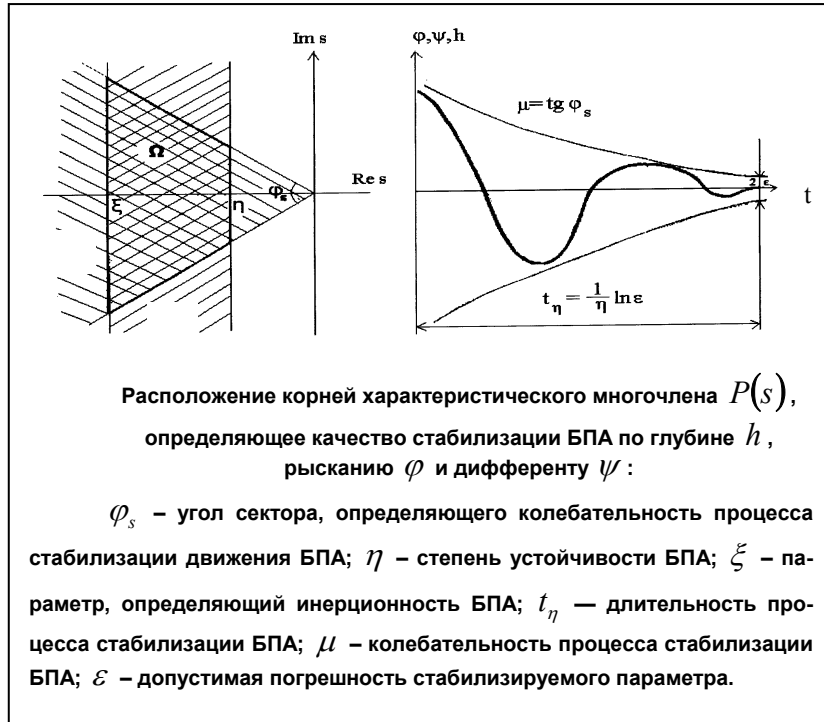
$\underline{a}_k, \bar{a}_k$ – нижняя и верхняя границы интервалов действительных коэффициентов при переменных s .

Устойчивость интервального характеристического полинома означает

устойчивость траектории движения и ориентации БПА в пространстве рассматриваемых параметров – рыскания, дифферента и глубины. Решение этой задачи достигается анализом устойчивости четырех харитоновских полиномов.

Однако при съемке рельефа устойчивость движения и ориентации аппарата требуется обеспечить с заданным качеством стабилизации БПА, определяемым динамикой переходных процессов стабилизируемых параметров по длительности, амплитуде и числу колебаний. Для достижения заданного качества стаби-

лизации рыскания, дифферента и глубины корни интервального характеристического полинома должны быть расположены в трапециевидальной области комплексной плоскости Ω (рисунок). Она же задается величинами η, ξ, φ_s , которые определяют степень устойчивости, инерционность и колебательность аппарата по стабилизируемым параметрам.



Она же задается величинами η, ξ, φ_s , которые определяют степень устойчивости, инерционность и колебательность аппарата по стабилизируемым параметрам.

Для проверки точности движения и ориентации аппарата предлагаемым методом найдены достаточные условия устойчивости и заданного качества движения и ориентации БПА по рысканию, дифференту и глубине. Можно показать, что для проверки стабилизации его движения и ориентации с заданным качеством достаточно потребовать устойчивость шестнадцати угловых полиномов. Четыре угловых полинома из семейства смещенных характеристических многочленов

$$P(z - \eta) = a_0^* + a_1^* z + a_2^* z^2 + \dots + a_n^* z^n = \sum_{k=0}^n a_k^* z^k,$$

где $a_k^* = \sum_{i=k}^n (-1)^{i-k} \binom{i}{i-k} a_i \eta^{i-k}$ обеспечивают достаточные условия расположения корней слева от прямой η (см. рисунок), определяющей заданную степень устойчивости;

четыре угловых полинома, принадлежащие преобразованному интер-

вальному полиному

$$P(-z - \xi) = \sum_{k=0}^n (-1)^k a_k^* z^k, \quad a_k^{**} = \sum_{i=k}^n (-1)^{i-k} \binom{i}{i-k} a_i \xi^{i-k},$$

обеспечивают достаточные условия расположения корней справа от прямой ξ (см. рисунок), определяющей инерционные свойства БПА;

и наконец, восемь угловых полиномов, принадлежащие отображенному интервальному полиному

$$P(z) = \left\{ p(z) = \sum_{k=0}^n a_k e^{ik\left(\frac{\pi-\varphi}{2}\right)} z^k = \sum_{k=0}^n b_k^z z^k, \quad (a_4 \neq 0) \right\},$$

обеспечивают достаточные условия расположения корней в секторе φ_s (см. рисунок), определяющем колебательность переходного процесса стабилизации при возмущающих воздействиях.

Достаточность названных условий является следствием того факта, что коэффициенты харитоновских многочленов, полученных из исходного характеристического уравнения для заданной области Ω , являются зависимыми. Кроме того, в общем случае одни и те же величины в системе уравнений движения и ориентации БПА входят коэффициенты исходного характеристического уравнения $P(s)$ также являются зависимыми.

Точность ориентации и глубины хода БПА с ГБО при съемке рельефа дна оказывают существенное влияние на точность определения координат элементов рельефа. Наибольший вклад в погрешность точности съемки вносят рыскание и дифферент аппарата, которые на порядок больше погрешностей глубины и скорости звука. Погрешности определения координат элементов рельефа в зависимости от точности ориентации БПА с ГБО тем больше, чем больше расстояние до дна и шире полоса обследования. Погрешности из-за рыскания и дифферента определяют смещение пятна, освещаемого гидролокатором бокового обзора, вдоль курса БПА. Таким образом, для повышения точности съемки рельефа дна необходимо, в первую очередь, повышать точность удержания курса и дифферента аппарата.

Описание движения и ориентации БПА как робастной системы с интервальной неопределенностью параметров позволяет сформулировать новый подход к совершенствованию ПА. Применительно к автономным ПА это позволяет упростить разработку и одновременно повысить надежность их устройств стабилизации движения и ориентации.

Ожидаемый результат от внедрения предлагаемого метода проверки устойчивости движения и ориентации БПА с ГБО состоит в сокращении времени гидрографических исследований в заданном районе за счет уменьшения количества галсов, повышения допустимой скорости буксировки аппарата, более точного маневрирования по заданной траектории, а также повышения точности измерений, когда она зависит от ориентации БПА. По результатам моделирования оценка повышения точности привязки по месту при съемке рельефа, измерении геофизических и гидрофизических параметров при применении робастного подхода может улучшиться в 2–3 раза при повышении точности стабилизации БПА в 3–5 раз.

Предлагаемый метод может быть также использован при выборе технических средств гидроакустической съемки рельефа дна в заданном районе для анализа соответствия того или иного типа БПА с ГБО требованиям к точности плановой привязки и производительности съемки рельефа дна при решении конкретной задачи навигационно-гидрографического обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин С.Я. Автоматическое управление курсом судов. Л.: Судостроение, 1965.
2. Гусев Ю.М., Ефанов В.Н., Крымский В.Г., Рутковский В.Ю. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем (состояние проблемы) // Техническая кибернетика, 1991 г., № 1.
3. Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. Новосибирск: Наука, 1986 г.
4. Харитонов В.Л. Об асимптотической устойчивости положения равновесия семейства систем линейных дифференциальных уравнений // Дифференциальные уравнения, 1978, том XIV, № II, С.2086–2088.
5. Харитонов В.Л. Об одном обобщении критерия устойчивости // Известия АН Казахской ССР. Серия физ.-мат., 1978, № 1, с.53-57.

ГРНТИ 78.21.39.17.17.19

**РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОРСКОГО ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО
ГРУНТОГРАФА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРУНТОВ**

А.Б. ОПАРИН
(Гос.НИНГИ МО РФ),
В.Н. ПАНОВ
(ВМА им.Н.Г.Кузнецова)

На основе использования теории распознавания образов показана возможность идентификации с помощью грунтографа МГГ-1 6 типов грунтов.

В настоящее время на вооружение ГС ВМФ принят морской гидрографический грунтограф МГГ-1. Согласно "Инструкции по использованию МГГ-1" с его помощью можно определить четыре типа донного грунта с достоверностью 0,95 [1]:

- рыхлый (илистый);
- полууплотненный (песчано-глинистый);
- уплотненный (крупнообломочный, песчаный);
- газонасыщенный (илистый слабоуплотненный).

Идентификация грунта при этом производится путем измерения в конкретной точке величины коэффициента отражения с последующим определением типа грунта по соответствующему диапазону, в который попал измеренный коэффициент отражения.

Однако разделение морских осадков на четыре названных литологических группы не удовлетворяет возросшим требованиям ВМФ к информации о морском грунте. В первом приближении, в соответствии с условиями исполь-

зования современных технических средств, необходимо было бы идентифицировать по крайней мере шесть следующих литологических групп грунтов:

- жидкие илы (ЖИ);
- илы (И);
- пески (П);
- глины (Гл);
- гравийно-галечные отложения (Гр, Гк);
- выходы коренных пород (скальный грунт – Ск).

Как показали проведенные исследования, это оказывается возможным при использовании теории распознавания образов для обработки информации, полученной с помощью МГГ-1 в соответствии с существующей технологией грунтовой съемки [2]. При этом перед началом работ определяются (уточняются) не диапазоны измерения значений коэффициента отражения для различных типов грунта, а законы распределения этих значений. Отнесение же грунта к тому или иному типу производится на основе решающего правила, полученного на основании статистической обработки результатов натурных измерений.

Известно, что каждый тип грунта характеризуется свойственным только ему коэффициентом отражения, разброс значений которого подчиняется закону распределения, близкому к нормальному, т.е. описывается математическим ожиданием и ковариационной матрицей [3,4].

В математической постановке задача распознавания образов относится к классу статистических задач классификации совокупностей по их измерениям [5]. Согласно [3], на основе общих принципов построения решающего правила применительно к многоальтернативным задачам, его можно сформулировать в следующем виде: контрольная выборка $(x_i)^n$ принадлежит классу s_l , $1 \leq l \leq K$, для которого функция правдоподобия W_{ln} максимальна, т.е.

$$W_{ln} = \prod_{i=1}^n w_l(x_i) - \max \left\{ \prod_{i=1}^n w_k(x_i) \right\}, \quad (1)$$

где $w(x) = (2\pi)^{-p/2} (\det M_k)^{-1/2} \exp[-0,5(x_i - a_k)^T M_k^{-1} (x_i - a_k)]$ – плотность вероятностей p -мерного нормального закона $N(x_i, a_k, M_k)$;

M_k – ковариационная матрица;

$\det M_k$ – определитель ковариационной матрицы;

$k = 1, \dots, K$ – число классов;

K – конечное число классов, конкретное значение которого определяется информативными признаками грунта дна;

T – символ транспонированной матрицы;

$i = 1, \dots, n$ – количество измерений в контрольной выборке;

$(x_i - a_k)$ – матрица вектора разностей измеренных значений и математического ожидания;

$(x_i - a_k)^T$ – транспонированная матрица вектора разностей измеренных значений и математического ожидания.

В развернутой записи (1) означает, что решение принимается в том случае, когда одновременно выполняются $K - 1$ неравенств

$$W_{ln} > W_{kn}, \quad k = 1, 2, \dots, 1 - l, l + 1, \dots, K.$$

Переходя к логарифмам функций правдоподобия $G_{un} = \ln W_{un}$, решающее правило можно сформулировать следующим образом: $(x_i)^n$ принадлежит классу S_l , если выполнено условие

$$G_{ln} - G_{kn} = \ln W_{ln} - \ln W_{kn} = \\ 1/2 \sum_{i=1}^n [(x_i - a_k)^T M_k^{-1} (x_i - a_k) - (x_i - a_l)^T M_l^{-1} (x_i - a_l)] + \\ + n/2 \ln \det M_k / \det M_l > 0. \quad (2)$$

Таким образом, определив в ходе обучающей выборки эталонные параметры нормального закона распределения (вектор математического ожидания и ковариационную матрицу) для каждого типа грунта и произведя серию измерений параметров в контрольной выборке на основе решающего правила (2), с определенной достоверностью можно отнести контрольную выборку к одному из типов грунта.

При идентификации типа грунта по основному признаку (коэффициенту отражения) ковариационная матрица будет определяться дисперсией коэффициента отражения

$$M = \sigma^2, \quad (3)$$

а обратная ковариационная матрица величиной

$$M^{-1} = 1/\sigma^2. \quad (4)$$

В этом случае решающее правило (2) примет вид

$$1/2 \sum_{i=1}^n \{ [(V_i - V_k)/\sigma_k]^2 - [(V_i - V_l)/\sigma_l]^2 \} + n/2 (\sigma_k/\sigma_l)^2 > 0, \quad (5)$$

где V_i – i -е измерение значения коэффициента в контрольной выборке (серии измерений);

V_k – математическое ожидание значения коэффициента отражения для k -го типа грунта;

$i = 1, \dots, n$ – число измерений в серии;

$k = 1, \dots, K$ – число распознаваемых типов грунта.

Решающее правило позволяет [5], зная закон распределения значений коэффициента отражения для нескольких типов грунта (их математические ожидания и дисперсии), с определенной достоверностью идентифицировать тип грунта по серии измеренных в ходе грунтовой съемки значений коэффициента отражения.

Анализ накопленных экспериментальных данных об акустических свойствах различных типов грунтов позволил получить следующие коэффициенты отражения для различных типов грунта (при средней дисперсии 0,0049):

- жидкий ил 0,09;
- ил 0,19;
- песок 0,27;
- глина 0,34;
- гравийно-галечные отложения 0,41;
- выходы коренных пород (скала) 0,55.

По мере накопления данных, эти значения постоянно уточняются.

Для определения достоверности идентификации грунта по измерениям грунтографа МГГ-1 воспользуемся теорией распознавания образов [5], где часто используют величину, называемую расстоянием между двумя классами или расстоянием Махаланобиса, и которая определяется как

$$d^2 = (V_2 - V_1)^T M^{-1} (V_2 - V_1), \quad (6)$$

где V_1, V_2 – математические ожидания значений коэффициента отражения для 1-го и 2-го типов грунта соответственно;

M^{-1} – обратная общая ковариационная матрица.

Для идентификации грунта по одному признаку (коэффициенту отражения) выражение (6) примет вид

$$d^2 = [(V_2 - V_1)/\sigma_v]^2, \quad (7)$$

где σ_v – общая дисперсия коэффициента отражения.

Следует заметить, что в теории распознавания образов разделяют ошибки распознавания первого и второго рода. Ошибка первого рода для двухальтернативного распознавания (α) это отнесение объекта к классу S_2 , когда он на самом деле относится к классу S_1 , а ошибка второго рода (β), наоборот, – отнесение объекта к классу S_1 вместо S_2 .

При идентификации грунта ошибки первого и второго рода для нас одинаково неприемлемы, т.е. имеют одинаковую цену. Согласно [3, 5, 6], в случае, если цены ошибочных классификаций α и β равны между собой, то их величина определяется как

$$\alpha = \beta = 1 - F(\sqrt{nd^2}/2), \quad (8)$$

где $F(x) = 1/2 + 1/2 \Phi(x/\sqrt{2})$ – табулированный интеграл вероятностей;

$$\Phi(x) = 2/\sqrt{2\pi} \int_0^x e^{-t^2/2} dt.$$

Таким образом, достоверность идентификации грунтов данным способом определяется как дополнение ошибки 1-го или 2-го до единицы, т.е.

$$p = 1 - \alpha = 1 - \beta. \quad (9)$$

Анализ формульных зависимостей (8) и (9) показывает, что достоверность идентификации грунта зависит от расстояния Махаланобиса (d^2) между типами грунтов и количества измерений, по которым производится идентификация, причем достоверность идентификации монотонно возрастает с ростом расстояния d^2 .

При использовании грунтографа МГГ-1 значение коэффициента отражения получают путем осреднения серии из 8 или 16 измерений. Таким образом, используя формулу (8), можно рассчитать достоверность правильной классификации для различных пар типов грунта. Результаты расчетов сведены в таблицу. Расчеты производились исходя из предположений, что распределение коэффициентов отражения для каждого типа грунта подчинено нормальному закону, а средние значения и общая дисперсия их априорно известны.

Из таблицы следует, что грунтограф не всегда позволяет с заданной достоверностью определить тот или иной тип грунта. Так, например, достоверность выделения гравия и гальки на фоне илистой глины составляет всего 0,824 и 0,905 при серии соответственно из 8-ми и 16-ти измерений. Но в основном рассматриваемый способ идентификации грунта обеспечивает требуемую достоверность. И во всех случаях при идентификации грунта по 16-ти измерениям достоверность определения не ниже 0,9.

Значения достоверности идентификации грунта с помощью МГГ-1 по сериям из 8-ми и 16-и измерений коэффициента отражения *

Преобладающие фоновые типы грунта дна	Требуемые типы грунта дна при НГО ВМФ					
	ЖИ	И	П	Гл	Гр, Гк	Ск
ЖИ	0/0	0,924/2,04	0,995/6,61	1,000/2,760	1,000/20,25	1,000/43,18
И	–	0/0	0,876/0,948	0,984/0,999	0,999/1,000	1,000/1,000
П	–	–	0/0	0,841/0,921	0,973/0,997	1,000/1,000
Гл	–	–	–	0/0	0,824/0,905	0,999/1,000
Гр, Гк	–	–	–	–	0/0	0,987/0,998

* В числителе приведены значения достоверности при серии из 8, а в знаменателе – из 16 измерений.

Предложенный подход был проверен в ходе выполнения экспериментальных работ с МГГ-1 на акваториях Баренцева и Норвежского морей, а также Финского залива. Вероятность правильного определения преобладающего типа грунта в областях со сложным литологическим составом составила не менее 0,9.

Таким образом, рассматриваемый способ расширения возможностей определения грунта грунтографом МГГ-1 с использованием теории распознавания образов позволяет идентифицировать не четыре типа, а шесть типов грунта, что удовлетворяет современным требованиям ВМФ. При этом достоверность идентификации, как правило, не ниже 0,95 и лишь в отдельных случаях может понижаться до 0,9. Используемый математический аппарат позволяет сравнительно легко автоматизировать процесс обработки результатов измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опарин А.Б., Старожицкий В.В. Морской гидрографический грунтограф МГГ-1 // Записки по гидрографии, 1994 г. № 232.
2. Правила Гидрографической службы № 8, ГУНиО МО, 1984.
3. Фомин А.Я., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. М., Радио и связь, 1986. –264с.
4. Акустика океана. /Под ред. Л.М.Бреховских. – М., Наука, 1974. – 694с.
5. Патрик Э. Основы теории распознавания образов: Пер. с англ. / Под ред. Б.Р.Левина. – М., Сов.радио, 1980. – 408с.
6. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ: Пер. с англ. / Под ред. Б.Б.Гнеденко. – М., Физматгиз, 1963. – 400с.



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

ГРНТИ 78.21.37.15.17

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ И ЭКСТРЕМУМЫ ГОДОВОЙ РИТМИКИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**А.В. БУХАНОВСКИЙ,
Н.Е. ИВАНОВ,
В.А. РОЖКОВ**
(СПб отделение ГОИН)

По многолетним рядам среднемесячных значений температуры и солёности морской воды, уровня моря, высоты ветровых волн, температуры воздуха и речного стока проанализированы экстремумы годовой ритмики гидрометеорологических процессов. Показано, что среднемесячные значения большинства процессов аппроксимируются семейством нормальных распределений с различными средними и среднеквадратическими отклонениями, а распределения годовых экстремумов – смесью этих распределений. С помощью вероятностных моделей периодически коррелированных случайных процессов и фильтра Калмана предложены оценки квантилей распределения годовых экстремумов, возможных 1 раз в T лет.

Многим гидрометеорологическим процессам свойственна годовая ритмика, обусловленная сменой сезонов и проявляющаяся в том, что их вероятностные характеристики, такие как математическое ожидание $m(t)$, дисперсия $D(t)$, ковариационная функция $K(t, \tau)$ являются периодическими функциями времени t [2,4,8,12].

Цель настоящей работы состоит в изучении годовых экстремумов (x_{min}, x_{max}) по временным рядам $\zeta(t)$ среднемесячных значений температуры и солёности морской воды, высот волн, колебаний уровня моря, речного стока и температуры воздуха, рассматриваемых как реализации периодически коррелированных случайных процессов (ПКСП).

Перечень исходных данных приведен в табл.1, а на рис.1 показаны графики годового хода оценок $m^*(t)$ и среднеквадратических отклонений $\sigma^*(t) = \sqrt{D^*(t)}$, вычисленных по среднемесячным значениям, центрированным на среднегодовые.

Таблица 1
Временные ряды среднемесячных значений гидрометеорологических процессов

№ п/п	Характеристика	Пункт наблюдения (море)	Период наблюдений, годы	Длина реализации, лет
1	Высота ветровых волн $h_в$, м	43°сш, 34°вд (Черное)	1957–1991	35
2		55°сш, 20°вд (Балтийское)	1954–1991	35
3	Температура воздуха T_a , °С	85°сш	1891–1993	103
4		70°сш	1891–1993	103
5		30°сш	1891–1993	103
6		20°сш	1891–1993	103
7		Санкт-Петербург	1871–1996	126
8	Речной сток Q , $(м^3/с) \cdot 10^{-1}$	р.Даугава (Балтийское)	1881–1988	110
9		р.Сев. Двина (Белое)	1921–1988	68
10	Температура воды $T_в$, °С	о.Гогланд (Балтийское)	1951–1988	35
11		Озерки (Балтийское)	1951–1988	35
12		Гридино (Белое)	1921–1990	70
13		Сосновец (Белое)	1960–1990	31
14	Соленость, ‰	Гридино (Белое)	1926–1990	65
15		Умба (Белое)	1946–1990	45
16	Хлорность, ‰	о.Гогланд (Балтийское)	1965–1990	21
17	Уровень моря h_m , см	Истад (Балтийское)	1887–1990	95
18		Ратан (Балтийское)	1992–1981	90
19		Гридино (Белое)	1947–1985	39
20		Умба (Белое)	1934–1996	63

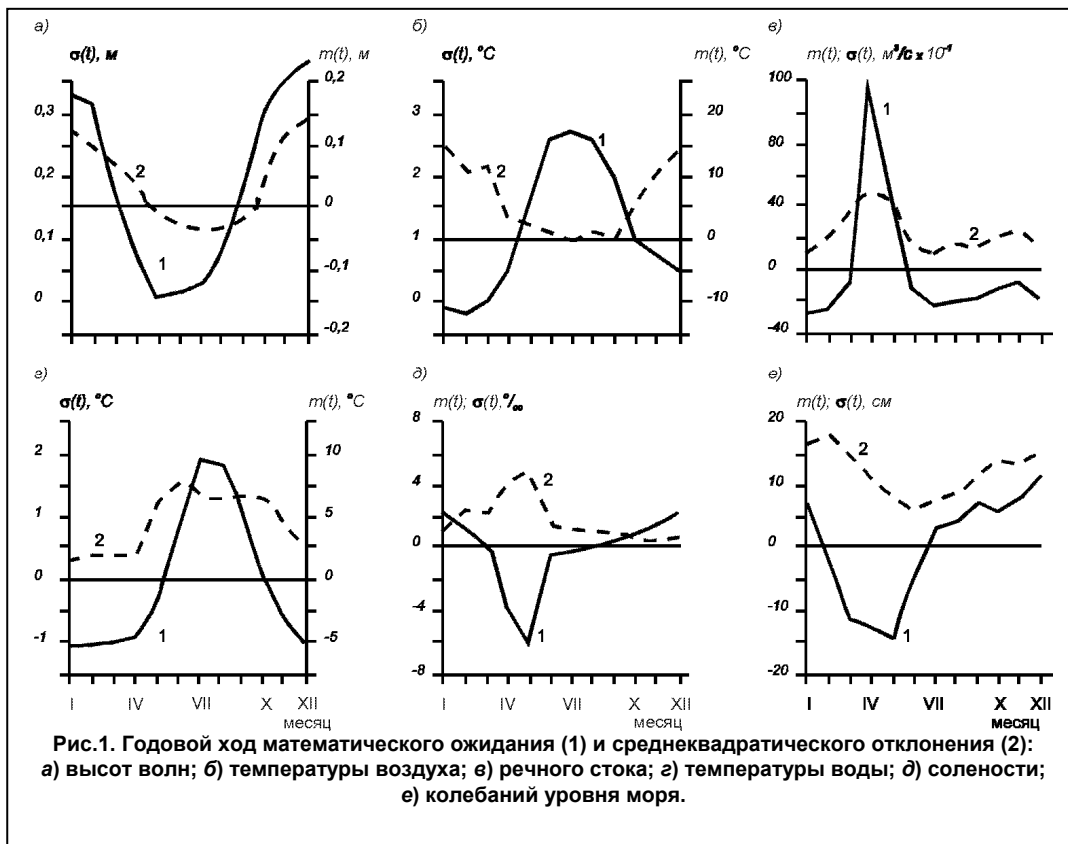
Из рисунка видно, что годовой ход проявляется практически у всех рассматриваемых процессов. Отличия состоят лишь в размахе значений $m(t)$, $D(t)$, $\sigma(t)$, а также в когерентности и асимметричности этих кривых, представленных в виде рядов Фурье

$$f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} |c_k| (\cos \omega_k t + \varphi_k) \quad (1)$$

с амплитудами $|c_k|$, фазами φ_k , частотами $\omega_k = \frac{2\pi k}{T}$ годовой гармоники ($k = 1$) и ее обертонов ($k = 2, 3 \dots$).

В табл.2 приведены значения этих параметров для математического ожидания $m^*(t)$ и дисперсии $D^*(t)$. Согласно этой таблице, годовой ход волнения, температуры воздуха и воды могут быть описаны годовой гармоникой и ее полугодовым обертоном; у речного стока, колебаний уровня моря и солености требуется знать еще две или три гармоники. Когда фазы φ_k , ψ_k гармоник $m(t)$ и $D(t)$ совпадают (например у волнения и речного стока), то можно говорить об амплитудной (межгодовой) модуляции годового хода, когда не совпадают – то это смешанная (амплитудная и фазовая) модуляция. Для температуры воздуха в высоких широтах характерна противофазность $m(t)$ и

$D(t)$, когда максимум $m(t)$ и минимум $D(t)$ наблюдаются летом, а минимум $m(t)$ и максимум $D(t)$ – зимой [1,2].



Поскольку отсчеты $\zeta(t)$, взятые через период коррелированности, являются стационарным случайным процессом, то простейшая модель годовой ритмики описывается как [13]

$$\zeta(t) = m(t) + \sigma(t)\xi_t^0, \quad (2)$$

где $m(t) = m(t+T)$ и $\sigma(t) = \Delta(t+T)$ – периодические функции;

$\xi_t^0 = \sum_{k=1}^p \Phi_k \xi_{t-k}^0 + \varepsilon_t$ – стационарный случайный процесс типа авторегрессии $AP(p)$;

ε_t – белый шум;

Φ_k – параметры авторегрессии.

Значения $\zeta(t)$ в моменты времени t и $t+\tau$ коррелированы. В табл.3 в качестве примера для некоторых временных рядов табл.1 приведены корреляционные функции $K(t_1, t_2)$, где $t_2 = t_1 + \tau$. Согласно табл.3, функция $K(t, \tau)$ зависит от t , поэтому Φ_k в (3) необходимо заменить на $\Phi_k(t)$.

Таблица 2

Амплитуды $|m_k^*|$, $|d_k^*|$ и фазы $^2 \varphi_k^*$, ψ_k^* годовой гармоники ($k = 1$) и ее обертонов ($k > 1$) годового хода $m^*(t)$ и $D^*(t)$

гидрометеорологических процессов ³

№ п/п	$m^*(t)$								$D^*(t)$						
	$|m_1|$	φ_1$	|m_2|$	φ_2$	|m_3|$	φ_3$	|m_4|$	φ_4$	|d_0|$	$|d_1|$	ψ_1$	|d_2|$	ψ_2$	|d_3|$	ψ_3
1	0,22	11,1	0,04	5,3	–	–	–	–	0,11	0,07	11,1	0,02	5,1	–	–
2	0,21	11,6	0,04	5,2	–	–	–	–	0,16	0,09	11,9	0,01	4,9	–	–
3	16,6	6,3	2,7	5,8	1,0	0,2	0,4	1,3	2,9	2,4	11,9	0,5	5,6	0,3	2,0
4	16,3	6,3	0,9	0,2	0,5	0,2	0,2	2,5	1,1	1,0	0,3	0,3	0,2	–	–
8	32,0	3,3	34,4	3,3	22,6	3,2	16,6	0,2	717	702	3,1	694	3,2	320	3,2
10	8,9	6,8	1,9	0,3	0,4	1,5	–	–	1,0	0,8	6,4	0,4	4,6	0,3	0,8
12	7,2	6,6	2,6	0,5	0,5	2,1	–	–	0,9	0,8	6,3	0,4	4,5	0,4	0,8
14	2,6	10,3	1,6	0,4	1,0	1,6	0,8	2,2	5,7	7,8	3,3	4,9	3,4	3,8	3,7
15	5,8	8,1	1,0	5,3	1,2	1,8	1,2	2,0	19,9	20,0	1,5	9,0	1,5	3,5	1,0
16	0,5	8,8	0,3	5,3	0,2	0,6	–	–	0,2	0,2	2,4	0,1	2,3	–	–
17	7,3	8,8	2,8	0,3	0,6	2,8	–	–	89	64	11,8	3	1,2	–	–
20	6,7	8,4	0,6	4,9	0,9	1,0	–	–	54	50	0	11	0	–	–

Примечания:

² Значения фаз φ_k , ψ_k соответствуют номерации месяцев от 0 (январь) до 11 (декабрь).

³ Нулевой компонент годового хода математического ожидания $m_0 = 0$, т.к. исходные временные ряды центрированы на среднегодовые значения.

Прочерки соответствуют пренебрежимо малым значениям параметров. Здесь и далее во всех таблицах № п/п дан по табл.1.

Таблица 3

Нормированные корреляционные функции $K(t_1, t_2)$ среднемесячных значений гидрометеорологических процессов в ПКСП– приближении

№ п/п	Месяц	Месяц													
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Ряд 8	I	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,33	Ряд 4	
	II	0,52	1	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	III	0,41	0,42	1	0,40	-	-	-	-	-	-	-	-		
	IV	-	-0,21	-0,31	1	0,46	0,34	-	-	-	0,32	-	-		
	V	-0,34	-0,31	-0,48	-	1	0,57	0,34	-	-	0,31	-	-		
	VI	-	-	-0,30	-	0,20	1	0,50	-	0,31	-	-	-		
	VII	-	-	-0,21	-	-0,22	-	1	0,42	0,40	-	-	-		
	VIII	-0,27	-0,22	-	-	-	-	0,58	1	0,41	-	-	-		
	IX	-0,27	-	-	-0,35	-	-	-	0,34	1	0,41	0,37	0,31		
	X	-	-	-	-0,36	-0,24	-	-	-	0,53	1	0,34	0,30		
	XI	-0,23	-0,25	-	-0,36	-0,28	-	-	-	0,24	0,58	1	0,43		
	XII	0,30	-	-	-0,27	-0,32	-	-	-	-	0,22	0,38	1		
Ряд 18	I	1	0,55	-	-0,30	-0,29	-	-	-	-	-	-	-	Ряд 14	
	II	0,47	1	0,35	-0,22	-0,21	-	-0,32	-0,27	-	-	-0,21	-		
	III	-	0,33	1	0,42	-	-0,38	-0,40	-0,46	-0,50	-0,50	-0,50	-0,29		
	IV	-0,27	-	0,39	1	-	-0,34	-0,23	-0,41	-0,36	-0,34	-0,34	-0,39		
	V	-	-	-	-	1	-	-	-0,23	-0,33	-0,39	-0,29	-0,40		
	VI	-	-0,22	-0,29	-	0,20	1	-	-	-	-	-	-		
	VII	-0,32	-0,26	-0,35	-	-	0,22	1	0,77	0,46	0,28	0,31	-		
	VIII	-	-	-	-0,23	-	-	0,32	1	0,56	0,43	0,49	0,35		
	IX	-0,20	-0,32	-0,27	-0,23	-0,23	-	-	0,25	1	0,49	0,40	0,41		
	X	-0,23	-0,35	-0,26	-	-	-	-	-0,26	0,32	1	0,81	0,60		
	XI	-	-0,26	-	-	-	-0,34	-0,22	-	-0,34	-	0,44	1		0,71
	XII	-0,27	-0,27	-0,25	-	-	-	-	-	-	-	0,21	1		

* Прочерки соответствуют значениям $|K(t_1, t_2)| < 0,2$.

Для построения такой модели требуется знать 12 значений $m(t)$ и 78 значений $K(t, \tau)$. Согласно [4], представим ПКСП в виде

$$\zeta(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \eta_k(t) \exp(i\omega_k t), \quad (4)$$

где $\eta_k(t)$ – стационарные случайные процессы (компоненты) с математическими ожиданиями m_k и ковариационными функциями $K_k(\tau)$, получаемыми путем разложения функций $m(t)$ и $K(t, \tau)$ в ряд Фурье.

Хотя выражение (4) по форме записи похоже на разложение $\zeta(t)$ в ряд Фурье, однако по сути не является таковым, поскольку и коэффициенты, и базисные функции зависят от времени. Поэтому представим на каждом из интервалов коррелированности T компонентную модель ПКСП в виде

$$\zeta(t) = a_0 + \sum_{k=1}^q (a_k \cos \omega_k t + b_k \sin \omega_k t), \quad (5)$$

где коэффициенты a_k и b_k – случайные величины.

Для стационарных процессов допустимо считать величины a_k и b_k независимыми; для ПКСП, как одного из видов нестационарного случайного процесса, (a_k, b_k) зависимы. В качестве примера в табл.4, 5 приведены средние значения $m_{a_k b_k}^*$, дисперсии $D_{a_k b_k}^*$, ковариации $K_{a_k b_k}^*$ и корреляции $r_{a_k b_k}^*$ коэффициентов a_0, a_1, a_2, b_1, b_2 разложения (5) последовательности среднемесячных значений высот волн. Видно (см. табл.5), что коэффициенты a_k и b_k довольно сильно коррелированы.

Таблица 4
Оценки средних значений m^* и дисперсий D^* коэффициентов разложения a_k, b_k разложения (5) для ветрового волнения в Черном море

Коэффициент	m^* , см	D^* , см ²
a_0	80	22
a_1	19	42
b_1	12	17
a_2	2	39
b_2	4	19

Одной из характерных особенностей годовой ритмики является то, что от года к году (j) экстремумы x_{max} и x_{min} среднемесячных значений ζ_{ij} могут наблюдаться (табл.6) в разные месяцы (i). Из нее видно, что наименьшая в году среднемесячная температура воздуха на широте 85° (№ п/п 3) может наблюдаться с декабря по март, максимум температуры воды на поверхности Белого и Балтийского моря (№ п/п 12) – с июля по август, наиболее высокие волны в Черном море (№ п/п 1) – с ноября по март и т.д.

Таблица 5

Оценки ковариаций $K_{a_k b_k}^*$ и коэффициентов корреляции $r_{a_k b_k}^*$ разложения (5) для ветрового волнения в Черном море

Коэффициент		a_0	a_1	b_1	a_2	b_2	$r_{a_k b_k}^*$
$K_{a_k b_k}^*$	a_0	1	0,66	0,54	0,22	0,60	
	a_1	20	1	0,21	0,65	0,47	
	b_1	11	6	1	-0,26	0,52	
	a_2	6	26	-7	1	0,15	
	b_2		13	9	4	1	

Таблица 6

Повторяемость времени наступления годовых экстремумов среднемесячных значений гидрометеорологических процессов, %

№ п/п	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Годовой минимум											
3	25	45	18	0	0	0	0	0	0	0	0	12
8	14	24	10	0	0	4	4	10	17	2	2	13
9	0	6	84	6	0	0	0	0	0	0	0	4
14	1	3	4	34	51	1	3	3	0	0	0	0
16	0	4	20	72	0	0	0	0	0	4	0	0
18	3	16	22	16	21	6	0	1	4	6	1	4
19	5	26	20	20	19	0	0	0	0	0	0	10
	Годовой максимум											
1	26	37	9	0	0	0	0	0	0	0	3	25
2	17	3	11	0	0	0	0	0	3	6	32	28
6	0	0	0	0	7	39	23	27	4	0	0	0
8	0	0	3	84	9	0	0	0	0	2	2	0
9	0	0	0	3	90	6	1	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	62	38	0	0	0	0
14	27	23	12	0	0	1	0	0	1	1	1	34
18	23	10	2	0	0	1	4	7	12	12	11	18
19	3	5	3	0	0	0	0	7	20	36	13	13

Примечание: № п/п согласно табл. 1.

Это означает, что распределение $F_3(x)$ экстремумов имеет вид смеси распределений $F_i(x)$ среднемесячных значений [1]

$$F_3(x) = \sum_i p_i F_i(x), \quad (6)$$

где p_i – повторяемость (из табл.6) появления x_{min} или x_{max} в месяце (i).

Хотя в табл.1 перечислены процессы (сток, соленость, волнение, температура воды и воздуха), имеющие самые различные распределения вероятностей срочных значений, распределения их среднемесячных значений довольно мало отличаются от нормального. Учитывая осреднение исходных

данных по времени (за месяц), а для температуры воздуха – по широтной полосе, принятие гипотезы нормальности можно объяснить, исходя из предельных теорем теории вероятностей. Более того, смеси этих распределений, как видно из табл.7, так же не сильно отличаются от нормальных.

Таблица 7

Моменты и крайние члены выборок годовых экстремумов среднемесячных значений гидрометеорологических процессов

№ п/п	Годовой минимум					№ п/п	Годовой максимум				
	m^*	σ^*	A^*	E^*	min		m^*	σ^*	A^*	E^*	max
3	-33,6	1,9	-0,18	-0,10	-38,2	2	1,2	0,20	0,75	0,90	1,8
8	11,8	4,1	1,61	3,66	4,1	6	28,7	0,5	1,32	2,04	30,0
9	69,2	16,8	0,93	0,89	43,7	8	170	50,8	0,60	-0,08	337
14	17,12	5,23	-0,29	-0,70	5,12	9	1401	324	-0,20	-0,56	2080
16	1,46	0,84	-0,30	-0,91	0,21	12	13,7	1,1	0,14	0,02	16,9
18	691,6	23,5	-0,32	-0,88	638,9	14	28,03	0,65	-0,14	-0,46	29,31
19	441,4	7,9	-1,05	1,02	417,0	18	745,6	21,7	0,06	-0,85	795,2

Примечание: № п/п согласно табл.1.

Для подтверждения этой гипотезы оценки коэффициентов асимметрии (A^*) и эксцесса (E^*) при заданном объеме выборки n на 95% доверительном уровне не должны превосходить заданной границы, например, при $n=100$ $|A^*| \leq 0,46$; $|E^*| \leq 0,9$. Из табл.7 следует, что существенно отличаются от нормального только распределения x_{max} температуры воздуха на широте 20°с.ш. (№ п/п 6) и x_{min} речного стока (№ п/п 8, 9).

В прикладных исследованиях в качестве экстремумов случайных величин часто используют оценку заданного квантиля x_p распределения $F(x)$. Следовательно, за аппроксимацию экстремумов x_{min} и x_{max} , возможных 1 раз в n лет, можно принять

$$X \begin{pmatrix} x_{max} \\ x_{min} \end{pmatrix} = m^* \pm \theta_p \sigma^*, \quad (7)$$

где θ_p – квантиль порядка p стандартного ($m=0, \sigma=1$) нормального распределения. Для $n=100$ $p=0,99$ и $\theta_{0,99}=2,34$.

В выборке объема n оценкой x_p^* называют [3] порядковую статистику $x_{(i)}$, номер которой i представляет собой наибольшее целое число, не превосходящее $(np + 1)$. Порядковые статистики $x_{(i)}$ являются случайными величинами с математическими ожиданиями $m_{x_{(i)}}$ и дисперсиями $D_{x_{(i)}}$. Для нормально распределенных выборок [3]

$$m_{x(i)} \cong \Phi^{-1}\left(\frac{i-0,375}{n+0,25}\right); D_{x(i)} \cong \frac{\left[\frac{i}{n+1}\right]\left[1-\frac{i}{n+1}\right]}{(n+2)\varphi^2_{i/(n+1)}}, \quad (8)$$

где θ_p – функция нормального распределения;

φ_p – значение плотности нормального распределения, соответствующее квантилю с обеспеченностью p .

При $p=0,01$ и $n=100$ оценкой $m_{x_{0,01}}$ может служить $x_{(1)}$, а оценкой среднеквадратического отклонения $\sigma_{x_{0,01}}$ – значение $0,4\sigma^*$. С учетом асимптотической нормальности распределения $X^*_{0,01}$ 95%-ый доверительный интервал будет

$$I_{0,95} = x_{(1)} \pm 0,8\sigma^*. \quad (9)$$

В табл.8 приведены порядковые статистики $x_{(i)}$, $x_{(103)}$ для температуры воздуха (данные №№3–6) как оценки максимумов и минимумов, возможных 1 раз в 100 лет, значения x_{min} , x_{max} , вычисленные по формуле (7) при $n=100$, а также верхние и нижние границы 95%-го доверительного интервала $I_{0,95}$, вычисленные по формуле (9). Из приведенных данных следует, что значения x_{min} , x_{max} не очень существенно отличаются от крайних членов выборок и лежат внутри доверительного интервала.

Таблица 8
Точечные и интервальные оценки экстремумов температуры воздуха, возможных 1 раз в 100 лет, на различных широтах при различных аппроксимациях

Минимумы							
№ п/п	$x_{(i)}$	x_{min}	$I_{95\%}$		$y_{0,5}$	$y_{0,025}$	$y_{0,975}$
3	-39,0	-38,2	-40,4	-37,6	-38,6	-40,6	-37,4
4	-28,5	-28,0	-29,6	-27,4	-28,4	-29,9	-27,4
5	13,8	14,4	13,5	14,1	14,3	13,9	14,6
6	21,6	21,6	21,3	21,9	21,5	21,2	21,7
Максимумы							
№ п/п	$x_{(103)}$	x_{max}	$I_{95\%}$		$y_{0,5}$	$y_{0,025}$	$y_{0,975}$
3	1,7	1,5	1,1	2,3	1,7	1,1	2,6
4	10,0	9,3	9,6	10,4	9,4	9,0	10,0
5	29,0	28,8	28,8	29,2	28,9	28,7	29,2
6	30,7	30,0	30,1	30,9	30,1	29,8	30,6

Крайние члены x_{min} , x_{max} стандартных ($m=0$, $\sigma=1$) нормальных выборок асимптотически распределены по двойному экспоненциальному закону [5]

$$F(y) = \exp[-\exp[-y]]. \quad (10)$$

Для распределения (10) математическое ожидание равно 0,5772; дисперсия 1,645; асимметрия 1,3; эксцесс 5,4; медиана 0,3665; квантили $y_{0,025} = -1,3$ и $y_{0,975} = 3,68$ [2]. Сходимость точных распределений $F^n(x)$ крайних членов к асимптотическому распределению (10) довольно медленная. В частности, для нормального распределения

$$y = a_n x + b_n;$$

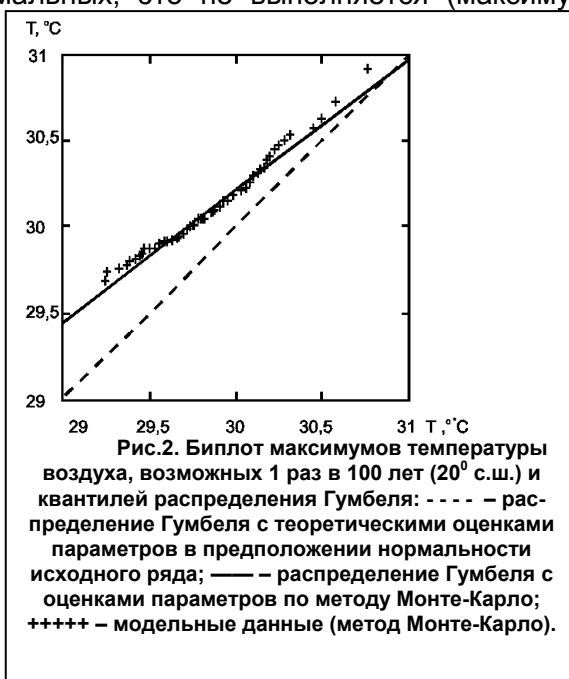
$$a_n = \sqrt{2 \ln n};$$

$$b_n = a_n - \frac{\ln[\ln n] + \ln[4\pi]}{2\sqrt{2 \ln n}}.$$
(11)

В табл.8 для температуры воздуха (ряды №№3–6) приведены медианные значения $(y_{0,5})$ и границы 95%-го вероятностного интервала $(y_{0,025}, y_{0,975})$ распределения (10) для $n=100$. Из таблицы видно, что если распределения (6) для рассматриваемых процессов близки к нормальным (см. табл.7), то выборочные экстремумы $x_{(1)}, x_{(103)}$ близки к их средним теоретическим значениям и находятся внутри вероятностных интервалов, хотя для распределений, отличных от нормальных, это не выполняется (максимум температуры воздуха на 20° с.ш., № п/п 6). Таким образом, при существенном отличии теоретических подходов к точечным и интервальным оценкам годовых экстремумов их количественные расхождения, согласно табл.8, невелики.

Для распределений $F_3(x)$, отличающихся от нормального, a_n, b_n отличаются от соотношений (11). Поэтому наиболее надежные выводы о распределении крайних членов выборки из распределения (6) могут быть получены лишь с применением метода статистических испытаний (Монте-Карло) [9].

На рис.2 в качестве примера сопоставлено в форме биплота теоретическое распределение (11) для температуры воздуха на 20° с.ш. (№ п/п 6) с распределением крайних членов, полученным по 100 выборкам из распределения (7) при $n=100$, с генерированным методом Монте-Карло. Несмотря на существенные асимметрию и эксцесс исходного распределения, видно (см. рис.2), что крайние члены выборки распределены близко к асимптотическому распределению (10), однако оценки параметров по (11) не-



сколько отличаются от полученных по модельному ансамблю вследствие сложного характера смеси (6) для данного процесса.

В том случае, когда повторяемость экстремумов по месяцам p_i , а, следовательно, и функция распределения (6) неизвестны, или ряды исходных данных недостаточно длинны для построения надежных оценок p_i , их структура может быть восстановлена путем вероятностного моделирования. Для решения этой задачи используем метод условных распределений [9], обобщающий метод обратной функции для одномерной случайной величины, согласно которому ансамбль реализаций $\{\zeta_{ij}\}$ значений случайной функции в момент времени t_j может быть получен цепочкой рекуррентных соотношений

$$\begin{aligned} \zeta_{i1} &= \mathfrak{F}_1^{-1}(\gamma_{i1}), \\ \zeta_{i2} &= \mathfrak{F}_2^{-1}(\gamma_{i2} | \zeta_{i1}), \\ &\dots\dots\dots \\ \zeta_{in} &= \mathfrak{F}_n^{-1}(\gamma_{in} | \zeta_{i1}, \dots, \zeta_{i(n-1)}). \end{aligned} \quad (12)$$

Здесь $\{\gamma_{jk}\}$ – n -мерный вектор псевдослучайных чисел;

$\mathfrak{F}_k(\bullet)$ – условные функции распределения величин ζ_k , связанные соотношением

$$F_\zeta(x_1, \dots, x_n) = \mathfrak{F}_1(x_1) \prod_{k=2}^n \mathfrak{F}_k(x_k | x_1, \dots, x_{k-1}). \quad (13)$$

Поскольку для подавляющего большинства рассмотренных в табл.7 процессов распределения $F_i(x)$ в (6) могут полагаться нормальными, формулы (12,13) существенно упрощаются; задача моделирования сводится к созданию ансамбля независимых нормальных случайных векторов $Z = \{\zeta_1, \dots, \zeta_{12}\}$, с заданным вектором средних значений \bar{m} и корреляционной матрицей $\bar{K}_{\zeta_i \zeta_j}$ (см. табл.3). Для этой цели применяется метод условных математических ожиданий [6], являющийся двухэтапной модификацией метода (12). На первом этапе генерируется n -мерная система независимых гауссовых случайных величин $\eta_k \in n(0,1)$. На втором маргинальные распределения согласуются с помощью линейного преобразования

$$\tilde{Z} = \bar{m} + L\tilde{\eta}, \quad (14)$$

где матрица L выбирается таким образом, чтобы ковариационная матрица вектора \tilde{Z} была равна $K_{\zeta_i \zeta_j}$, т.е. $LL^T = K_{\zeta_i \zeta_j}$. Полагая L левой треугольной и раскрывая (14) покомпонентно, получим более простую цепочку линейных рекуррентных соотношений [6]

$$\begin{aligned} \zeta_{i1} &= m_1 + l_{11}\eta_{i1}; \\ \zeta_{i2} &= m_2 + l_{21}\eta_{i1} + l_{22}\eta_{i2}; \\ &\dots\dots\dots \\ \zeta_{in} &= m_n + l_{n1}\eta_{i1} + l_{n2}\eta_{i2} + \dots + l_{nn}\eta_{in}. \end{aligned} \tag{15}$$

Параметры компонентной модели (5) ритмики $\{a_k, b_k\}$ тоже образуют систему зависимых случайных величин, закон распределения которых также может быть принят нормальным вследствие предельных теорем теории вероятностей, что позволяет по заданной корреляционной матрице $K_{a_k b_j}$ и значениям m_a, m_b (см. табл.4, 5) моделировать ансамбль коэффициентов $\{a_k, b_k\}$ с помощью преобразования (14), восстанавливая образ годового хода по выражению (5).

Под моделью А будем понимать (2), когда в (3) Φ_k заменено на $\Phi_k(t)$, т.е. учтена вся корреляционная матрица $K(t, \tau)$ из табл.3; под моделью Б – модель (2), (3), т.е. стационарное приближение к ПКСП; под моделью В – (5) при $q = 5$. В табл.9 сопоставлены оценки p_i из табл.6, с модельными значениями. Через $I_{0,95}$ обозначим доверительный интервал, вычисленный по формуле

$$I_{0,95} = 4 \sqrt{\frac{p^*(1-p^*)}{n}}, \tag{16}$$

где n – объем выборки из табл.1.

Когерентная модель Б может конкурировать с А для процессов с годовым ходом, близким по форме к косинусоиду с годовой периодичностью, в том случае, когда межгодовая изменчивость параметров годового хода проявляется в виде амплитудной модуляции (ветровое волнение, № п/п 1, см. табл.1). Модель Б уступает А, когда на межгодовую изменчивость существенное воздействие наряду с амплитудной оказывает частотно-фазовая модуля-

Таблица 9

Натурные и модельные оценки повторяемости годовых экстремумов по месяцам

Месяц	p_i	$I_{0,95}$	Модели		
			А	Б	В
Годовые максимумы высот волн (1)					
XI	2	1	2	2	1
XII	32	4	29	32	29
I	33	4	35	33	35
II	23	4	24	23	26
III	9	2	9	9	9
Годовые максимумы температуры воздуха (3)					
VI	2	3	0	1	3
VII	94	4	91	83	82
VIII	4	4	9	16	15
Годовые минимумы температуры воздуха (3)					
XII	12	6	6	12	8
I	25	8	31	28	24
II	45	10	41	40	48
III	18	8	22	20	20
Паводки (8)					
III	3	3	4	0	3
IV	84	7	83	91	85
V	9	5	12	7	10
VI – IX	0	-	0	1	0
X	2	2	1	0	0
XI	2	2	1	1	2
Годовые минимумы уровня моря (17)					
I	7	5	9	8	4
II	18	8	14	12	17
III	25	9	22	26	20
IV	19	8	21	18	21
V	13	7	17	16	15
VI	2	3	2	4	5
VII – IX	0	-	1	1	1
X	2	3	2	2	1
XI	8	6	7	7	10
XII	5	4	5	5	6

ция (температура воздуха на 85° с.ш., № п/п 3, см. табл.1), а также для процессов со сложным спектром годового хода (уровень моря, № п/п 17, см. табл.1). Анализ данных табл.9 показывает, что распределение p_i восстанавливается более качественно для одномодальных распределений; для многомодальных распределений различия в исходных и восстановленных значения p_i возрастают. Наиболее надежные результаты дает общая когерентная модель А.

Степень воспроизводимости p_i (7) с помощью компонентной модели ПСКП (5) существенно зависит от числа гармоник q ; в большинстве случаев уже учет годовой и полугодовой гармоник ($q=1,2$) позволяет выявить основные тенденции появления экстремумов. При увеличении q до 5 оценки p_i по компонентной модели В сходятся к оценкам по когерентной модели А и p_i^* по натурным данным.

С целью предсказания величины годовых экстремумов и времени их появления. необходимо усвоение непрерывно возобновляемых данных ζ_{ij} с помощью модели в пространстве состояний вида [11]

$$\begin{aligned} X_{t+1} &= F_t X_t + W_t; \\ Y_t &= H_t X_t + v_t, \end{aligned} \quad (17)$$

где X_t – n -мерный вектор фазовых переменных состояния;

F_t – матрица перехода;

W_t – n -мерный вектор шума системы (или ошибок модели);

Y_t – m -мерный вектор измерений;

H_t – матрица измерений;

v_t – m -мерный вектор ошибок измерений.

Обычно $m[W_t] = m[v_t] = 0$, дисперсии D_w, D_v заданы. Процессы W_t, v_t некоррелированы и их ковариационные функции $K_w(\tau) = 0, K_v(\tau) = 0, K_{wv}(\tau) = 0, \tau \neq 0$.

Примем за Y_t временной ряд среднемесячных значений ζ_{ij} и представим годовую ритмику гидрометеорологических процессов моделью А ПСКП в виде (2) с заменой (3) на

$$\zeta_t = \sum_{k=1}^n \Phi_k(t-k) \zeta_{t-k} + \varepsilon_t, \quad (18)$$

где $\Phi_k(\bullet)$ – коэффициенты, зависящие от времени и вычисляемые по корреляционной функции $K(t, \tau)$;

ε_t – белый шум.

Как видно из табл.3, для большинства гидрометеорологических процессов интервал корреляции составляет 2–3 мес., хотя уже при сдвигах более

одного месяца корреляция становится достаточно слабой. Следовательно, ζ_t , строго говоря, не является фазовой переменной, поскольку значения ζ_t могут зависеть от значений за 2 и более предшествующих месяца. Однако за фазовую переменную можно принять вектор

$$X_{t-1} = \begin{bmatrix} \zeta_{t-1} \\ \zeta_{t-2} \\ \dots \\ \zeta_{t-n} \end{bmatrix}, \quad (19)$$

а в качестве матрицы перехода рассматривать [11,12]

$$F_{t-1} = \begin{bmatrix} \Phi_1 & \Phi_2 & \dots & \Phi_n \\ 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Обозначим через $X_{t,t-1}$ оценку X_t , полученную с использованием информации, доступной к моменту времени $t-1$, через Y_t – оценку X_t , содержащую шум, и через

$$X_{t|t} = X_{t,t-1} + K_t [Y_t - H_t X_{t,t-1}]. \quad (21)$$

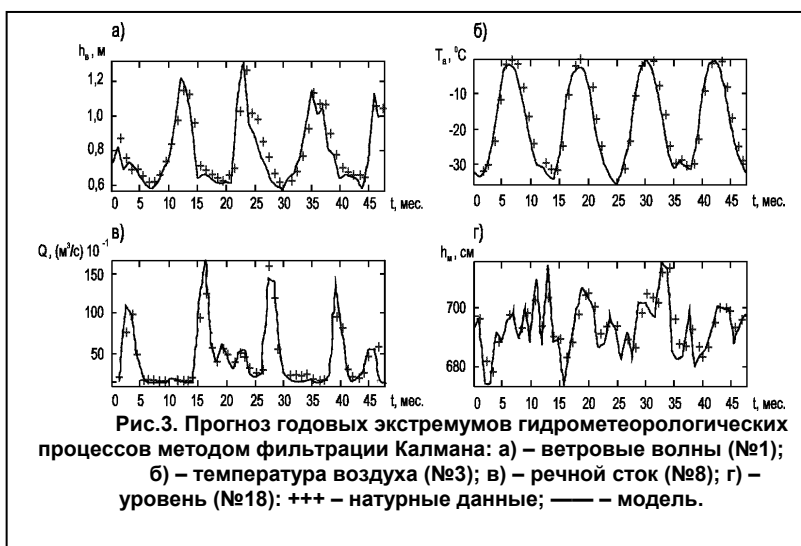
Процедура (21), приводящая к наилучшей несмещенной оценке с наименьшей дисперсией, названа калмановской фильтрацией, а матрица K_t – коэффициентом усиления Калмана [11].

На рис.3 приведены фрагменты реализаций фактических среднемесячных значений ζ_{ij} температуры воздуха, уровня, речного стока и ветровых

волн, а также результат прогнозирования

$X_{t|t}$ на один месяц по алгоритму (17-21). Математические ожидания m и среднеквадратические отклонения σ ошибок прогноза величин годовых экстремумов

$\delta = \zeta_{ij} - X_{t|t}$ и средние значения абсолютной



величины ошибки прогноза времени наступления экстремума $\Delta = |T_t - T_{t\bar{t}}|$ приведены в табл.10.

Из рис.3 и табл.10 видно, что совпадение прогностических и диагностических значений удовлетворительное. При этом, в отличие от моделей (3,4,6), наиболее достоверен прогноз в случае, когда распределение p_i стремится к вырожденному (максимум температуры воздуха, №3), а наименее достоверен он тогда, когда образ годового хода многомодальный (уровень, №18). Этим объясняется и то, что для всех рассмотренных в табл.10 процессов (кроме уровня) характерно более низкое качество прогноза времени наступления минимума, чем максимума.

Таблица 10
Ошибки прогноза фильтром Калмана годовых экстремумов

№ п/п	Минимум			Максимум		
	$m[\Delta]$	$m[\delta]$	$\sigma[\delta]$	$m[\Delta]$	$m[\delta]$	$\sigma[\delta]$
1	0,52	-0,02	0,02	0,24	0,07	0,08
3	0,34	-0,81	0,90	0,05	0,06	0,40
8	1,06	-1,45	1,99	0,21	19,43	33,86
17	0,72	-4,94	3,01	0,75	5,86	3,88

Примечание: № п/п согласно табл.1.

Выводы

1. Распределения годовых экстремумов гидрометеорологических процессов можно интерпретировать как смесь (6) распределений их средне-месячных значений.
2. Для оценивания квантилей распределения годовых экстремумов целесообразно использовать вероятностные модели ПКСП в когерентной и компонентной формах, в зависимости от характерных особенностей годовой ритмики и специфики исходных данных.
3. Для мониторинга годовых экстремумов гидрометеорологических процессов целесообразно применять фильтр Калмана, который позволяет не только усваивать текущую информацию в реальном масштабе времени, но и оценивать экстремумы как по времени наступления, так и по величине.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №98-05-64469.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г.В., Бухановский А.В., Иванов Н.Е., Рожков В.А. Распределение годовых экстремумов температуры воздуха. Известия РГО, 1999, т.131, вып.4, с.26–30.
2. Алексеев Г.В., Иванов Н.Е., Рожков В.А. Закономерности годовой ритмики и межгодовой изменчивости температуры воздуха в высоких и умеренных широтах Северного полушария. Известия РГО, 1998, вып. 3, с. 34 – 41.
3. Введение в теорию порядковых статистик. Под ред. А.Е.Сархана и Б.Г.Гринберга. М., Финансы и статистика, 1970.
4. Губанов В.С. Обобщенный метод наименьших квадратов. Теория и применение в астрометрии. СПб., Наука, 1997.
5. Драган Я.П., Рожков В.А., Яворский И.Н. Методы вероятностного анализа океанологических процессов. Л., Гидрометеоиздат, 1984.

6. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Статистическое моделирование. М., Наука, 1982.
7. Лидбеттер М., Ротсен Х., Линдгрэн Г. Экстремумы случайных последовательностей и рядов. М., Мир, 1989.
8. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). Под ред. Шрейдера Ю.А. М., Физматгиз, 1962.
9. Проблемы исследования и математического моделирования ветрового волнения. Под ред. И.Н.Давидана. СПб., Гидрометеиздат, 1995.
10. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. М., Наука, 1973.
11. Справочник по прикладной статистике. Под ред. Э.Ллойда, У.Ледермана. Том 2. М., Финансы и статистика, 1990.
12. Рожков В.А. Теория вероятностей случайных событий, величин и функций с гидрометеорологическими примерами. СПб., Гидрометеиздат, 1996.
13. Рожков В.А., Трапезников Ю.А. Вероятностные модели океанологических процессов. Л., Гидрометеиздат, 1990.

ГРНТИ 78.21.37.15.17

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЕРТИКАЛЬНО НЕОДНОРОДНОГО ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

**А.В. БУХАНОВСКИЙ,
Е.Н. ЗАХАРЧЕНКО,
Н.Е. ИВАНОВ,
Ю.П. КЛЕВАНЦОВ,
В.А. РОЖКОВ**
(СПб отделение ГОИН)

На примере вертикального распределения температуры, солёности и плотности морской воды, а также скорости течений в Балтийском море рассматриваются вопросы снижения мерности вероятностных характеристик и синтеза результатов анализа в виде вероятностной авторегрессионной модели.

Одним из традиционных видов океанологической информации являются временные ряды температуры, солёности воды, гидрохимических элементов, скорости течений на нескольких горизонтах, полученные по данным измерений в фиксированной точке моря. При статистической обработке и анализе этих данных используется вероятностная модель неоднородной по вертикали скалярной $\zeta(z, t)$ или векторной $\vec{V}(z, t)$ случайной функции [1]. В соответствии с этой моделью основными вероятностными характеристиками $\zeta(z, t)$ являются математическое ожидание $m_\zeta(z, t)$ и ковариационная функция $K_\zeta(z_1, z_2, t, \tau)$, а для $\vec{V}(z, t)$ – вектор математического ожидания $\vec{m}_V(z, t)$ и ковариационная тензор-функция $K_V(z_1, z_2, t, \tau)$. В качестве примера в табл. 1 приведены вычисленные по данным сезонных съёмов (1960–1990 гг.) на станции ВУ-15 в Балтийском море (Готландская впадина) средние значения $m_\zeta^*(z_j)$ и оценки $\sigma_\zeta^*(z_j) = \sqrt{D_\zeta^*(z_j)}$ среднеквадратических отклонений (СКО) температуры (T), солёности (S) и рассчитанной по ним по стандартной ме-

тодике безразмерной условной плотности ρ на стандартных горизонтах для характерных месяцев зимнего и летнего сезонов.

Таблица 1

Средние значения (m^*) и СКО (σ^*) вертикальных распределений температуры, солености и безразмерной условной плотности воды на стандартных горизонтах (станция ВУ-15)

z , м	T , град.				S , ‰				ρ			
	Март		Август		Март		Август		Март		Август	
	m^*	σ^*	m^*	σ^*	m^*	σ^*	m^*	σ^*	m^*	σ^*	m^*	σ^*
0	1,41	1,14	16,67	2,20	7,63	0,21	7,30	0,44	6,16	0,17	4,47	0,59
10	1,42	1,14	16,25	1,99	7,63	0,21	7,32	0,42	6,16	0,17	4,57	0,55
20	1,46	1,13	11,82	3,91	7,66	0,19	7,43	0,38	6,18	0,16	5,27	0,60
30	1,50	1,14	5,05	1,79	7,70	0,19	7,64	0,34	6,22	0,15	6,09	0,29
40	1,62	1,08	3,69	0,97	7,74	0,20	7,72	0,31	6,26	0,15	6,21	0,25
50	1,88	1,00	3,09	0,92	7,79	0,24	7,80	0,30	6,31	0,18	6,29	0,24
60	2,72	1,09	2,89	0,88	8,13	0,59	7,99	0,38	6,59	0,45	6,44	0,30
70	3,69	0,87	3,42	0,75	9,00	0,84	8,65	0,68	7,28	0,65	6,96	0,54
80	4,51	0,46	4,10	0,61	9,96	0,66	9,48	0,86	8,02	0,49	7,59	0,67
90	4,79	0,40	4,55	0,59	10,49	0,58	10,14	0,79	8,43	0,41	8,10	0,62
100	4,90	0,41	4,78	0,54	10,81	0,55	10,64	0,70	8,68	0,37	8,49	0,54
125	5,22	0,33	5,19	0,44	11,52	0,48	11,46	0,61	9,22	0,32	9,12	0,46
150	5,41	0,32	5,39	0,39	12,01	0,39	12,00	0,53	9,60	0,23	9,53	0,41
175	5,58	0,33	5,49	0,42	12,25	0,34	12,24	0,50	9,77	0,17	9,72	0,38
200	5,70	0,39	5,56	0,45	12,38	0,33	12,37	0,46	9,87	0,16	9,82	0,35
225	5,79	0,44	5,61	0,51	12,47	0,32	12,48	0,45	9,93	0,15	9,90	0,34

Видно, что для T , S и ρ характерна неоднородность по вертикали, проявляющаяся в отличии $m^*(z)$, $\sigma^*(z)$ от постоянных, наличии слоев с повышенными градиентами dm^*/dz , $d\sigma^*/dz$ (термоклин, галоклин, пикноклин), а также нестационарность, поскольку m и σ зависят от времени t . В центральной части Балтийского моря обычно выделяют две водные массы – распресненную поверхностную и осолоненную глубинную [2], разделенные галокином в слое 60 – 80 м. В холодный сезон в верхнем распресненном слое T и ρ мало меняются по z , а в теплый сезон здесь создаются сезонный термоклин и пикноклин. Глубина сезонных слоев скачка и величины dT/dz , $d\rho/dz$ в них изменяются по t – в августе они располагаются в слое 20–30 м, а вертикальные градиенты T и ρ достигают максимальных значений. В нижнем осолоненном слое T , S и ρ относительно медленно увеличиваются по z и мало меняются в течение года. Для вертикального распределения $\sigma_s^*(z)$ характерно увеличение СКО солености в галоклине по сравнению с поверхностным и глубинным слоями и незначительные изменения от зимы к лету. Изменчивость температуры зимой характеризуется квазипостоянством $\sigma_T^*(z)$ по z в пределах верхнего и глубинного слоев. В поверхностном квазиоднородном слое и в сезонном термоклине σ_T летом резко увеличивается; в глубинном слое годового хода σ_T практически нет. Вертикальное

распределение $\sigma_p^*(z)$ характеризуется типичным для всех сезонов увеличением СКО в главном пикноклине и летним увеличением СКО в поверхностном квазиоднородном слое и в сезонном пикноклине.

Следует отметить, что практически на всех горизонтах изменчивость S и ρ во все сезоны, а T , кроме зимнего, относительно мала, т.к. коэффициент вариации (σ^*/m^*) значительно меньше 1. Эта особенность обосновывает целесообразность развития методов классификации вертикальных профилей [3, 4].

В табл. 2 приведены оценки корреляционной матрицы $r_{\zeta}^*(z_i, z_j)$ температуры для марта (ниже диагонали) и августа (выше диагонали). Видно, что значения T на горизонтах z_i и z_j коррелированы; между соседними горизонтами r достигает почти 1, с увеличением расстояния между горизонтами r уменьшается, в поверхностном (в начале весны – март) и глубинном квазиоднородных слоях можно выделить области повышенных значений r .

Таблица 2

Оценка корреляционной матрицы $r_{\zeta}^*(z_i, z_j)$ температуры воды *

$z_i, \text{ м}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	225
Август																
0	1	0,85	-0,13	0,16	0,29	0,26	0,31	0,24	0,20	0,18	0,21	.	.	.	.	.
10	0,99	1	-0,15	.	0,28	0,34	0,33	0,26	0,18	0,15	0,17	.	.	.	-0,10	-0,14
20	0,99	0,99	1	0,42	0,27	0,16	0,18	0,14	.	.	-0,11	.	.	0,10	0,12	0,11
30	0,97	0,97	0,99	1	0,58	0,29	0,38	0,31	.	-0,13	-0,19	.	-0,10	.	.	.
40	0,94	0,94	0,96	0,98	1	0,81	0,71	0,37	.	0,11	0,13	.	-0,27	-0,25	-0,27	-0,30
50	0,80	0,80	0,82	0,85	0,90	1	0,87	0,42	0,15	0,22	0,17	-0,10	-0,25	-0,29	-0,29	-0,29
60	0,36	0,36	0,37	0,38	0,42	0,59	1	0,56	0,22	0,23	0,20	.	-0,14	-0,18	-0,19	-0,16
70	0,10	0,11	0,14	0,12	0,13	0,26	0,72	1	0,62	0,42	0,28	0,31	.	.	.	.
80	0,30	0,30	0,31	0,31	0,29	0,27	0,45	0,49	1	0,81	0,65	0,61	0,35	0,25	0,19	0,20
90	0,49	0,49	0,48	0,51	0,47	0,37	0,43	0,20	0,77	1	0,87	0,69	0,41	0,27	0,21	0,20
100	0,42	0,42	0,41	0,43	0,39	0,32	0,34	0,19	0,72	0,87	1	0,75	0,48	0,31	0,22	0,18
125	0,21	0,20	0,19	0,21	0,17	.	0,13	.	0,57	0,84	0,86	1	0,83	0,67	0,59	0,52
150	.	.	.	.	.	.	.	0,14	0,62	0,74	0,76	0,89	1	0,92	0,83	0,73
175	-0,12	-0,12	-0,14	-0,12	-0,17	-0,25	.	0,15	0,54	0,61	0,64	0,76	0,93	1	0,96	0,89
200	-0,22	-0,22	-0,24	-0,22	-0,28	-0,34	.	0,13	0,47	0,48	0,52	0,59	0,79	0,95	1	0,95
225	-0,21	-0,21	-0,23	-0,21	-0,27	-0,34	.	.	0,40	0,39	0,44	0,47	0,68	0,87	0,97	1
$z_j, \text{ м}$	Март															

* Примечание: Не указаны значения корреляции для $|r| \leq 0,1$.

В табл. 3 приведены оценки векторов $\vec{m}_{\bar{v}}(z)$ и инвариантов тензоров СКО, вычисленные по данным продолжительных 40-суточных синхронных (с часовой дискретностью) измерений скорости течения на 11-ти горизонтах в прибрежной части центральной Балтики, а в табл. 4 – матрица оценок инвариантов корреляционного тензора $r_{\bar{v}}(z_i, z_j)$. Из табл. 3 видно, что и модуль и направление вектора средней скорости течения изменяются по вертикали, особенно резко на трех верхних горизонтах; ниже 4 м течение довольно ста-

бильно, так как значения $|\vec{m}_{\vec{v}}|$ меняются в пределах 1 см/с, а φ – в пределах приблизительно 10° .

Таблица 3

Средняя скорость и инварианты тензоров СКО вертикального распределения скорости течения

z, м	Средняя скорость течения		Инварианты тензора СКО					Коэффициент изменчивости $I_1/|\vec{m}_{\vec{v}}|$
	модуль $|\vec{m}_{\vec{v}}|$, см/с	направление φ , град.	$\sqrt{\lambda_1}$, см/с	$\sqrt{\lambda_2}$, см/с	α , град.	$I_1 = \sqrt{\lambda_1 + \lambda_2}$, см/с	$\chi = \sqrt{\lambda_2}/\sqrt{\lambda_1}$	
1	30,3	85	24,3	22,0	149	46,3	0,91	1,5
2	5,8	88	14,4	8,2	176	22,6	0,57	3,9
3	3,5	164	10,8	4,0	167	14,8	0,37	4,2
4	2,9	161	10,6	3,4	168	14,0	0,32	4,8
5	2,7	161	10,4	3,0	168	13,4	0,29	5,0
6	2,4	161	10,2	2,7	169	12,9	0,27	5,4
7	2,3	159	9,9	2,6	169	12,5	0,26	5,4
8	2,3	155	9,7	2,4	170	12,1	0,25	5,3
9	2,1	153	9,4	2,3	169	11,7	0,25	5,6
10	2,0	150	9,1	2,3	169	11,4	0,25	5,7
11	1,9	149	8,6	2,3	168	10,9	0,27	5,7

Эллипс СКО скорости течения с полуосями $\sqrt{\lambda_1}$ и $\sqrt{\lambda_2}$ и направлением большей оси α также меняется по вертикали. В частности, линейный инвариант I_1 уменьшается от приблизительно 50 см/с у поверхности до 10 см/с у дна; показатель эллиптичности χ характеризует изменение СКО от почти кругового у поверхности до реверсивного у дна; в поверхностном слое α и φ существенно различны, а на нижних горизонтах отличаются друг от друга всего на $10\text{--}20^\circ$. Коэффициент $I_1/|\vec{m}_{\vec{v}}|$ существенно больше 1 и достигает 5 на нижних горизонтах, т.е. стохастические изменения намного больше регулярных [5].

Когда два случайных вектора \vec{U} и \vec{V} связаны линейной зависимостью

$$(\vec{V} - \vec{m}_{\vec{v}}) = A_{\vec{v}\vec{u}}(\vec{U} - \vec{m}_{\vec{u}}), \quad (1)$$

то корреляционным тензором называют [1, 6] величины

$$\begin{aligned} R_{\vec{u}\vec{v}}^2 &= A_{\vec{u}\vec{v}} A_{\vec{u}\vec{v}} \\ R_{\vec{v}\vec{u}}^2 &= A_{\vec{v}\vec{u}} A A_{\vec{u}\vec{v}} \end{aligned} \quad (2)$$

где $A_{\vec{v}\vec{u}} = D_{\vec{v}\vec{u}} D^{-1}_{\vec{u}}$; $A_{\vec{u}\vec{v}} = D_{\vec{u}\vec{v}} D^{-1}_{\vec{v}}$; $D_{\vec{u}}, D_{\vec{v}}$ – тензоры дисперсии \vec{U}, \vec{V} ;

$D_{\vec{u}\vec{v}}, D_{\vec{v}\vec{u}}$ – тензоры взаимной дисперсии (ковариации) векторов \vec{U}, \vec{V} .

Элементы тензоров $R^2_{\vec{u}\vec{v}}$ и $R^2_{\vec{v}\vec{u}}$ различаются, инварианты ρ_1, ρ_2 совпадают и имеют смысл коэффициентов канонической корреляции векто-

ров \bar{U}, \bar{V} ; ρ_1 и ρ_2 – положительные величины, принимающие значения от 0 до 1, $\rho_1 \geq \rho_2$.

В табл. 4 выше диагонали приведены коэффициенты ρ_1 (верхняя строка) и ρ_2 (нижняя строка) канонической корреляции скорости течений, характеризующие меру их линейной статистической зависимости (1) на 11 горизонтах (индекс горизонта z указывает глубину измерений, м); ниже диагонали – инвариант $\alpha_{i,j}$, который определяет направление большой оси кривой 2-го порядка (гипербола, эллипс) тензора $R_{\bar{U}\bar{V}}^2$ и используется для оценки угловой согласованности движений на горизонтах z_i и z_j .

Таблица 4

Коэффициенты канонической корреляции между векторами течений на 11 горизонтах

Горизонт	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9	z_{10}	z_{11}
z_1	1 1	0,91 0,79	0,78 0,33	0,79 0,31	0,78 0,26	0,76 0,20	0,72 0,21	0,69 0,20	0,66 0,08	0,62 0	0,59 0
z_2	183	1 1	0,89 0,15	0,89 0,02	0,88 0	0,87 0	0,85 0	0,82 0	0,80 0	0,78 0	0,74 0
z_3	156	156	1 1	0,98 0,82	0,96 0,70	0,94 0,57	0,92 0,45	0,90 0,35	0,88 0,26	0,86 0,18	0,83 0,14
z_4	157	156	167	1 1	0,99 0,86	0,97 0,74	0,95 0,62	0,93 0,51	0,91 0,39	0,89 0,29	0,86 0,21
z_5	158	156	166	164	1 1	0,99 0,88	0,97 0,76	0,96 0,63	0,94 0,50	0,92 0,39	0,90 0,30
z_6	160	156	165	165	167	1 1	0,99 0,86	0,98 0,75	0,96 0,60	0,94 0,46	0,92 0,35
z_7	162	155	164	163	164	164	1 1	0,99 0,86	0,98 0,72	0,96 0,58	0,94 0,44
z_8	162	154	164	162	162	162	167	1 1	0,99 0,82	0,98 0,69	0,96 0,53
z_9	165	154	164	163	163	164	168	171	1 1	0,99 0,82	0,97 0,67
z_{10}	167	154	164	163	164	165	168	171	171	1 1	0,98 0,78
z_{11}	167	154	164	163	164	165	169	172	170	169	1
$\alpha_{i,j}$, град.											

Согласно табл. 4 значения ρ_1 больше 0,9 между соседними горизонтами и между всеми горизонтами нижнего слоя, они уменьшаются лишь между верхним и нижним слоями; значения ρ_2 между верхним слоем и нижележащими горизонтами (горизонты 1 и 2 м) быстро убывают с глубиной, т.е. кор-

реляционная зависимость становится одномерной; в нижнем слое ρ_2 почти всегда превышает $0,5 \rho_1$, т.е. двумерность связи сохраняется. Углы $\alpha_{i,j}$ из табл. 4 в слое 3–11 м практически совпадают со значениями α из табл. 3, т.е. можно говорить о коллинеарности корреляционной зависимости; на верхних двух горизонтах имеются различия между α и $\alpha_{i,j}$.

Из анализа табл. 2–4 можно сделать вывод о том, что модель неоднородной по вертикали случайной функции позволяет довольно подробно описать свойства анализируемых вертикальных профилей T, S, ρ, \bar{V} ; однако мерность рассматриваемых вероятностных характеристик $m(z)$ и $K(z_1, z_2)$, а тем более $m(z, t)$ и $K(z_1, z_2, t, \tau)$ высока.

Обсуждение вопросов, связанных с ее уменьшением, а также сжатием результатов анализа на основе построения регрессионных моделей и является целью настоящей работы.

Разложение вертикальных профилей по системе ортогональных полиномов. Представим функции

$$\zeta(t, z) = \sum_k a_k(t) \varphi_k(z); \quad (3)$$

$$\bar{V}(t, z) = \sum_k \bar{a}_k(t) \varphi_k(z) \quad (4)$$

в виде разложения в ряд по ортогональным полиномам $\varphi_k(z)$ с коэффициентами $a_k(t)$. При фиксированном t реализация случайной функции – вертикальный профиль $\zeta(z)$ или $\bar{V}(z)$ – заменяется набором случайных величин α_k , т.е. происходит упрощение модели.

В работах [7, 8] в качестве базисных функций $\varphi_k(z)$ взяты собственные векторы матрицы дисперсии $K_\zeta(z_i, z_j)$ и показано, что они имеют довольно сложную форму, близкую к параболам различного порядка. В настоящей работе в качестве $\varphi_k(z)$ используются полиномы П.Л.Чебышева, ортогональные на конечной системе точек $z_j; j = \overline{1, m}$, задаваемые рекуррентными формулами [9, 10, 11]

$$\varphi_0(z) = 1; \varphi_1(z) = z - \frac{m+1}{2}; \varphi_{k+1}(z) = \varphi_1 \varphi_k - \frac{k^2(m^2 - k^2)}{4(4k^2 - 1)} \varphi_{k-1}, \quad (5)$$

где $k = 1, 2, \dots, m-1$.

Выбор таких простейших полиномов позволяет наиболее наглядно показать специфику метода анализа исходных данных, а также избежать необходимости предварительного нахождения собственных векторов матрицы $K_\zeta(z_i, z_j)$, учета их выборочной изменчивости и нестационарности. Коэффициенты a_k , определяемые через скалярное произведение $(\zeta(z), \varphi_k(z))$ функций $\zeta(z)$ и $\varphi_k(z)$, вычисляются по формуле

$$a_k = \frac{\sum_{j=1}^m \zeta(z_j) \varphi_k(z_j)}{\sum_{j=1}^m \varphi_k^2(z_j)}. \quad (6)$$

Они характеризуют вклад каждой из степенных функций $\varphi_k(z)$ в аппроксимацию вертикального профиля $\zeta(z)$. При наборе a_k от 0 до $m-1$ полиномы (5) приводят аппроксимацию (3) к интерполяционной формуле; при меньшем количестве членов можно говорить о среднеквадратическом приближении $\zeta(z)$ выражением (3).

Поскольку выражение (3) линейно относительно a_k , функция $\zeta(z)$ неоднородна по z , значения $\zeta(z_j)$ и $\zeta(z_v)$ коррелированы (т.е. $m_\zeta(z) \neq const$ и $K_\zeta(z_j, z_v) \neq 0$), то математическое ожидание

$$m_{a_k} = M\{a_k\} = (m_\zeta(z), \varphi_k(z)),$$

а ковариационная функция

$$K_{a_k a_s} = \sum_j D(z_j) \varphi_k(z_j) \varphi_s(z_j) + 2 \sum_{j>v} K_\zeta(z_j, z_v) \varphi_k(z_j) \varphi_s(z_v). \quad (7)$$

Рассмотрим простейший пример, когда случайный профиль $\zeta(z_k)$, заданный на трех горизонтах ($z = 1, 2, 3$), приближается выражением (3) вида $\zeta(z) = a_0 \varphi_0(z) + a_1 \varphi_1(z) + \varepsilon$. При $\varphi_0(z) = 1$, $\varphi_1(z) = z - 2$ из (6) получим

$$K_{00} = \frac{1}{9} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2(k_{12} + k_{23} + k_{13}));$$

$$K_{11} = \frac{1}{4} (\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - 2k_{13});$$

$$K_{01} = K_{10} = \frac{1}{6} (\sigma_3^2 - \sigma_1^2 - k_{12} + k_{23}),$$

где σ_j – СКО;

k_{ij} – коэффициенты ковариации $K_\zeta(z_i, z_j)$ по горизонтам z_i, z_j .

Поскольку $\sigma_1 \neq \sigma_3$ и $k_{12} \neq k_{23}$, то коэффициенты разложения $\{a_{km}\}$ будут коррелированы. Для того, чтобы коэффициенты $\{a_{km}\}$ были некоррелированы, необходимо, чтобы случайный процесс $\zeta(z)$ был однородным по z белым шумом.

Обозначим сумму первых s членов через $\tilde{\zeta}_s(z) = \sum_{k=0}^s a_k \varphi_k(z)$, а сумму квадратов отклонений $\tilde{\zeta}_s(z)$ от $\zeta(z)$ через $\delta_s^2 = \sum_{j=1}^m [\zeta(z_j) - \tilde{\zeta}_s(z_j)]^2$, или, учитывая ортогональность $\varphi_k(z)$, как $\delta_s^2 = \sum_{j=1}^m \zeta^2(z_j) - \sum_{j=1}^m \sum_{k=0}^s a_k^2 \varphi_k^2(z_j)$.

Каждой конкретной реализации $\zeta_i(z_j)$ ставится в соответствие свой набор $\{a_k\}$ и свое значение δ_s^2 . В табл.5 приводятся экстремумы (x_{min}, x_{max}) и квантили ($x_{0,25}, x_{0,50}, x_{0,75}$) распределений погрешностей δ_s^2 аппроксимации индивидуальных профилей температуры воды для марта и августа при s от 2 до 8.

Таблица 5

Квантили погрешности δ_s^2 аппроксимации вертикальных профилей T полиномами Чебышева

s	Март					Август				
	x_{min}	$x_{0,25}$	$x_{0,50}$	$x_{0,75}$	x_{max}	x_{min}	$x_{0,25}$	$x_{0,50}$	$x_{0,75}$	x_{max}
2	0,00	0,00	0,01	0,05	0,17	4,97	7,84	8,73	9,93	13,18
3	0,01	0,09	0,15	0,23	0,41	0,78	1,86	2,53	3,44	5,87
4	0,00	0,00	0,01	0,04	0,16	0,00	0,03	0,09	0,27	0,87
5	0,00	0,01	0,02	0,04	0,12	0,02	0,25	0,69	1,11	1,58
6	0,00	0,00	0,02	0,04	0,11	0,11	0,36	0,52	0,72	1,29
7	0,00	0,00	0,01	0,01	0,07	0,00	0,04	0,14	0,31	0,69
8	0,00	0,00	0,01	0,03	0,04	0,00	0,02	0,06	0,17	1,04

На основе представленных в табл.5 значений погрешностей в дальнейшем ограничимся четырьмя членами разложения (3). Однако для качественного воспроизведения наиболее сложного профиля T летом требуется учесть значительно больше членов в правой части (3) – даже при $s=8$ – отдельные профили восстанавливаются с большой погрешностью.

В табл.6 приведены средние значения, СКО и коэффициенты корреляции коэффициентов a_k разложения профилей температуры воды для марта и августа. Видно, что система $\{a_k\}$ сильно коррелирована и зависит от сезона.

По статистическим характеристикам m_{a_k} и $K_{a_k a_s}$ можно получить оценки $m_\zeta(z), D_\zeta(z), K_\zeta(z_j, z_v)$, т.к. математическое ожидание $m_\zeta(z)$ есть

$$m_\zeta(z) = \sum_k m_{a_k} \varphi_k(z), \quad (8)$$

а ковариационная функция –

$$K_\zeta(z_i, z_j) = \sum_{k,s} K_{a_k a_s} \varphi_k(z_i) \varphi_s(z_j) = \sum_{k,s} (D_{a_k} D_{a_s})^{0,5} r_{a_k a_s} \varphi_k(z_i) \varphi_s(z_j), \quad (9)$$

где $r_{a_k a_s}$ – коэффициент корреляции.

Таблица 6

Средние значения, СКО и корреляционные матрицы коэффициентов разложения (3) вертикальных распределений температуры воды

k^*	Март						Август					
	m^*	σ^*	$r^*[a_i a_k]$				m^*	σ^*	$r^*[a_i a_k]$			
			0	1	2	3			0	1	2	3
0	3,598	0,505	1	-0,78	0,16	0,54	6,493	0,506	1	-0,74	0,23	0,33
1	0,366	0,106	-0,78	1	-0,33	-0,65	-0,518	0,112	-0,74	1	-0,36	-0,40
2	-0,003	0,010	0,16	-0,33	1	-0,81	0,158	0,015	0,23	-0,36	1	-0,27
3	-0,005	0,002	0,54	-0,65	-0,81	1	-0,022	0,005	0,33	-0,40	-0,27	1

*Примечание: Порядковый номер коэффициента разложения.

Из (9) видно, что даже для $D_\zeta(z_i) = K_\zeta(z_i, z_j)$, когда $z_i = z_j$ требуется учитывать корреляционную зависимость коэффициентов a_k и a_s . С увеличением количества слагаемых в (3) точность аппроксимации (8, 9) увеличивается. Как показано в табл.7, учет первых 4-х членов разложения (3) позволяет на 70–90% приблизиться к искомым характеристикам.

Таблица 7

Остаточный член аппроксимации математического ожидания m^* и СКО σ^* профиля температуры воды в августе на стандартных горизонтах

$z, м$	0	10	40	60	80	100	125	150	200
$m^*, (\%)$	2	2	5	8	4	3	5	9	2
$\sigma^*, (\%)$	22	7	31	32	10	18	23	17	5

Рассмотрим специфику анализа вертикального распределения скорости течения $\vec{V}(z, t)$, представленного согласно (4). В работе [12] в качестве $\varphi_k(z)$ в (4) использованы статистически ортогональные функции, т.е. собственные векторы матрицы дисперсии $K_{\vec{V}}(z_i, z_j)$, и показано, что они имеют довольно сложную вертикальную структуру. В настоящей работе за $\varphi_k(z)$ приняты ортогональные полиномы (5).

Каждой эпюре $\vec{V}(z)$ поставим в соответствие систему случайных векторов \vec{a}_k -коэффициентов разложения (4), вычисленных по формуле (6) с заменой ζ на проекции \vec{V} (на меридиан и параллель). Для сравнения реализация $\vec{V}(t)$ была разделена на 3 части: слабое течение ($|V_x| < 30$ см/с; $|V_y| < 30$ см/с); среднее течение ($30 < |V_x| < 40$ см/с; $30 < |V_y| < 40$ см/с); сильное течение ($|V_x| > 40$ см/с; $|V_y| > 40$ см/с). На основе приведенных в табл.8 значений погрешностей в дальнейшем приняты первые 5 членов разложения (4).

Таблица 8

Точность аппроксимации проекций скорости течения различным количеством S полиномов Чебышева (а – вся реализация, $N = 974$; б – слабое течение, $N = 274$; в – среднее течение, $N = 237$; г – сильное течение, $N = 461$; всего 11 горизонтов)

S	$\sigma_k^2 \{V_x\}$				$\sigma_k^2 \{V_y\}$			
	а	б	в	г	а	б	в	г
0	27,60	101,30	54,10	8,40	141,60	61,40	665,50	1687,60
1	16,30	59,70	39,00	7,20	98,60	48,10	453,50	1131,20
2	6,60	24,50	17,60	4,10	49,60	35,30	234,40	542,30
3	1,80	7,00	5,30	2,50	17,70	21,20	90,10	186,30
4	0,82	1,40	3,50	2,40	4,40	11,30	24,90	42,30
5	0,82	0,82	3,40	2,10	0,66	4,90	4,30	4,80
6	0,54	0,69	2,40	1,10	0,03	1,20	0,32	0,26
7	0,22	0,27	0,86	0,42	0,02	0,18	0,01	0,22
8	0,06	0,06	0,19	0,13	0,01	0,03	0,01	0,08
9	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00

В табл.9 приведены значения модуля $|\vec{m}_{\bar{a}_k}|$ и направлений φ математического ожидания $\vec{m}_{\bar{a}_k}$ векторных коэффициентов \vec{a}_k , длины полуосей $\sqrt{\lambda_1}$ и $\sqrt{\lambda_2}$ эллипса среднеквадратических отклонений (СКО) коэффициентов \vec{a}_k от $\vec{m}_{\bar{a}_k}$ и направление α большой оси эллипса СКО, коэффициенты канонической корреляции ρ_1 и ρ_2

Таблица 9
Оценки векторов математического ожидания $\vec{m}_{\bar{a}_k}$ и инвариантов тензоров СКО \vec{a}_k коэффициентов разложения 974-х индивидуальных эпюр из 11-ти горизонтов каждая

k	$\vec{m}_{\bar{a}_k}$		СКО \vec{a}_k			
	$|\vec{m}_{\bar{a}_k}|$, см/с	φ , град.	$\sqrt{\lambda_1}$, см/с	$\sqrt{\lambda_2}$, см/с	α , град.	$\sqrt{I_1}/|\vec{m}|$
0	4,30	111	10,60	2,70	341	3,0
1	1,50	261	1,40	1,30	352	1,4
2	0,60	77	0,50	0,35	82	1,4
3	0,17	258	0,14	0,10	84	1,4
4	0,04	82	0,03	0,02	94	1,2

(табл.10, выше диагонали) векторов \vec{a}_k и \vec{a}_s , а также направление (табл.10, ниже диагонали) большой оси α_{ks} кривой 2-го порядка их корреляционного тензора R_{ks}^2 .

Таблица 10
Оценки инвариантов корреляционного тензора коэффициентов разложения 974-х индивидуальных эпюр из 11-ти горизонтов каждая

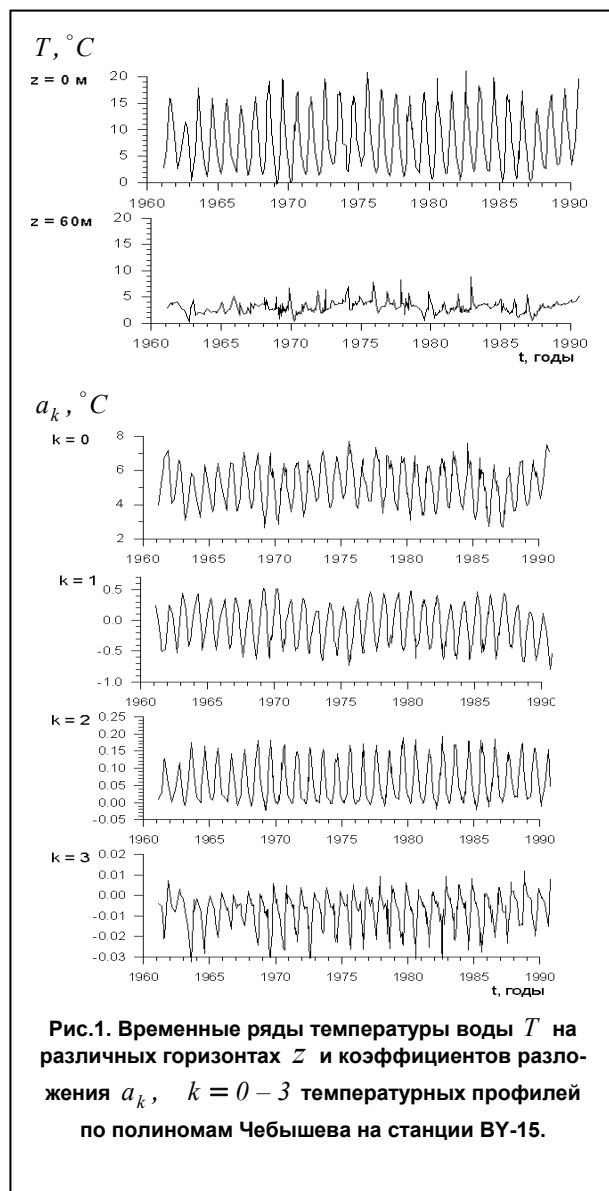
Из табл.9 видно, что векторы $\vec{m}_{\bar{a}_k}$ имеют разную длину и направление, СКО \vec{a}_k довольно велико, причем коэффициент изменчивости $(I_1/|\vec{m}_{\bar{a}_k}|)$ больше 1, особенно у \vec{a}_0 и \vec{a}_1 ; векторы \vec{a}_k и \vec{a}_s сильно коррелированы, причем двумер-

k	Коэффициенты канонической корреляции векторов \vec{a}_k, \vec{a}_s				
	0	1	2	3	4
0	1,0	0,73 0,55	0,69 0,40	0,70 0,47	0,63 0,47
1	58	1,0	0,94 0,86	0,90 0,78	0,85 0,71
2	52	78	1,0	0,96 0,91	0,90 0,77
3	42	84	90	1,0	0,95 0,88
4	42	94	101	103	1,0

ность корреляции (ρ_1, ρ_2) ярко выражена, направление α_{ks} осей тензора R_{ks}^2 отличается от α_k тензора СКО.

По статистическим характеристикам \bar{a}_k (из табл.9), используя формулы, аналогичные (8) и (9), можно получить оценки $\bar{m}_{\bar{v}}(z)$ и $K_{\bar{v}}(z_i, z_j)$, приведенные в табл.3 и 4.

Годовая ритмика. На рис.1 приведены временные ряды температуры воды на некоторых горизонтах, полученные по данным неэквидистантных наблюдений на станции ВУ-15 с 1960 по 1990г.



На них в верхнем слое моря довольно хорошо прослеживается годовая ритмика. Согласно (3) каждому вертикальному профилю $T(z, t)$ из m горизонтов в момент времени t соответствует s коэффициентов $a_k(t)$. Временные ряды $a_k(t)$ также показаны на рис.1, и на них хорошо видна ритмическая структура.

Рассмотрим ряды $a_k(t)$ как реализации периодически коррелированных случайных процессов (ПКСП). Математическое ожидание $m_{a_k}(t)$ и ковариационная функция $K_{a_k}(t, \tau)$ ПКСП являются периодически по времени t функциями и допускают представление в виде рядов Фурье

$$m_{a_k}(t) = \sum_s m_{ks} \exp(-i\omega_s t); \quad (10)$$

$$K_{a_k}(t, \tau) = \sum_s K_{ks}(\tau) \exp(-i\omega_s t). \quad (11)$$

В компонентной форме модель ПКСП согласно [13] имеет вид

$$a_k(t) = \sum_s A_{ks}(t) \exp(i\omega_s t), \quad (12)$$

где $A_{ks}(t)$ – стационарные случайные процессы с матема-

тическим ожиданием m_{k_s} и ковариационной функцией $K_{k_s}(\tau)$.

В табл.11 приведены амплитуды m_s и фазы φ_s годовой гармоники ($s=1$) и ее обертонов ($s=2, 3$) разложения в ряд Фурье математического ожидания $m(t)$ и среднеквадратического отклонения $\sigma(t)$ временных рядов $a_k(t)$. При различных k коэффициенты a_k разномасштабны (см. табл.6), поэтому в табл.11 их значения увеличены в 10^p раз, ($p=0, 1, 2$).

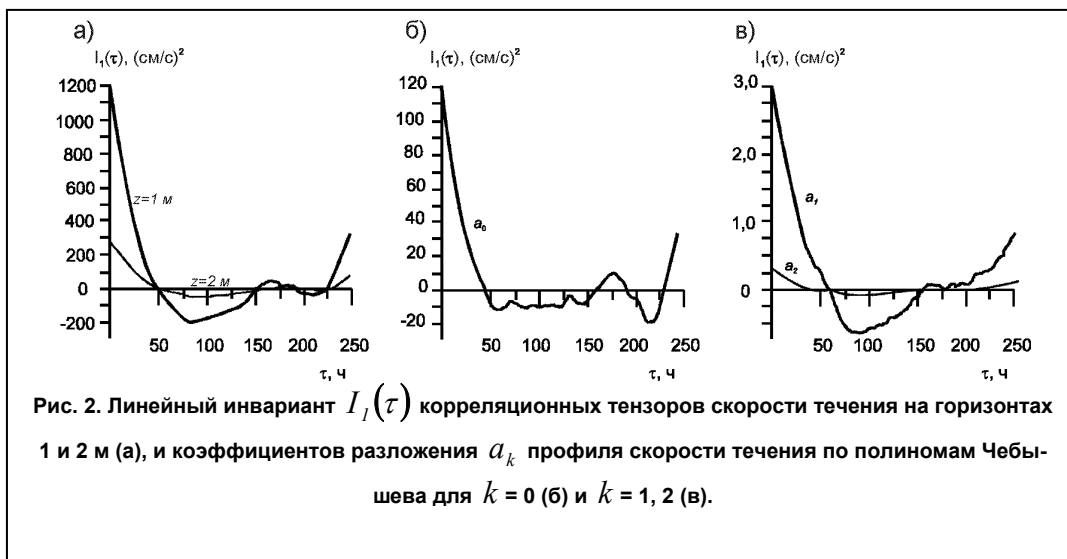
Таблица 11

Амплитуды $(|m|, |\sigma|)$ и фазы $(\varphi_k, \psi_k)^*$ компонентов Фурье годового хода математического ожидания $m(t)$ и СКО $\sigma(t)$ коэффициентов полиномов Чебышева $a_k * 10^p$ среднемесячных профилей температуры воды на станции ВУ-15 *

k	Показатель степени, p	Компоненты $m(t)$						Компоненты $\sigma(t)$						
		$|m_1|$	φ_1$	|m_2|$	φ_2$	|m_3|$	φ_3$	|\sigma_0|$	$|\sigma_1|$	ψ_1$	|\sigma_2|$	ψ_2$	|\sigma_3|$	ψ_3
0	0	1,45	7	0,17	5	0,06	2	0,07	0,02	5	0,01	2	0,01	1
1	1	4,22	1	0,44	3	0,05	0	0,15	0,04	5	0,02	3	0,02	0
2	2	7,47	7	1,94	0	0,25	2	0,21	0,11	7	0,05	4	0,03	1
3	2	0,96	11	0,55	3	0,12	0	0,05	0,03	7	0,01	2	0,01	1

* Примечание. Значения фаз φ_k, ψ_k соответствуют номеру месяца от 0 (январь) до 11 (декабрь).

Синоптическая изменчивость. На рис. 2 приведены графики линейного инварианта корреляционного тензора [5] скорости течений на отдельных



горизонтах, а также коэффициентов разложения вертикальных эпюр скорости течения на 11-ти горизонтах, измеренных с дискретностью 1 ч. Видны черты сходства корреляционной зависимости между векторами на всех горизонтах: с глубиной меняется только интенсивность изменчивости, а интервал корре-

ляции (примерно равной 40–50 ч), цикличность процесса и вклад высокочастотных (шумовых) составляющих близки. Следовательно, изменчивость течений связана с частотой смены барических образований в Балтийском море, соответствующей колебаниям с цикличностью 5–7 сут.

Графики линейного инварианта корреляционного тензора векторных коэффициентов разложения $\vec{a}_k(t)$ индивидуальных эпюр $\vec{V}(t, z)$ похожи на корелограммы скорости течения для отдельных горизонтов, особенно для нижнего слоя, и по форме, и по выделяемым цикличностям. Первые три-четыре коэффициента разложения характеризуют практически всю изменчивость вертикальных эпюр скорости течения и могут быть использованы для восстановления поля скорости течения в исследуемой акватории.

Вероятностная модель вертикального профиля. На рассмотренных примерах годовой ритмики температуры воды $\zeta(z, t)$ и синоптической изменчивости скорости течений $\vec{V}(z, t)$ можно было убедиться в том, что:

- вертикально неоднородные океанологические поля $\zeta(z, t)$ и $\vec{V}(z, t)$ или коэффициенты $a_k(t)$ и $\vec{a}_k(t)$ их ортогональных разложений (3), (4) имеют вид системы связанных случайных процессов;
- эти процессы могут быть как стационарными, так и периодически коррелированными.

Следовательно, речь идет о моделировании статистического ансамбля многомерной системы временных рядов $\{\xi_k(t)\}$, $k = \overline{1, n}$ в стационарном или ПКСП приближениях. Необходимо отметить, что в работе [13] рассматривались вероятностные модели лишь одномерных процессов, в [14] – системы случайных величин, в [15] – системы стационарных скалярных случайных процессов, в [16] – переход от ПКСП к системе случайных величин. В настоящей работе обсуждаются вопросы учета связности многомерной системы скалярных или векторных случайных процессов на базе метода условных математических ожиданий [14].

Для системы зависимых случайных величин $a = \{a_k\}_{k=1}^n$ с плотностью распределения $f_a(\bullet)$, представимой в виде

$$f_a(x_1, \dots, x_n) = f(x_1) f(x_2 | x_1) \dots f(x_n | x_1, \dots, x_{n-1}), \quad (13)$$

прямолинейная регрессия определяется как

$$m_{a_i} = m_i + \sum_{j=1}^i b_{ij} (x_j - m_j), \quad (14)$$

где $f(x_1)$, $f(x_2 | x_1)$, $f(x_3 | x_1, x_2)$, ... – маргинальная и условные плотности распределения;

m_i – математические ожидания;

x_j – аргументы.

На основании регрессии (14) формулируется алгоритм метода Монте-Карло

$$a_i = m_a + u_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (15)$$

который служит для преобразования некоррелированных гауссовых величин $\{u_1, \dots, u_n\}$ в систему случайных величин $\{a_1, \dots, a_n\}$ с заданными m_i, σ_i и $K = \{k_{ij}\}$. Этот метод, названный методом условных математических ожиданий, используется для моделирования системы случайных величин и процессов [14]. Основная проблема применения алгоритма (15) заключается в снижении мерности $M \times L$ моделируемой системы случайных величин $X = \{x_{ij}\}_{i=1, j=1}^{M, L}$, составленной из значений скалярного поля $\zeta(z, t)$ или проекций векторного поля $\vec{V}(z, t)$ на заданных горизонтах z_i в моменты времени t_j . Для описания пространственно-временной изменчивости вертикального профиля температуры на станции ВУ-15 – $M=16$ горизонтов, $L=12$ мес. – размерность вектора X составит 192. Ансамблю реализаций системы случайных величин X сопоставляется вектор средних значений m_x и корреляционная матрица K_a размерностью $(M \times L)^2$, содержащая $(ML)(ML + 1)/2 = 18528$ неодинаковых элементов.

Каждому вертикальному профилю $\zeta(z, t)$ из M горизонтов в момент времени t соответствует s коэффициентов $a_k(t)$ разложения (3). Исходя из периодической коррелированности коэффициентов $a_k(t)$ представим их в форме

$$a_k(t) = \sum_{s=0}^M \alpha_{ks} \psi_s(t), \quad (16)$$

где α_{ks} – случайные величины, а функции $\psi_s(t)$ образуют на интервале $[0, T]$ ортонормированный базис

$$\psi_s(t) = \begin{cases} 1/\sqrt{T}, & s = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{T}} \cos\left[\frac{\pi(s+1)t}{T}\right], & s = 1, 3, 5, \dots \\ \sqrt{\frac{2}{T}} \sin\left[\frac{\pi s t}{T}\right], & s = 2, 4, 6, \dots \end{cases} \quad (17)$$

Таким образом, случайный профиль $\zeta(z, t)$ как разложение по биортогональному базису $\{\varphi_k(z), \psi_s(t)\}$ представляется в виде

$$\zeta(z, t) = \sum_k a_k(t) \varphi_k(z) = \sum_k \sum_s \alpha_{ks} \varphi_k(z) \psi_s(t) = \sum_s \eta_s(z) \psi_s(t). \quad (18)$$

Используя свойство биортогональности, коэффициенты α_{ks} определяются скалярным произведением

$$\alpha_{ks} = ((\zeta, \varphi_k)_Z, \psi_s)_T. \quad (19)$$

Здесь Z и T обозначают переменные интегрирования.

Математическое ожидание $m[\alpha_{ks}]$ имеет вид

$$M[\alpha_{ks}] = \sum_i \sum_j m_\zeta(z_i, t_j) \varphi_k(z_i) \psi_s(t_j), \quad (20)$$

а ковариации –

$$K_{(ks)(mn)} = \sum_i \sum_j D(z_i, t_j) \varphi_k(z_i) \psi_s(t_j) \varphi_m(z_i) \psi_n(t_j) + \\ + 2 \sum_{j>v} \sum_{l>r} K_\zeta(z_j, z_v, t_l, t_r) \varphi_k(z_j) \varphi_m(z_v) \psi_s(t_l) \psi_n(t_r). \quad (21)$$

Представление (21) позволяет свести систему случайных величин $\zeta_{kj} = \zeta(z_j, t_k)$ к системе коррелированных случайных величин $\{\alpha_{ks}\}$, что существенно снижает мерность исходной задачи. Например, учитывая в разложении $\zeta(z, t)$ по t годовую и полугодовую гармоники ($n=5$) и 4 коэффициента в разложении по z , получаем корреляционную матрицу из 210 различных элементов (табл.12). (Следовательно, по сравнению с исходной сокращена мерность информации примерно в 90 раз).

Эта матрица состоит из 16-ти квадратных блоков размерами $5 \times 5 = 25$. Блоки характеризуют корреляционные связи между компонентами ПКСП $\{a_k(t)\}$, $k = 0 \dots 4$: α_{k0} , косинусной (α_{k1}, α_{k3}) и синусной (α_{k2}, α_{k4}) амплитуд и годовой и полугодовой гармоник. При этом блоки на диагонали исходной матрицы K_a соответствуют автоковариациям компонентов ПКСП для коэффициентов $a_k(t)$, а внедиагональные – взаимным ковариациям между коэффициентами.

Таким образом, по заданным m_i, σ_i и корреляционной матрице, используя (15), моделируется ансамбль случайных величин α_{ks} , позволяющий воспроизвести, согласно (18), ансамбль вертикальных профилей $\zeta(z_j, t_k)$ температуры воды на совокупности горизонтов $z_j, j = \overline{1, m}$ и последовательности месяцев $t_k, k = \overline{1, 12}$.

Учитывая весьма высокую мерность такого ансамбля, используем для верификации модели хорошо известные [2] свойства термической стратификации вод Балтийского моря: в зимний сезон верхний (0–40 м) и нижний (100–225 м) слои квазиоднородны, а распределение в них температуры воды в первом приближении описывается уравнением линейной регрессии

Таблица 12

**Корреляционная матрица коэффициентов разложения
системы вертикальных профилей температуры воды $\zeta(z, t)$ на станции ВУ-15
по биортогональному базису**

k	S	0					1					2					3				
		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
0	0	1																			
	1		-0.40																		
	2			0.39																	
	3				-0.33																
	4					-0.21															
1	0																				
	1																				
	2																				
	3																				
	4																				
2	0																				
	1																				
	2																				
	3																				
	4																				
3	0																				
	1																				
	2																				
	3																				
	4																				

Примечание: k – номер коэффициента разложения вертикальных профилей $\zeta(z)$ по полиномам Чебышева;
 S – номер коэффициента разложения полиномов Чебышева $a_k(t)$ по тригонометрическому базису.

$$T(z) = a + bz + \varepsilon, \quad (22)$$

где a, b – коэффициенты;

z – горизонт;

ε – случайная величина;

$m_\varepsilon = 0$;

$\sigma_\varepsilon = const$.

В табл.13 приведены оценки $a^*, b^*, \sigma_\varepsilon^*$ для верхнего и нижнего слоев по натурным данным (75 профилей) и по модельным расчетам. Видно, что в среднем изменение температуры воды в верхнем квазиоднородном слое достигает $0,15^\circ\text{C}$, при этом 80%-ный вероятностный интервал имеет границы от 0 до $0,5^\circ\text{C}$. В нижнем квазиоднородном слое перепады температуры более значительны – в среднем $1,0^\circ\text{C}$, с 80%-ным вероятностным интервалом от 0 до $1,5^\circ\text{C}$. Согласно табл.13 оценки a^*, b^* , полученные по модельным данным, близки к оценкам по натуре и накрываются их 80%-ным вероятностным интервалом.

Таблица 13
Сопоставление натуральных данных и результатов модельных расчетов

Параметр	Модель		Натура (N=75)		80%-ный вероятностный интервал	
	0–40 м	100–225 м	0–40 м	100–225 м	0–40 м	100–225 м
a^*	0,0034	0,0093	0,0038	0,0077	-0,0008 / 0,0110	0,0002 / 0,0120
b^*	1,89	3,50	2,45	4,09	0,44 / 3,93	3,04 / 5,28
σ_ε^*	1,19	0,33	1,21	0,37	–	–

Выводы

1. Для статистического описания изменчивости вертикального распределения температуры, солёности, плотности морской воды, гидрохимических величин, скорости течений целесообразно использовать вероятностную модель неоднородного случайного поля.

2. Для уменьшения мерности результатов анализа данных на заданной совокупности стандартных горизонтов $(z_j), j = 1, \dots, m$ в виде средних значений $m_\zeta(z_j)$ и ковариаций $K_\zeta(z_\zeta, z_v)$ целесообразно использовать представление вертикального профиля $\zeta(z_j)$ в виде ортогонального разложения (1).

3. Выбор системы ортогональных полиномов $\varphi_k(z)$ влияет на скорость сходимости аппроксимативного выражения (1) к исходному $\zeta(z)$ и количество анализируемых величин a_k . Полиномы Чебышева (3), ортогональные по конечной системе точек $(z_j), j = 1, \dots, m$, хотя и не являются оптимальными базисными функциями, однако позволяют достаточно корректно решить поставленную задачу.

4. При переходе от погоризонтного описания $\zeta(z_j)$ или $\vec{V}(z_j)$ к компонентному через величины a_k достигается упрощение исходной вероятностной модели неоднородной случайной функции, поскольку a_k – система зависимых случайных величин.

5. Когда величины a_k зависят от времени, они интерпретируются как многомерные временные ряды, а разложения (1) и (2) – как модель пространственно-временной изменчивости океанического поля.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №98-05-64469.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рожков В.А. Теория вероятностей случайных событий, величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Прогресс–Погода, СПб., 1996, 559 с.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т.3, Балтийское море. Гимиз, Л., вып. 1, 1992, 450с.; вып. 2, 1994, 435с.
3. Филиппов Д.М. Климатический анализ физических полей Атлантического и Тихого океанов. Гимиз, Л., 1984, 214 с.
4. Белкин И.М. Морфолого-статистический анализ стратификации океана. Гимиз, Л., 1991, 134 с.
5. Бельшев А.П., Клеванцов Ю.П., Рожков В.А. Вероятностный анализ морских течений. Гимиз, Л., 1983, 264 с.
6. Клеванцов Ю.П., Микулинская С.М., Рожков В.А. Об анализе векторов скорости морских течений. Метеорология и гидрология, 1996, № 9, с. 96–105.
7. Микулинская С.М., Рожков В.А., Шпаер И.С. Анализ гидрохимических пространственно-временных полей с учетом их неоднородности и многокомпонентности. Гидрохимические материалы, 1980, вып.78, с. 113–122
8. Микулинская С.М., Рожков В.А. О некоторых вопросах анализа данных гидролого-гидрохимических измерений. Труды ГОИН, 1982, вып. 157, с. 82–93.
9. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. СПб., Гимиз, 1994, 525 с.
10. Рожков В.А., Васильев В.Н. Применение цифровой вычислительной машины для аппроксимации дискретных полей. Труды ГОИН, 1964, вып. 86, с. 112–123.
11. Сэге А. Ортогональные полиномы. Физматгиз, М., 1962, 500 с.
12. Василенко В.М., Мирабель А.П. О параметризации вертикальной структуры течений в тропической Атлантике с помощью статистически ортогональных функций. Океанология, 1976, т.16, вып.2, с. 220–222.
13. Рожков В.А., Трапезников Ю.А. Вероятностные модели океанологических процессов. Гимиз, Л., 1990, 272 с.
14. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Статистическое моделирование. Наука, М., 1982, 420 с.
15. Поляк И.И. Многомерные модели климата. Гимиз, Л., 1991, 230 с.



СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

ГРНТИ 78.21.39:78.21.39.17

РАЗВИТИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ НАУКИ В РОССИЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕ – ОТ «БОЛЬШОГО ЧЕРТЕЖА» К ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

**В.А. АВДОНЮШКИН,
А.А. ЛАКУНИН**
(Гос.НИНГИ МО РФ),
**Р.А. ВУЧКО,
А.И. ФУРСА**
(филиал ВИУ СПб)

Показана высокая роль информации о местности во все времена Российского государства, прослежен исторический путь картографирования русских земель и морей, развития образования в области топографии. Охарактеризована первая карта Московского государства.

Обосновывается целесообразность внедрения цифровой картографической информации о местности в систему всеобщего образования.

Пространственные данные о местности, точные топографические, специальные планы и карты прочно вошли в производственную и научную деятельность мирового сообщества, в военное дело. Государственные и военные руководители на всех этапах исторического развития нашего Отечества придавали первостепенное значение подобной информации.

В морском деле уже в XII веке жители Русского Севера, поморы, – на своих ладьях ходившие к берегам Груманита (арх. Шпицберген) и Новой Земли – имели рукописные лоции и глазомерные карты.

Искусство составления карт ценилось чрезвычайно высоко. Прекрасной иллюстрацией тому могут служить слова великого А.С.Пушкина в поэме «Борис Годунов» (это произведение охватывает период 1598 – 1605 гг. российской истории). Судите сами:

«Царские палаты. 1603 год. Царевич чертит географическую карту. Входит Борис.

Царь:

А ты, мой сын, чем занят? Это что?

Фёдор:

*Чертеж земли московской; наше царство
Из края в край. Вот видишь: тут Москва,
тут Новгород, тут Астрахань. Вот море,
Вот пермские дремучие леса,*

А вот Сибирь.

Царь:

А это что такое

Узором здесь виется?

Фёдор:

Это Волга.

Царь:

Как хорошо! Вот сладкий плод ученья!

Как с облаков ты можешь обозреть

Всё царство вдруг: границы, грады, реки.

Учись, мой сын: наука сокращает

Нам опыты быстротекущей жизни –

Когда-нибудь, и скоро может быть,

Все области, которые ты ныне

Изобразил так хитро на бумаге,

Все под руку достанутся твою –

Учись, мой сын, и легче и яснее

Державный труд ты будешь постигать».

Здесь речь, видимо, может идти о первой карте Московского государства, созданной к 1570 г. Она была составлена в масштабе около 1:1850000 (в одном сантиметре 18,5 км) и называлась «Большой чертеж» (табл.1).

Таблица 1

Хронология важнейших событий второй половины XVI–начала XVIII веков, определивших становление российской топографии*

Годы	События
1552	Повеление царя Ивана IV: "... землю измерить и чертеж государства сделать", результатом которого было составление "Большого чертежа" в последней четверти XVI века.
~1570	Составление первой карты Московского государства (масштаб 1:1850000), так называемого "Большого чертежа".
1627	Составление объяснительного текста "Книга, глаголенная Большой чертеж" к карте Московского государства "Большой чертеж", подводящего итог географическим открытиям в Западной Сибири.
1630	Отправление енисейским воеводой С.Шаховским в Москву "рописи" землям к востоку от р.Енисея.
1632	Подробный доклад мангазейского воеводы А.Палицина с чертежом о путях с р.Енисей на р.Лену.
1649–1651	Составление землепроходцем Е.Хабаровым "Чертежа реке Амуру".
1667	Составление в г.Тобольске под наблюдением воеводы П.И.Годунова карты "Чертеж Сибирские Земли".
1696	Составление правительственного предписания "написать чертежи" всем сибирским городам и уездам.
1696	Начало первых топографических работ в европейской части России (на р.Дон).
1701	Окончание составления в г. Тобольске С.У.Ремезовым атласа Сибири – "Чертежной книги Сибири".
1701	Основание Петром I в Москве астрономической обсерватории и Школы математических и навигационных наук, готовившей навигаторов, астрономов и геодезистов.
1715	Начало первых топографических инструментальных съемок в азиатской части России.
1720	Издание Петром I указа о передаче съемочных и картографических работ на территории России в ведение Сената.
1721	Издание первой в России инструкции по топографическим съемкам.

Поход Ермака в 1581 г. в Сибирь, достижение Иваном Москвитиним берегов Тихого океана в 1639 г., знаменитое плавание по р.Амур и Охотскому морю Василия Пояркова в 1643–1646 гг., морской поход Семена Дежнева, достигшего в 1648 г. крайнего северо-восточного мыса Азии, поход сибирско-

* Составлена по данным, приведенным в "Большой Советской Энциклопедии". Второе издание, 1952, т.10, с.497; т.16, с.657, 658. (Прим.ред.).

го казака Владимира Атласова на Камчатку в 1697–1699 гг. и исследования многих других землепроходцев XVII века способствовали становлению картографических работ в России, развитию отечественной топографической науки (см. табл.1).

Участникам этих походов, различным посольствам в другие страны вменялось в обязанность составлять описания и чертежи вновь открытых или посещаемых ими земель. Исполнителями таких описаний и чертежей обычно были казаки, сборщики податей, воеводы и другие лица, не имевшие образования и картографических навыков. Они составляли многочисленные “чертежи” посещаемых ими местностей, которые конечно не являлись картами в точном смысле этого слова (они не были положены на градусную сетку и при их составлении не производились точные измерения), но в них аккумулировался ценнейший материал, характеризующий значительную часть Азиатской России, ее окраинных земель и прибрежных морей.

Эти описания и чертежи обобщались в воеводских канцеляриях и на основании их составлялись сводные чертежи. Так были исполнены «Чертеж Обоянским землям» (1659), «Чертеж украинским и черкасским городам», «Чертеж Сибири» (1629) и другие. В центральных приказах (Разрядном, Посольском, Поместном) в Москве по полученным материалам составлялись новые чертежи на большие территории. Так, в Разрядном приказе был составлен уже упоминавшийся «Большой чертеж», который охватывал огромную территорию: на западе – до рек Днепр и Западная Двина, на востоке – до р.Обь, на юге – включая Крым и Грузию.

В 1648 г. Алексей Филиппов создал первую лоцию Охотского моря. К середине XVII века относятся и карты России, на которых обозначены восточные и северные берега Сибири. По исследованиям Дежнева в 1667–1668 гг. в Тобольске были напечатаны карты (см.табл.1), на которых был показан пролив между Азией и Америкой, нанесены очертания Камчатки. В целом к середине XVII века русские землепроходцы проследили течение всех великих сибирских рек и Амура, а мореходы обошли все северное побережье Азии, открыв п-ова Ямал, Таймыр, Чукотский.

Резкий подъем развития русской картографии в XVIII веке, позволивший ей занять почетное место в ряду передовых в картографическом отношении стран Европы, связан с именем Петра I, который понимал, что для всестороннего развития государства необходимо знать свою страну, иметь топографические карты на основе съемок местности. Карты необходимы были и для созданных регулярной армии и военно-морского флота.

Первый русский географический атлас “Чертежная книга Сибири” (см. табл.1), состоящий из 23 карт, появился именно в петровское время и был составлен в 1701 г. географом С.У. Ремезовым (1662–1716). Закрепление выходов к Балтийскому морю, стремление выйти к Черному и Азовскому морям, а также в Среднюю Азию требовало планомерных географических исследований. В 1703–1704 гг. был опубликован “Атлас р.Дон”. Начата съемка побережья Финского залива.

К организации картографирования территории России Петр I подошел как к важной государственной задаче, начав ее осуществление с подготовки кадров. Для обеспечения государственных нужд в специалистах различных

профессий царь организовал в 1701 г. в Москве «Школу математических и навигацких наук». В 1715 г. на базе старших классов этой школы он учредил в Санкт-Петербурге Морскую академию. В обоих учебных заведениях были созданы классы и отделения для подготовки астрономов, геодезистов и топографов, художников для изготовления карт.

В созданных позднее Пушкарской (1712) и Петербургской (1719) инженерных школах учащимся преподавали геодезию и топографию, и по окончании обучения они могли вести съемки местности. Первая топографическая съемка в России была выполнена в 1715 г. (см. табл.1) геодезистом Федором Молчановым в экспедиции, исследовавшей сухопутный путь из Сибири в Индию.

В 1718 г. учреждением Адмиралтейств-коллегии организационно оформлена гидрографическая служба, которой вменялось в обязанность вести вопросы морских исследований и созданием морских карт. В результате проведенных съемок появились карты Финского и Рижского заливов, Балтийского моря.

Большое внимание уделялось в петровское время также изучению Каспия и прилегающих к нему районов Средней Азии. В результате исследований 1715–1720 гг. (Ф.Соймонов, А.Бекович-Черкасский, А.Кожин, К.Верден и др.) была составлена первая достоверная карта Каспия, совершенно изменившая прежнее представление о нем, картировано Аральское море, доказано впадение в него р.Амур-Дарьи. За создание карты Каспийского моря Петр I был избран почетным членом Парижской академии.

Так из века в век накапливались и наращивались сведения о России, все более подробными становились карты.

Основы систематического исследования все еще достаточно малоизученных окраин России закладываются также при Петре I. Начатая по его инициативе Камчатская экспедиция Беринга-Чирикова (1725–1730) и последовавшая за ней Великая Северная экспедиция (1733–1740) вылились в невиданные до того в мире грандиозные географические предприятия, во время которых были обследованы значительные территории Сибири и заснята большая часть побережья Северного Ледовитого океана, сделаны важные открытия в северной части Тихого океана. Отдельными участниками экспедиций – С.Малыгиным, А.Скуратовым, Д.Овцыным, Д.Стерлеговым, В.Прончищевым, Х. и Д.Лаптевыми – составлены ценнейшие описания обследованных ими земель.

В царствование Елизаветы I адмирал А.И.Нагаев создал первый морской атлас и лоцию Балтийского моря (1752), а также первые карты Берингова моря и Ладожского озера. В развитие Созданной Петром I учебной базы генерал-майор Ф.И.Соймонов, руководитель комплексной Нерчинской экспедиции, основал навигационную школу в Нерчинске (1754) и геодезическую в Тобольске (1758).

Большое значение для изучения центральных районов России, Нижнего Поволжья, Прикаспийской низменности, Среднего и Южного Урала, Южной Сибири (Алтай, Байкал и Забайкалье) имела экспедиция Российской АН (1768–1774), возглавлявшаяся академиком П.С.Палласом. Известный физико-географ и путешественник, он опубликовал ее результаты в трехтомной монографии «Путешествие по разным провинциям Российского государства»

(1773–1788). Позднее в 1793–1794 он же посетил Поволжье, Северный Кавказ, жил в Крыму, где собрал и обработал большой географический материал. В этот же период вице-адмирал Г.А.Сарычев уточнил атлас Балтийского моря, возглавил Северо-восточную экспедицию (1785–1795), по материалам которой составил “Атлас северной части Восточного океана”.

В течение XVIII века продолжались организационные мероприятия по упорядочению государственной организации изучения территории России, способствовавшие планомерному развитию отечественной топографии (табл.2).

Далее вопросам картографирования территории страны уделяется все большее внимание. В первые десятилетия XIX века начинается ее градусное измерение, образуется Корпус военных топографов (см.табл.2). В 1827 г. в структуре Морского министерства создается Управление генерал-гидрографа (в 1885 г. преобразовано в Главное гидрографическое управление), в ведение которого отходят вопросы съемки прибрежной зоны.

Таблица 2

Хронология важнейших событий XVIII – середины XX веков, определивших развитие российской топографии*

Годы	События
1739	Организация Географического департамента Петербургской АН, ведавшего съемочными и картографическими работами России (с 1758 руководитель М.В.Ломоносов).
1765	Издание манифеста Екатерины II о Генеральном межевании земель в России (продолжалось до середины XIX века и доставило материалы для составления карт по 36 губерниям).
1779	Открытие в Москве первой Межевой школы (с 1819 преобразовано в Земельное училище, которое в 1835 реорганизовано в Межевой институт).
1816–1855	Градусное измерение территории России (В.Я.Струве).
1822	Организация Корпуса военных топографов ГШ с возложением на него производства основных астрономо-геодезических работ и топографических съемок в России.
1830	Создание каталога топографических карт России (Ф.Ф.Шуберт).
1907	Разработка первой научной программы и схемы государственной организации, положивших начало работ по построению триангуляции России (П.И.Померанцев).
1928	Разработка схемы и программы государственной триангуляции СССР (Ф.Н.Красовский).
1928	Введение в СССР единообразной системы прямоугольных координат.
1936	Вывод размеров земного эллипсоида (Ф.Н.Красовский).
1946	Введение единой системы геодезических координат и высот на территории России и применение в отечественных геодезических и картографических работах эллипсоида Красовского.

В 1822 г. в Санкт-Петербурге создаётся Военно-топографическое училище, а в 1832 г. – Военная академия ГШ. Геодезия, астрономия и картография включаются в обязательные программы обучения их слушателей. Топо-

* Составлена по данным, приведенным в “Большой Советской Энциклопедии” Второе издание, 1952 г., т.10, с.495–498. (Прим. ред.)

графия, включая инструментальные съёмки, изучается во всех военных училищах.

К 30-м годам XIX века завершаются работы по созданию десятиверстной карты России, начинается составление и издание пятивёрстной карты.

Вторая половина XIX века характеризуется значительным размахом географических исследований в Средней и Центральной Азии, начало которым положила экспедиция 1856–1857 гг. П.П.Семенова Тянь-Шанского, впервые проникшего в Тянь-Шань. Начиная с 1870 г. Географическое общество организовало в этом регионе ряд получивших мировую известность экспедиций Н.М.Пржевальского, Г.Е.Грум-Гржимайло, П.К.Козлова и др. Этот период отмечен и созданием уникальных картографических произведений. Так, в 1868 г. под руководством И.И. Стебницкого (будущего генерала от инфантерии и начальника Корпуса военных топографов с 1885 по 1896 г.) была впервые изготовлена рельефная карта Кавказа, преподнесенная Александру II.

Интересно отметить и тот факт, что науки о Земле входили в программы обучения наследников российского престола. Так будущего последнего царя Российской империи Николая II по курсам геодезии, топографии и картографии обучал профессор геодезии генерал О.Э. Штубендорф (с 1897 по 1903 г. возглавлял Корпус военных топографов). Царь не забыл полученных уроков и во время посещений (в апреле 1910 г. и в марте 1912 г.) Военно-топографического училища в г.Санкт-Петербурге, побывав на занятиях юнкеров, не без гордости заметил, что хорошо помнит все, чему учил его генерал Штубендорф.

После октября 1917 г. одним из первых декретов СНК РСФСР утверждается образование Высшего геодезического управления, в дальнейшем преобразованного в Главное управление геодезии и картографии, которое становится основным учреждением геодезической службы страны. Основные геодезические работы и топографические съёмки развертываются на основе программных установок, нацеленных на развитие народного хозяйства, построение единой астрономо-геодезической сети (см.табл.2).

В настоящее время объем и разнообразие информации о местности, необходимой современному пользователю карты, постоянно растут. Поэтому на базе топографических карт, географических описаний местности, различных справочных материалов государственными и коммерческими организациями создаются многочисленные тематические карты, представляющие интерес для специалистов различного профиля. Стремление пользователя получить в свое распоряжение всю информацию на определенный участок местности приводит его к необходимости одновременной работы с «ворохом карт». К тому же измерения по традиционной карте в графической форме является к тому же достаточно утомительными. Выход из создавшегося положения дают геоинформационные системы на основе компьютерных технологий.

Во времена Бориса Годунова карт на территорию России было чрезвычайно мало. Однако уже в первой четверти XIX века возникла проблема их систематизации. В 1830 г. тогдашним начальником Корпуса военных топографов генерал-майором Ф.Ф. Шубертом была завершена работа по созда-

нию каталога топографических карт (см.табл.2). Эту дату можно принять за начало разработки геоинформационной системы (ГИС) России.

В нынешнем понимании ГИС представляет собой аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку и отображение пространственных данных, интеграцию данных и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с анализом, моделированием, прогнозированием и управлением территориального состояния и развития.

В геоинформационной системе на базе компьютерных технологий нуждается образовательный процесс средней школы, специализированного гражданского ВУЗа, военного училища (института, университета), военной академии. Не каждый школьник сегодня знает, что в октябре 1917 г. свершился в России общественный катаклизм, но каждый знает, что есть на свете умная машина под названием компьютер, на которой можно играть. Его также можно загрузить большим объёмом различной информации о состоянии объекта управления, в том числе и местности. Можно научить школьника, студента, курсанта и слушателя эту информацию «добывать» и обрабатывать с помощью компьютера и соответствующего программного обеспечения без видимых усилий. Огромным достоинством компьютера является его способность заинтересовать и увлечь пользователя работой, доставить ему удовольствие общения с умной машиной-собеседником.

Таким образом в современных условиях с помощью компьютерных технологий и геоинформационных систем можно соединить все многообразие картографических документов о местности в некую электронную карту, о которой словами А.С. Пушкина можно сказать: «Вот сладкий плод ученья».

Ныне ни одна редакция не примет к опубликованию статью, не оформленную в компьютерном варианте. Нечто подобное должно внедряться и в картоиздательскую деятельность: все карты наряду с аналоговой формой должны иметь соответствующий электронный вариант.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пушкин А.С. Борис Годунов. Полное собрание сочинений в девяти томах. Том VI. ACADEMIA, 1935.
2. Записки Военно-топографического управления Генерального штаба за 1910 год. СПб., 1912.
3. Записки Военно-топографического управления Генерального штаба за 1912 год. СПб., 1914.
4. Исторический очерк деятельности Корпуса Военных топографов. 1822–1872. СПб., 1872.
5. История Санкт-Петербургского высшего военно-топографического командного Краснознаменного ордена Красной Звезды училища имени генерала армии Антонова А.И. (1822-1997). СПб., 1997.
6. Красовский В.С. Совершенные правители мореплавания (к "Дню штурмана") // Навигация и гидрография, 1996, №3, с.138–140.
7. Неронов Н.Н. Гидрографическому управлению 170 лет // Навигация и гидрография, 1997, №5, с.109–111.

ГРНТИ 78.25.25.01.09

**УЧАСТИЕ ГИДРОГРАФОВ КРАСНОЗНАМЁННОГО БАЛТИЙСКОГО ФЛОТА В
ОБОРОНЕ МООНЗУНДСКИХ ОСТРОВОВ В СЕНТЯБРЕ – ОКТЯБРЕ 1941 года****К.Б. СТРЕЛЬБИЦКИЙ**
(МКИФ, Москва)

Охарактеризована структура Гидрографической службы Береговой обороны Моонзунда в рассматриваемый период. Коротко описаны действия гидрографов при обороне архипелага. Прослежена судьба отдельных ее участников.

После того, как 28 августа 1941 г. корабли Краснознамённого Балтийского флота (КБФ) покинули свою Главную базу – Таллин – в глубоком тылу врага остался Моонзундский архипелаг. В состав защищавших его сил Береговой обороны Балтийского района (БОБР) КБФ входила и Гидрографическая служба БОБР.

Работа гидрографов БОБР летом 1941 г. уже достаточно подробно описана, в частности, бывшим в годы войны начальником Гидрографической службы КБФ капитаном I ранга в отставке Г.И.Зима в своих воспоминаниях *«На Балтике»* (*«Гидрографы в Великой Отечественной войне 1941–1945»*. – Л., 1975) и известным писателем-маринистом В.А.Рудным в сборнике *«Истинный курс и другие достоверные истории»* (М., 1978). Целью данной публикации является первая попытка показа на документальных материалах обеих противоборствующих сторон действий гидрографов БОБР в период непосредственной обороны о-ов Моонзундского архипелага в сентябре – октябре 1941 г. При этом необходимо отметить, что работа исследователя по данной проблеме была серьёзно затруднена отсутствием в архивных фондах полного комплекта необходимых документов. Все географические названия в данном тексте, из-за большой путаницы в их правописании в различных источниках и литературе, приводятся автором в соответствии с рекомендациями применявшейся в описываемый период «Лоции Балтийского моря» издания 1938 г.

По состоянию на 29 августа 1941 г. в состав Гидрографии БОБР организационно входили следующие гидрографические подразделения:

- два отдельных – Островной и Моонзундский – участки гидрографической службы с управлениями в Курессааре (о. Эзель) и Хаапсалу (материковая часть Эстонии); начальники – капитан-лейтенанты И. П. Чишко и М. И. Махонин соответственно (личный состав обоих участков – по штату ПК ВМФ 28/105 – В);

- два манипуляторных отряда гидрографической службы в составе 18 и 16 манипуляторных пунктов (штаты 6-28/111-Г и 6-28/111-Д) с управлениями (6-28/611-В) в тех же городах соответственно;

- военно-лоцманская станция Охраны водного района (ОВР) БОБР с управлением в Трииги (о. Эзель); начальник – лейтенант Т. М. Кудинов (временный штат «В»).

К этому времени гидрографы Моонзунда обслуживали более двух десятков маяков и огней Гидрографической службы КБФ (все, кроме отдельно

обозначенных, по штату 7/919-Г) на следующих островах архипелага :

о. Эзель – маяки Кюбасаар, Сырве (7/719-В), створные огни Ромассаар, Орисааре, Кихельконна, портовые огни Трииги;

о. Даго – маяки Кыпу (7/719-В), Луйдя, Ристна (7/719-А), Тахкуна (7/719-В), створные огни Кертель, Сыру, Хельтермаа;

о. Вормси – маяк Вормси, створные огни Норбю;

о. Моон – створные огни Рауги, портовые огни Куйвасте;

о-ва Виирелайд и Вильзанди – одноимённые маяки;

о. Кассар – створные огни Орьяку;

о. Кессулайд – створные огни Кессу;

о. Абрука – одноимённые створные огни.

Кроме того, в составе Гидрографической службы БОБР имелось также 7 гидрометеорологических станций – в Курессааре (1-го разряда – штат 7/94-А), на полуостровах Сырве (две на о. Эзель) и Тахкуна (на о. Даго) и на о. Вильзанди (три – все 4-го разряда – штат 7/921-Г).

После гибели в водах Моонзунда летом 1941 г. гидрографических судов «Вест» и «Вал», в распоряжении местных гидрографов к сентябрю оставались только небольшие плавсредства. В оперативных документах БОБР упоминаются, в частности, гидрографические промерные мотоботы «ГО-20», «ГО-22» и «ГО-23» («ГО» – сокращение от «Гидрографический отдел» ; иногда они именуется так же «ГЭ» – «Гидрографическая экспедиция»), а также несколько гидрографических катеров типа «КМ» (катер моторный), но без указания каких-либо номеров или обозначений.

Необходимо отметить, что большую часть личного состава Гидрографической службы БОБР в описываемое время составляли вольнонаёмные служащие ВМФ. Профессиональных военных моряков среди гидрографов было немного. Архивные документы свидетельствуют и о значительном некомплекте личного состава: так, например, на гидрометеостанциях штаты были заполнены лишь наполовину, а на маяках – ещё меньше.

После оставления Таллина на острова перешли транспорт с личным составом и самоходная наливная баржа с грузом горючего, которые стали последними судами, проведёнными моонзундскими лоцманами на архипелаг с материка. За исключением морской коммуникации с полуостровом Ханко, с 29 августа на Моонзунде сохранялось только местное, в интересах командования БОБР, судоходство между отдельными островами и прибрежными пунктами архипелага.

Концентрируя все имеющиеся в своём распоряжении силы, командование БОБР приняло решение эвакуировать гарнизон с расположенного в центре Рижского залива о. Рухну на Эзель. Заключительный этап этой операции – 6 сентября – обернулся для Гидрографии БОБР трагедией. Когда караван судов находился всего в 2 милях от цели – бухты Кейгусте на о. Эзель – его атаковали пикирующие бомбардировщики «Ю-88» из состава 806-й бомбардировочной авиационной группы под прикрытием истребителей «Ме-109-Е» 1-й оперативной эскадрильи 54-й учебной авиационной эскадры Люфтваффе. Главной целью немецких лётчиков стал буксир Охраны водного района Куйвасте «КП-17» («Крестьянин»), вместе с которым погибло 167 человек, в том числе проводивший караван военный лоцман лейтенант Ф.Ф.Власов. Кроме

того, в результате немецкой воздушной атаки погиб со всеми находящимися на его борту входивший в состав этого каравана один из гидрографических катеров типа «КМ» (его номер и имена погибших вместе с ним гидрографов-балтийцев остались неизвестными).

Следующий эпизод участия гидрографов КБФ в обороне Моонзунда связан с боевыми действиями на о. Вормси 7 – 9 сентября 1941 г. Именно сюда при оставлении материковой части Эстонии перешёл из района Хаапсалу личный состав Моонзундского участка и манипуляторного отряда, руководимый капитан-лейтенантами М.И. Махониным и Н.И. Федотовым. Это явилось серьёзным пополнением для слабого советского гарнизона Вормси.

Все гидрографы острова были сведены в один отряд, командиром которого первоначально являлся Махонин. Однако 7 сентября место расположение отряда в восточной части Вормси обстреляла с материкового берега 150-мм 509-я гаубичная батарея Кригсмарине, в результате чего погибло несколько моряков, в числе которых был и капитан-лейтенант М.И. Махонин. В этот день в *«Журнале боевых действий Северного укрепленного сектора БОБР»* в 21 ч 22 мин. появилась следующая запись: *«Разговаривавший по телефону из Норби Капит. Л-нт Махонин убит осколком снаряда...»*. Оставшиеся гидрографы уже на следующий день приняли участие в боях с высадившимися на острове немцами из состава одного из батальонов 389-го полка 217-й пехотной дивизии Вермахта и эстонцами из диверсионной группы «Эрна-2», поддержанными местным населением. Первоначально «группа Федотова», как именовалось подразделение гидрографов в оперативных документах БОБР, успешно вела боевые действия с противником, но в конце концов, как и остальные подразделения гарнизона Вормси, была им разгромлена. В числе погибших был и её командир. И хотя точные дата и место гибели капитан-лейтенанта Ф.И. Федотова неизвестны, можно с уверенностью сказать, что он погиб в восточной части о.Вормси 9 или 10 сентября 1941 г.

В уже упоминавшихся выше воспоминаниях *«На Балтике»* Г.И. Зима, в частности, пишет: *«Лейтенанты В.В. Бекленищев и Т.М. Кудинов с уходом кораблей из Моонзунда в последних числах августа перешли из Рохукюла на о. Саарема (Эзель). Там они приняли участие в обороне остров и вместе с остальными находившимися там гидрографами разделили горечь окружения и последовавшие тяжелые испытания»*. Однако, как выяснилось из архивных документов, судьбы двух этих гидрографов Моонзунда сложились весьма по-разному.

Лейтенант Тихон Митрофанович Кудинов, после оставления Эзеля назначенный флагманским штурманом ОВР БОБР, вечером 4 октября 1941 г. по приказу командования вышел на мотоботе «МБЛ-3» из Лехтмы на о.Даго к пову Сворбе для участия в эвакуации оставленных там защитников Эзеля. Утром следующего дня почти у самой цели катер был атакован и поврежден немецкой авиацией и, потеряв управление, выскочил на прибрежные камни Сворбе, где был окончательно уничтожен самолётами противника. Сошедшие на берег моряки вступили в бой с врагом, в ходе которого лейтенант Кудинов получил ранение в голову и попал в немецкий плен, из которого возвратился лишь после окончания войны. Другой военный лоцман Моонзунда, лейтенант Вальдемар Васильевич Бекленищев, после полной оккупации Эзеля оставал-

ся на острове еще несколько недель. Наконец, когда в конце октября немцы сняли морскую блокаду Моонзунда, Бекленищев вместе с двумя товарищами смог покинуть остров. 28 октября 1941 г. они были интернированы шведскими властями и на следующий день направлены в лагерь для оказавшихся в этой стране советских военнослужащих в Бюринге. Почти 3 года провёл здесь гидрограф-балтиец до того, как 9 октября 1944 г. был репатриирован из Швеции на Родину.

В опубликованном в канун 50-летия Великой Победы 235-м сборнике «Записки по гидрографии» одну из строчек скорбного списка «Офицеры Гидрографической службы Военно-Морского Флота, погибшие в Великой Отечественной войне 1941 – 1945 гг.» занимает имя уже упоминавшегося выше капитан-лейтенанта И.Т. Чишко. По свидетельствам очевидцев, после окончания организованного сопротивления противнику на о.Эзель, 4 октября 1941 г. «... в одиннадцать часов капитан Чишко на хранившемся в сарае (у маяка Сворбе) катере ушёл по направлению к латвийскому берегу...». Это – последнее упоминание в документах о капитан-лейтенанте Чишко, окончательная судьба которого остаётся неизвестной. Был ли его катер потоплен одним из немецких блокадных кораблей или он благополучно добрался до латвийского берега Ирбенского пролива? Пал ли гидрограф с Эзеля на материке в бою с немцами и латвийскими националистами, или же был взят ими в плен и затем погиб в концлагере? Ни один из известных автору архивных документов, к сожалению, не даёт ответов на эти вопросы.

Известно также, что в боях за Эзель осенью 1941 г. погиб метеоролог лейтенант Л.К. Гитманн (по другим данным – Гитман или Гетман), однако никаких подробностей его гибели установить не удалось. В оперативных документах 1941 г. упоминаются имена ещё трёх гидрографов Моонзунда – политрука Гаврикова, военного лоцмана капитан-лейтенанта И.В. Орлова и синоптика младшего воентехника Шкуренко, однако об их судьбах там ничего не говорится. С окончанием 22 октября 1941 г. организованного сопротивления на севере о.Даго завершилась и 44-дневная борьба за Моонзундский архипелаг. Гидрографы БОБР наравне с другими защитниками Моонзунда принимали в ней самое активное участие, действуя подчас не по своей специальности, а в том качестве, в котором они были нужны в данный момент на том или ином острове архипелага. В этой тяжёлой борьбе в глубоком тылу противника гидрографы-балтийцы с честью выполнили свой долг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российский государственный архив Военно-Морского Флота (РГА ВМФ), ф.р – 1108, оп.4.д.20,лл.25 – 27,41.
2. Архивное отделение Центрального военно-морского архива (АО ЦВМА). ф. 9,оп. 1,д. 8776,лл. 140 – 141, 159 – 160,404, 416 – 417, 493 :ф. 27, д. ;ф.28, оп. 1,д. 12284, л. 40.
3. Гидрографы в Великой Отечественной войне 1941 – 1945. – Л., 1975.
4. Записки по гидрографии № 235. 50 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941 – 1945гг. – Л., 1995.
5. История Гидрографической службы Российского флота. Монография в четырёх томах. Т. 2. Гидрографическая служба Российского Флота (1917 – 1996). – Л., 1997.
6. Лоция Балтийского моря. Часть 1. Финский и Рижский заливы с Мухувэйном. – Л., 1938.
7. 150 лет Гидрографической службе Военно-Морского Флота. Исторический очерк. – Л., 1977.

ABSTRACTS

A.A.Komaritsyn. Perspective Ways of the Navy's Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Support System Development in Modern Conditions. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P. 11–16.

The tasks of the RF Navy's Hydrographic Service in the phase of reforming the national Armed Forces are considered. The necessity to meet the requirements of civil users that has increased under the new economic conditions, is noted. This necessity entails the expedience of giving the federal status to the Hydrographic Service.

Yu.S.Doubinko, T.Yu.Doubinko. Robust Estimation in the Problems of Navigation Information Processing. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P. 17–27.

The principles of robust estimation are set forth in brief. The application of the robust approach to navigation problems solution is characterized. Examples that confirm the advantages of the proposed nonlinear procedure of robust estimation over the traditionally used methods are given.

A.V. Kavraisky. Evaluation of Formulas Accuracy for Convert the Geodetic Coordinates from One Geodetic System to Another. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P. 27–37.

Universal algorithm of converting the geodetic coordinates from one system to another for the earth's entire surface with calculation accuracy not exceeding some millimeters has been suggested. For this aim, the well-known formulas of connecting two spatial coordinate systems as well as geodetic coordinates with Cartesian spatial coordinates are used. Using this algorithm, the evaluation of the accuracy of the well-known variants of differential formulas employed at present to convert the coordinates has been carried out.

B.E.Ivanov. Specific Features of Evaluating the Fix Accuracy when Using the Navigational Range. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P.37–43.

The well-known relationships for evaluating the fix accuracy when using the linear navigational range axis as one of the position lines, are analysed. New relationships are suggested for this aim. The character of error distribution in fixing the position is considered.

A.I.Sorokin. On the Influence of the Error Distribution Law in Measurement of Oceanographic and Navigation Parameters on the Confidence Probabiliyt of Mathematical Expectation Evaluation. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P.43–50.

The problems of the arithmetic mean accuracy evaluation at the real, different from the normal, law of error distribution of navigation parameter measurements are considered. For this purpose, two variants of the generalized Student law have been obtained for the case when the population of errors has the excess different from zero, but, with the decrease of the latter, it approaches the normal distribution. The results of application of the obtained Student law generalizations to the arithmetic mean accuracy evaluation are compared with each other as well as with the results that had been obtained before by the other author, using a different generalization variant of the same law. It is shown that the use of different generalization variants at the same value of the excess gives considerably differing results.

Based on the above, the conclusion is drawn about the expediency of the real error distribution law, which seems possible at the modern level of navigation systems development.

E.S.Zoubchenko. Fixing the Position of Soundings in Aircraft Laser Bottom Relief Survey. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P.51–55.

Fixing position technique of depths measured by the aircraft laser system is suggested. The results of modelling the 2D position errors of the soundings due to the aircraft 2D position errors and its axes orientation errors at different flight altitudes are given.

A.I.Galoshin, A.A.Gustov. Methods and Experience of Testing the Multibeam Echo Sounder at Sea Test Range with Flat Bottom. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P.55–60.

The methods of testing the multibeam echo sounder are set forth. Algorithm of mathematical software used for this purpose is described. The preliminary experience of their application when testing the EML "Sapphir" is characterized.

V.N.Zavgorodny. Robust Stability and Dynamic Quality Analysis Method of Stabilizing the Orientation and Trajectory of Underwater Vehicles. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P.61–65.

To increase the accuracy of the bottom relief survey, the analysis method of trajectory and orientation stability of the vehicle as a dynamic system with interval parameter uncertainty in the process of its design is suggested.

A.B.Oparin, B.N.Panov. Augmentation of Capabilities of the Marine Hydrographic Surface Soil Profiler for Soil Types Identification. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P.65–70.

Based on the theory of images recognition, the possibility to identify the soil types, using the MGG-16 surface soil profiler is shown.

A.V.Boukhanovsky, N.E.Ivanov, V.A.Rozhkov. Probabilistic Models and Extrema of the Yearly Rhythm System of Hydrometeorological Processes. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P.71–86.

Using the multiyear series of the average monthly values of sea water temperature and salinity, sea level, height of wind-produced waves, air temperature and river drainage, the extrema of the yearly rhythm system of hydrometeorological processes have been analysed. It is shown that the average monthly values of most processes are approximated by the family of normal distributions with different mean and root-mean-square deviations, and distributions of the yearly extrema are approximated by the combination of these distributions. By means of the probabilistic models of periodically correlated random processes and Kalman filter, the evaluations of quantiles of the yearly extrema distribution possible once in T years are suggested.

A.V.Boukhanovsky, E.N.Zakharchenko, N.E.Ivanov, Yu.P.Klevantsov, V.A.Rozhkov. Probability Analysis and Modelling of the Vertically Nonhomogeneous Oceanologic Field. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P.86–103.

The regularity reduction of probability characteristics and synthesis of the analysis results in the form of probabilistic autoregression model are considered. As an example, the vertical distribution of sea water temperature, salinity and density as well as current velocity in the Baltic Sea is used.

V.A.Avdonyushkin, A.A.Lakounin, R.A.Vouchko, A.I.Foursa. Development of Topographic Science in the Russian State – from the “Big Drawing” to Geoinformation System. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P.104–110.

An important role of information about the terrain at all periods of the Russian state is shown. The historical way of mapping the Russian lands and seas, development and education in the sphere of topography is traced. The first map of the Moscow state is characterized. The necessity to introduce the digital cartographic information into the general education system is shown.

K.B.Strelbitsky. Participation of the Baltic Fleet Hydrographers in the Defence of the Moonsund Island in September-October 1941. Navigation and Hydrography, 1999, №9. P.111–114.

The Hydrographic Service structure of the Moonsund Coast Defence in the period under review is characterized. The activities of hydrographers during the defence of the archipelago are briefly described. The life history of some defence participants is traced.



АВДОНЫШКИН ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ, начальник управления Гос.НИНГИ, капитан I ранга. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1975) и ВМА (1991). До 1989 г. служил в Гидрографической службе Северного флота, принимал участие в исследованиях в Белом и Баренцевом морях. Специализируется в области гидрографии и картографии, участвует в работах по проекту освоения Штокмановского месторождения, обустройства портов на Балтике.

БУХАНОВСКИЙ АЛЕКСАНДР ВАЛЕРЬЕВИЧ, старший научный сотрудник СПО ГОИН, к.ф.-м.н. Окончил кораблестроительный факультет СПб ГМТУ (1995). Специализация – океанология. Автор (соавтор) 32 печатных трудов.

ВУЧКО РОСТИСЛАВ АДАМОВИЧ, начальник кафедры топогеодезического обеспечения филиала Военно-инженерного университета (ВИУ СПб), полковник. Окончил Ленинградское высшее военно-топографическое командное училище (ЛВВКУ, 1971) и Военно-инженерную академию им. В.В. Куйбышева (ВИА, 1978) по специальности астрономогеодезия. Автор около 10 печатных трудов.

ГАЛОШИН АЛЬБЕРТ ИВАНОВИЧ, зав.лабораторией ГНПП “Севморгео”, д.т.н., профессор. Окончил ЛВИМУ им.адм.С.О.Макарова (1962). Специализация – гидрография и геодезия. Автор 70 печатных трудов.

ГУСТОВ АЛЕКСЕЙ АРСЕНЬЕВИЧ, старший научный сотрудник ГНПП “Севморгео”. Окончил ЛЭТИ (1983). Специализация – гидрография и гидроакустика. Автор трех печатных трудов.

VICTOR A. AVDONYUSHKIN, Gos.NINGI chief of department, I-st rank captain. Graduated from Frunze's High Naval School (FHNS,1975) and Naval Academy (NA,1991). Up to 1989 he had served in the North Fleet Hygrography Service and had participated in the survey works in the White and Barents Seas. Scientific direction: hydrography and cartography, particularly in Stochman oil/gas field project and new Baltic ports development.

ALEXANDR V. BOUKHANOVSKY, SPb Division of the State Oceanography Institute (SOI) senior scientist, PhD. Graduated from SPb State Marine Engineering University (1995). Specialty – oceanology. Author (coauthor) 32 publications.

ROSTISLAV A. VUCHKO, SPb branch of Military Engineering University (SPb BMEU) head of the chair of the topographic and geodetic support, colonel. Graduated from Leningrad Military Topographical College (LMTC, 1971) and Moscow Military Engineering Kuibyshev's Academy (MEKA, 1978). Specialized in geodetic astronomy. Author about 10 publications.

ALBERT I. GALOSHIN, SSPE “Sevmor-geo” laboratory chief, ScD, professor. Graduated from adm.S.O.Makarov's LHEMS (1962). Specialty – hydrography and geodesy. Author 70 publications.

ALEKSEI A. GUSTOV, SSPE “Sevmor-geo” senior scientist. Graduated from LETI (1983). Specialty – hydrography and hydroacoustic. Author 3 publications.

ДУБИНКО ТАТЬЯНА ЮРЬЕВНА, специалист КБ “Навис”, к.т.н. Окончила СПб ГУ

ДУБИНКО ЮРИЙ СЕРГЕЕВИЧ, ведущий специалист КБ “Навис”, капитан I ранга (в отставке), к.т.н., доцент. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1958) и ВМА (1966). Специализация – спутниковая радионавигация. Автор многих печатных работ, включая две монографии.

ЗАВГОРОДНИЙ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ, начальник отдела Гос.НИНГИ, капитан I ранга. Окончил ВВМУРЭ им. А.С.Попова (1979) и ВМА (1991). Специализация – устойчивость динамических систем.

ЗАХАРЧЕНКО ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ, доцент Латвийского Университета (г.Рига), к.г.н. Окончил океанологический факультет ЛГМИ (1960). Автор (соавтор) 60 печатных трудов.

ЗУБЧЕНКО ЭДУАРД СЕМЕНОВИЧ, старший научный сотрудник Гос. НИНГИ, капитан I ранга (в запасе), к.т.н. Окончил ВВМУ им. М.В. Фрунзе (1961) и ВМА (1972). Специализация – гидрография, аэрокосмические методы картографирования Мирового океана. Автор 18 печатных трудов.

ИВАНОВ БОРИС ЕВГЕНЬЕВИЧ, главный научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан I ранга (в отставке), д.т.н., профессор, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники. Окончил Балтийское ВВМУ (1957 г.) и ВМА (1969 г.). Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор более 180 печатных трудов.

TATYANA Yu.DOUBINKO, General Design Bureau (CDB) “Navis” specialist, PhD. Graduated from SPb SU.

YURI S.DOUBINKO, CDB “Navis” chief specialist, I-st rank captain (Ret.), PhD, lecturer. Graduated from FHNS (1959) and NA (1966). Specialty – satellite radionavigation. He has many publications, including two monographs.

VLADIMIR N. ZAVGORODNY, Gos.NINGI chief of section, I-st rank captain. Graduated from Popov’s High Naval Radioelectronic School (HNRES, 1979). Specialty – stability of dynamic systems.

EVGENY N. ZAKHARCHENKO, Latvian University (Riga) lecturer, PhD. Graduated from SPb State Meteorological Engineering Institute (SMEI) oceanology faculty (1960). Specialty – oceanology. Author (coauthor) 60 publications.

EDUARD S. ZOUBTCHENKO, Gos. NINGI senior scientist, I-st rank captain (Res.), PhD. Graduated from FHNS (1961) and NA (1972). Specialty – hydrography, remote sensing methods of World ocean charting. Author 18 publications.

BORIS E. IVANOV, Gos.NINGI chief scientist, I-st rank captain (Ret.), ScD, professor, RF State Prize Winner, RF Honored Science and Technical Worker. Graduated from the Baltic High Naval School (1957) and NA (1969). Specialty – marine geodesy, gravimetry, hydrography, navigation. Author more than 180 publications.

ИВАНОВ НИКОЛАЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ, научный сотрудник СПО ГОИН. Окончил океанологический факультет ЛГМИ (1980). Автор 15 печатных трудов.

КЛЕВАНЦОВ ЮРИЙ ПЕТРОВИЧ, старший научный сотрудник СПО ГОИН, к.ф.-м.н. Окончил географический факультет ЛГУ (1959). Автор (соавтор) 50 печатных трудов.

КАВРАЙСКИЙ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ, старший научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан I ранга (в отставке). Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1955) и ВМА (1964). Специализация – морская гидрография, математическая картография. Автор ряда печатных трудов.

КОМАРИЦЫН АНАТОЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, начальник ГУНиО МО РФ, адмирал, к.т.н. Окончил ТОВВМУ им.адм.С.О.Макарова (1969), ВМА (1981), Академию Генерального штаба (1986). По специальности штурман. Автор ряда печатных трудов.

ЛАКУНИН АНДРЕЙ АЛЬБЕРТОВИЧ начальник отдела Гос.НИНГИ, капитан II ранга. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1981), Высшие офицерские классы (ВСОК, 1987). Специализация – гидрография. Автор 10 печатных трудов.

ОПАРИН АЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ, начальник отдела НИЦ Гос.НИНГИ, капитан I ранга, к.т.н. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1977). По специальности гидрограф. Автор ряда печатных трудов.

ПАНОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ, старший преподаватель ВМА, капитан I ранга, к.т.н. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1978) и ВМА. По специальности инженер-гидрограф.

NIKOLAI E. IVANOV, SPb Division of the State Oceanology Institute (SOI) senior scientist. Graduated from SMEI oceanology faculty (1980). Specialty – oceanology. Author (coauthor) 15 publications.

YURI P. KLEVANTSOV, SPb Division of the SOI senior scientist, PhD. Graduated from LSU geographical faculty (1959). Specialty – oceanology. Author (coauthor) 50 publications.

ALEXANDR V. KAVRAYSKY, Gos. NINGI senior scientist, I-st rank captain (Ret.). Graduated from FHNS (1955) and NA (1964). Specialty – marine hydrography, mathematical cartography. Author some publications

ANATOLY A. KOMARITSYN, chief of the Navy Hydrographic Service (RF MOD), admiral, PhD. Graduated from Makarov's Pacific Ocean High Naval School (1969), NA (1981), General Staff's Academy (1986). Specialty – navigator. Author many publications.

ANDREY A. LAKUNIN, Gos.NINGI chief of section, II-d rank captan. Graduated from FHNS (1981), Naval High Officer Courses (NHOC, 1987). Specialty – hydrography. Author 10 publications.

ALEXANDR B. OPARIN, Chief of Department of R&D center Gos.NINGI, I-st rank captain, PhD. Graduated from FHNS (1977). Specialty – hydrography. Author same publications.

VLADIMIR N. PANOV, NA senior teacher, I-st rank captain, PhD. Graduated from FHNS (1978) and NA. Specialty – hydrography. Author 12 publications.

Автор 12 печатных трудов.

РОЖКОВ ВАЛЕНТИН АЛЕКСЕЕВИЧ, директор СПО ГОИН, профессор, д.ф.-м.н. Окончил СПб ГУ (1954). Специализация – методы обработки гидрометеороинформации. Автор 230 печатных трудов, в том числе 10 монографий.

СТРЕЛЬБИЦКИЙ КОНСТАНТИН БОРИСОВИЧ, вице-председатель Московского клуба истории Флота. Окончил МГУ. По специальности историк. Автор около 60 печатных трудов.

ФУРСА АЛЕКСЕЙ ИВАНОВИЧ, преподаватель кафедры фототопографии и фотограмметрии филиала ВИУ (СПб), подполковник. Окончил ЛВВКУ (1980) и ВИА (1990). Специализация: оперативно-тактическая топография.

VALENTIN A. ROZHKOV, SPb Division of the SOI Director, professor, ScD. Graduated from SPb SU (1954). Specialty – methods of hydrometeoroinformation processing. Author 230 publications, including 10 monographs.

KONSTANTIN B. STRELBITSKY, Moscow Club of Fleet History, vice-chairman. Graduated from Moscow State University. Specialty – history. Author about 60 publications.

ALEXEI I. FURSA, SPb BMEU chief teacher of the chair of phototopography and photogrammetry, lieutenant-colonel. Graduated from LMTC (1980) and MEKA (1990). Specialized in control of topographic and geodetic support.



**СВОДНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ СТАТЕЙ,
опубликованных в журнале "Навигация и гидрография"
за период 1995 – 1999 гг.**

Официальный раздел

- О совершенствовании научных исследований в области навигации, гидрографии и океанографического обеспечения. Из постановления Правительства Российской Федерации от 19 июня 1994 года, №711, г. Москва 1995, №1. С. 9
- Основные направления деятельности Государственного научно-исследовательского института навигации и гидрографии Министерства обороны Российской Федерации (обобщенная информация с извлечениями из Положения об Институте) 1995, №1. С. 10
- Гидрографическое Общество (обобщенная информация с извлечениями из Положения об Обществе) 1995, №1. С. 11
- К 300-летию Российского Флота**
- Макода В.С., Федотов А.В.* Научные исследования в области морской навигации в России 1996, №2. С. 9–13
- Общие вопросы**
- Абалакин В.К., Богданов В.И., Буланже Ю.Д., Медведев М.Ю., Неронов Н.Н., Солодов В.А., Трошков Г.А.* Возрождение морских обсерваторий – стратегическая задача фундаментальной науки и практики 1996, №2. С. 22–25
- Алексеев С.П., Герасимов В.М., Добротворский А.Н., Дерцакян А.К.* Пути решения проблемы навигационного обеспечения и эксплуатации нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе 1997, №4. С. 9–28
- Антаков А.В.* Современное состояние, проблемы и перспективы развития системы навигационного оборудования морей в Российской Федерации 1996, №2. С. 19–21
- Баскин А.С.* Диалектика развития навигации 1996, №2. С. 26–31
- Богданов В.И., Медведев М.Ю., Неронов Н.Н.* Балтийское море в системе "океан – атмосфера – литосфера" 1997, №4. С. 60–64
- Бухановский А.В., Рожков В.А.* Современные подходы к выбору стохастической гидрометеорологической модели при инженерных расчетах 1997, №4. С. 50–60
- Врубель Е.* Авиационно-климатическое районирование Центральной Европы 1997, №5. С. 16–20
- Гудместад О.Т., Лосет С.* Об учете оценки риска при проектировании и эксплуатации судов и шельфовых сооружений в ледовых условиях 1998, №6. С. 17–26
- Дмитриев В.Г., Зинченко А.В., Костин Ю.М., Солдатова Н.И.* Внедрение компьютерных технологий в систему информационного

обеспечения Гос.НИНГИ МО РФ		
<i>Комарицын А.А.</i> Перспективные пути развития системы навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения ВМФ в современных условиях	1999, №9.	С. 11–16
<i>Комарицын А.А.</i> Основы методологии навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения Военно-Морского Флота	1999, №8.	С. 7–13
<i>Красовский В.С.</i> Пути повышения эффективности технического обеспечения морских средств навигации	1997, №5.	С. 12–16
<i>Леонова О.О., Щенников Д.Л.</i> К вопросу о сертификации дипломов по специальности "Гидрография" и "Метеорология"	1996, №2.	С. 35–36
<i>Лосет С., Шхинек К.Н., Михаленко Е.Б., Гудмestad О. Т., Страсс П., Фредеркин Р., Карна Т.</i> Сравнение условий окружающей среды некоторых морей Северного Ледовитого океана	1997, №4.	С. 29–49
<i>Макода В.С.</i> Некоторые аспекты технической политики в области навигации и океанографии	1997, №5.	С. 9–11
<i>Макода В.С.</i> О современном состоянии, стратегии развития и основных направлениях деятельности Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО РФ	1996, №3.	С. 9–12
<i>Макода В.С.</i> Перспективы развития средств и методов морской навигации, гидрографии и океанографии	1996, №2.	С. 14–19
<i>Малеев П.И.</i> Одно из возможных направлений в создании средств навигации морских объектов по физическим полям Земли	1996, №2.	С. 31–35
<i>Неронов Н.Н.</i> К вопросу об учете «привнесенного риска» при проведении морских работ	1998, №6.	С. 27–32
<i>Пересыпкин В.И., Яковлев А.Н.</i> Северный морской путь	1998, №6.	С. 7–12
<i>Смольков Г. Я.</i> Навигация и космическая погода	1998, №6.	С. 12–17
<i>Сорокин А.И.</i> Стандартная и справочные модели океаносферы	1999, №8.	С. 14–18
<i>Судольский А.С.</i> Береговые процессы и их влияние на условия судоходства	1996, №3.	С. 13–17
Методы, точность и эффективность навигации.		
Деятельность штурмана		
<i>Беляев Б.Н., Иванов Б.Е.</i> К вопросу использования распределения Лапласа в навигации	1996, №3.	С. 43–44
<i>Беляев Б.Н., Сорокин А. И.</i> О некоторых свойствах оценок средних квадратических погрешностей места корабля	1996, №2.	С. 56–58
<i>Бобков С.А., Демин С.П.</i> Планирование навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения проводки морской ледостойкой платформы	1997, №4.	С. 73–78
<i>Войцеховский Б.А., Трунов В.Н.</i> Анализ точности гироазимутгоризонткомпаса ГАГК-1 в условиях случайных возмущающих воздействий	1999, №8.	С. 28–32
<i>Груздев Н.М.</i> Об использовании Лапласовской модели погрешностей в навигации	1996, №2.	С. 59–65

<i>Гузевич С.Н.</i> Основные положения навигации по геомагнитному полю	1996, №2.	С. 37–43
<i>Дадашев А.А.</i> Способ определения относительной скорости корабля на переменном течении при сокращении числа пробегов	1996, №3.	С. 29–35
<i>Дзюба В.Г., Панов А.Г.</i> Опыт создания, испытаний и использования ЭНИС для ВМФ	1996, №2.	С. 44–45
<i>Дубинко Ю.С., Дубинко Т.Ю.</i> Робастное оценивание в задачах обработки навигационной информации	1999, №9.	С. 17–27
<i>Иванов Б.Е.</i> Закон распределения погрешностей определения места при коррелированных навигационных параметрах	1995, №1.	С. 17–18
<i>Иванов Б.Е.</i> Оценка точности определения места при использовании распределения Лапласа	1996, №2.	С. 66–72
<i>Иванов Б.Е.</i> Моделирование погрешностей, подчиняющихся распределению Лапласа	1998, №6.	С. 38–41
<i>Иванов Б.Е.</i> Особенности оценки точности определения места при использовании навигационного створа	1999, №9.	С. 37–43
<i>Каврайский А.В.</i> О связи систем координат, используемых в морской картографии и навигации	1995, №1.	С. 19–23
<i>Каврайский А.В.</i> Оценка точности формул преобразования геодезических координат из одной геодезической системы в другую	1999, №9	С. 27–37
<i>Кокорин В.И., Проценко Л.М.</i> Способ дистанционного определения координат необслуживаемых объектов	1996, №2.	С. 52–55
<i>Колачиньски С.</i> Основные свойства навигационного параметра – отношения расстояний до двух ориентиров	1995, №1.	С. 24–26
<i>Макода В.С., Мавродиев А.М.</i> Новый подход в методологии обоснования технической политики развития средств навигационно-гидрографического обеспечения	1995, №1.	С. 12–17
<i>Пересыпкин В.И.</i> Деятельность ИМО по разработке эксплуатационных требований к средствам и системам навигационного обеспечения безопасности мореплавания	1997, №4.	С. 65–69
<i>Сазонов А.Е., Буканов И.П.</i> К определению времени поиска терпящих бедствие на море объектов	1997, №5.	С. 21–29
<i>Сарайский Ю.Н.</i> Деятельность ИКАО по нормированию точности аэронавигации	1997, №4.	С. 69–73
<i>Сорокин А.И.</i> О влиянии закона распределения погрешностей измерения океанографических и навигационных параметров на доверительную вероятность оценки математического ожидания	1999, №9.	С. 43–50
<i>Сорокин А.И., Иванов Б.Е.</i> О средней квадратической погрешности определения места и обозначающих ее терминах	1998, №6.	С. 33–38
<i>Тихонов А.Ю.</i> О подходах к обоснованию требований к точности навигационной информации	1996, №3.	С. 35–42
<i>Тихонов А.Ю.</i> Оценивание точности системы навигации подвижного объекта на протяжении интервала времени	1996, №3.	С. 18–28
<i>Ясько С.А., Чупин Д.Ю.</i> Проблемы и возможности навигационных определений в многоспутниковых системах связи	1996, №2.	С. 46–52

Навигационные системы и комплексы

- Алексеев С.П., Емельянцева Г.И.* Об интеграции информационного обеспечения задач навигации, стабилизации и управления движением морских подвижных объектов 1996, №2. С. 73–76
- Бродский П.Г., Леденев Н.И., Флорова Т.Н.* Об оценке качества проектируемого навигационного комплекса 1996, №2. С. 91–94
- Виноградов К.А.* О предварительной оценке некоторых параметров разрабатываемых эхолотов 1996, №2. С. 84–85
- Войцеховский Б.А.* Морские магнитные индукционные компасы нового поколения 1995, №1. С. 43–45
- Емельянцева Г.И., Моисеев Э.С., Солнцев А.Н.* Современные требования и облик навигационного комплекса для боевых надводных кораблей начала XXI века 1995, №1. С. 35–39
- Емельянцева Г.И., Моисеев Э.С., Солнцев А.Н.* Методы расчета показателей эффективности навигационных комплексов надводных кораблей 1996, №2. С. 77–83
- Емельянцева Г.И., Анучин О.Н., Гусинский В.Э.* Интегрированные системы ориентации и навигации для кораблей и морских судов 1998, №6. С. 42–51
- Заяц Л.А., Глухов Ю.А.* О дальнейшем совершенствовании математического обеспечения средств автоматической радиолокационной прокладки 1998, №6. С. 51–56
- Зимин Н.С., Ли Р.В.* Компьютерный растровый цветной радиолокационный индикатор "Балтика" для систем управления движением судов 1997, №4. С. 79–84
- Колесников В.А., Левит Г.А., Митрофанова О.М., Титлянов В.А.* Об алгоритме работы гирогоризонткомпаса с нетрадиционной схемой построения 1995, №1. С. 40–43
- Красовский В.С.* К вопросу учета множественных неисправностей при определении состава одиночного ЗИП навигационных комплексов 1996, №2. С. 86–90
- Красовский В.С., Моклокова Е.А., Развозов С.Ю.* Анализ диагностического обеспечения современной навигационной техники 1998, №7. С. 33–37
- Малеев П.И.* Некоторые перспективы использования новых эффектов и явлений для навигации и гидрографии 1995, №1. С. 27–34
- Нечаев Ю.И.* Исследование динамики ветроволновых полей с помощью судовых интеллектуальных систем 1996, №3. С. 45–50
- Резниченко В.И., Бродский П.Г., Мазин А.Л.* К вопросу комплексного использования измерений спутниковых навигационных систем и автономных средств навигации корабля для получения курсовой информации 1997, №5. С. 34–37
- Резниченко В.И., Яценко С.В., Зуев В.Ф.* Алгоритм определения скорости судна аппаратурой спутниковых навигационных систем в условиях качки 1997, №5. С. 30–33
- Спутниковые и наземные радионавигационные системы**
- Ададуров С.Е., Степанов М.Г., Ясько С.А.* О возможности навигационных 1996, №3. С. 60–67

- определений абонентов в многоспутниковых низкоорбитных системах связи
Арно Г.Р., Резниченко В.И., Бублик С.М., Болдырев В.С. Использование приемной аппаратуры спутниковых навигационных систем на кораблях и судах морского флота
 1998, №6. С. 57–59
- Базаров Ю.И., Воробьев А.К., Пыленков В.А.* Локальные системы дифференциального режима среднеорбитной спутниковой навигационной системы
 1995, №1. С. 49–51
- Базаров Ю.И., Катенин В.А., Трегубов В.С.* О критериях доступности и целостности спутниковых и наземных радионавигационных систем
 1995, №1. С. 52–55
- Баринев С.П.* Опосредованная синхронизация радионавигационных систем космического и наземного базирования
 1995, №1. С. 46–49
- Болдырев В.С., Заколodayжнй В.П.* Пути развития спутниковых навигационных систем
 1998, №7. С. 38–45
- Бублик С.М., Шашков А.А.* Определение ориентации корабля по среднеорбитным спутниковым радионавигационным системам с использованием данных автономных средств
 1997, №5. С. 38–42
- Буртнй С.П.* Методологические особенности оценивания эффективности функционирования радионавигационных систем
 1998, №7. С. 46–51
- Бутенко В.В., Куропятников А.Д.* Проблема точности моделирования радиационного давления на корпус космических аппаратов в эфемеридном обеспечении ЕКНС ГЛОНАСС
 1996, №2. С. 104–107
- Голяков А.Д., Романов В.В.* Метод обеспечения длительных сроков автономного функционирования системы астронавигации космического аппарата
 1996, №3. С. 56–59
- Зайцев А.В., Резниченко В.И.* Особенности функционирования спутниковой навигационной аппаратуры на морском объекте
 1995, №1. С. 56–60
- Зурабов Ю.Г., Мищенко И.Н.* Требования морского флота к радионавигационному обеспечению
 1996, №2. С. 95–104
- Комин В.Я., Косульников А.Р.* Априорная оценка доступности структурно-сложных радионавигационных систем
 1996, №2. С. 108–114
- Лобойко Б.И., Бублик С.М.* Погрешности трансферных измерений дальности и скорости в спутниковых радионавигационных системах
 1998, №6. С. 59–64
- Лобойко Б.И.* Формирование групповой пульсарной шкалы времени для радионавигационных систем
 1995, №1. С. 60–62
- Лобойко Б.И., Никитин О.В.* Прогнозирование ионосферных поправок в спутниковых радионавигационных системах
 1997, №5. С. 43–47
- Макода В.С., Базаров Ю.И.* Международные стандарты на аппаратуру морских потребителей глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС)
 1996, №3. С. 51–56
- Резниченко В.И.* К вопросу использования приемоиндикаторов СНС для определения скорости судна
 1996, №3. С. 67–68
- Резниченко В.И., Шашков А.А.* Фазовый метод определения ориентации по сигналам спутниковой навигационной системы
 1996, №2. С. 115–119
- Ясько С.А.* Адаптивные алгоритмы навигационных определений
 1998, №7. С. 52–61

абонентов многоспутниковых низкоорбитных сетевых систем

Средства и методы гидрографии, морской картографии и геофизики

- Авдонюшкин В.А., Лакунин А.А.* Оценка качества съемки рельефа дна средствами площадного обследования 1997, №4. С. 116–120
- Артамонов Л.В., Петрова И.М.* О возможностях аэроэлектромагнитных методов при решении гидрографических задач 1997, №5. С. 65–69
- Ашик И.М.* Численные расчёты и прогнозы колебаний уровня, течений и дрейфа льда на шельфе морей западного сектора Арктики 1997, №4. С. 85–94
- Бабкин В.И., Биденко С.И., Фомин В.М.* Новый атлас Мирового океана 1997, №5. С. 48–50
- Баринов С. П., Панов А. Г.* Навигационно-гидрографическое обеспечение установки морской ледостойкой платформы в районе Приразломного нефтяного месторождения 1997, №4. С. 113–116
- Бахмутский В.Г.* Контроль полноты регистрации глубин при автоматизированной съемке рельефа дна 1997, №5. С. 50–53
- Бахмутский В.Г.* Тарирование многолучевого эхолота 1996, №3. С. 93–99
- Веселов О.А., Зотов А.А., Коржов Ю.А.* Перспективы развития ледоразрушающих средств и технологий для обеспечения зимней навигации на замерзающих акваториях 1996, №3. С. 79–83
- Галошин А.И., Густов А.А.* Методика и опыт испытаний многолучевого эхолота на морском полигоне с плоским дном 1999, №9. С. 55–60
- Гидаспов Д.Д., Шеремет В.И., Малеев П.И.* Топография магнитного поля магнитных реперов различной формы и протяженности 1997, №5. С. 53–58
- Горшков В.Н., Лапин Ю.В., Глазко В.В.* Обследование навигационных опасностей с помощью малогабаритного телеуправляемого подводного аппарата "Фордевинд" 1995, №1. С. 86–88
- Долотов С.А., Каевицер В.И., Смольянинов И.В.* Точность определения угла прихода эхосигналов гидролокационным комплексом бокового обзора 1996, №3. С. 100–103
- Завгородний В.Н.* Метод анализа робастной устойчивости и динамического качества стабилизации ориентации и траектории движения подводных аппаратов 1999, №9. С. 61–65
- Завгородний В.Н.* О повышении точности и производительности съемки рельефа дна с помощью буксируемого подводного аппарата 1999, №8. С. 72–79
- Зубченко Э.С.* Использование спутниковых данных о высотах геоида для оценки рельефа дна 1996, №2. С. 120–123
- Зубченко Э.С.* Координатная привязка измеренных глубин при авиационной лазерной съемке рельефа дна 1999, №9. С. 51–55
- Зубченко Э.С., Абрамов А.М.* О перспективных требованиях к съемке рельефа дна гидроакустическими средствами 1998, №6. С. 69–75
- Зубченко Э.С., Кондюрин В.Д.* Максимальные глубины, определяемые по аэро- и космическим фотоснимкам фотометрическим способом 1997, №4. С. 107–112

<i>Зубченко Э.С., Лакунин А.А.</i> Повышение точности учета наклона дна при промере широколучевым эхолотом	1996, №3.	С. 72–79
<i>Зубченко Э.С.</i> Вычисление гармонических постоянных прилива	1997, №5.	С. 70–78
<i>Иванов Б.Е.</i> О дискретности гравиметрических измерений в океане	1996, №3.	С. 107–111
<i>Иванов Б.Е.</i> О модели погрешности определения глубины моря	1999, №8.	С. 62–67
<i>Кондюрин В.Д., Юшков Ю.В.</i> Использование аэрокосмических фотоснимков для прогнозирования расположения подводных валов в прибрежной зоне шельфа	1996, №3.	С. 69–71
<i>Коугия В.А.</i> Вычисление расстояний до гидроакустических маяков при вертикальной и горизонтальной неоднородностях водной среды	1997, №5.	С. 59–64
<i>Краснов В.Н.</i> Подводный аппарат проницаемого типа СМП-07	1996, №2.	С. 129–132
<i>Кузьмин Ю.И., Крюков И.В., Дорот И.Л.</i> Камеральная обработка данных многолучевых эхолотов, применяемых при проведении гидрографических исследований	1999, №8.	С. 67–72
<i>Кулагина Т.М.</i> Определение периода вариаций геомагнитного поля на галсе обсервации	1995, №1.	С. 83–86
<i>Кушнир В.М.</i> Приборно-методическое обеспечение измерений параметров придонного пограничного слоя	1996, №2.	С. 123–128
<i>Малеев П.И., Смирнов Б.М.</i> Новые методы определения составляющих вектора магнитной индукции магнитного поля Земли с ферромагнитного объекта	1999, №8.	С. 82–86
<i>Малеев П.И., Смирнов Б.М., Хасиев И.С.</i> Определение местоположения подвижного объекта по магнитному реперу	1998, №6.	С. 75–80
<i>Мастрюков С.И.</i> Модель расчета течений в Белом море	1997, №4.	С. 94–99
<i>Наумов А.П., Малеев П.И.</i> Электромагнитные сигналы сейсмоисточников как естественные навигационные ориентиры	1999, №8.	С. 79–82
<i>Опарин А.Б., Панов В.Н.</i> Расширение возможностей морского гидрографического грунтографа по определению грунтов	1999, №9.	С. 65–70
<i>Решетняк С.В., Тезиков А.Л.</i> Оценка вероятности пропуска опасных глубин в зависимости от дискретности съемки	1995, №1.	С. 78–82
<i>Рыбакин В.Н.</i> Электромагнитные методы изучения строения морского дна в задачах обеспечения безопасности мореплавания и портового строительства	1996, №3.	С. 104–106
<i>Свечников А.И.</i> Обобщенная модель донного грунта при решении гидрографических задач	1998, №6.	С. 65–68
<i>Свечников А.И.</i> Определение характеристик донного грунта по сигналам эхолота	1995, №1.	С. 63–67
<i>Симинеев А.А., Власова Л.Д.</i> Применение аналитической фототриангуляции для определения пунктов аналитических сетей	1995, №1.	С. 67–71
<i>Смирнов В.Г., Девятаев О. С., Бушует А.В.</i> Спутниковый мониторинг ледового покрова в районе Приразломного нефтяного месторождения	1997, №4.	С. 100–107
<i>Соколов В.В., Бархатов Г.М.</i> К вопросу о расчете перекрыша при навигационно-гидрографическом обеспечении противоминных действий	1995, №1.	С. 72–74

<i>Сорокин А.И.</i> Об измерении площадей на морских картах	1996, №2.	С. 133–135
<i>Сорокин А.И.</i> Определение площади произвольной формы в прямоугольных координатах меркаторской проекции на карте и экране ЭВМ	1996, №3.	С. 83–86
<i>Сорокин А.И.</i> Оценка потери гидрографической информации при ее регуляризации	1998, №6.	С. 81–83
<i>Фирсов Ю.Г.</i> Методика калибровки многолучевого эхолота на морском полигоне с плоским дном	1996, №3.	С. 87–93
<i>Чирков О.А.</i> Использование батиметрических данных для уменьшения динамической погрешности морского гравиметра	1995, №1.	С. 75–77
Гидрометеорологическое обеспечение мореплавания		
<i>Беляев Б.Н., Шейко Б.Н.</i> Совершенствование гидрометеорологического обеспечения флота как важное направление экономии сил и средств	1999, №8.	С. 87–92
<i>Бобков С.А.</i> Состав и структура средств по доведению данных о навигационно-гидрографической и гидрометеорологической обстановке до органов управления Приразломного нефтяного месторождения	1997, №4.	С. 121–125
<i>Бровин А.И., Миронов Е.У.</i> Концепция мониторинга ледового покрова в районе Приразломного нефтяного месторождения.	1997, №4.	С. 140–143
<i>Бухановский А.В., Захарченко Е.Н., Иванов Н.Е., Клеванцов Ю.П., Рожков В.А.</i> Вероятностный анализ и моделирование вертикально неоднородного океанологического поля	1999, №9.	С. 86–103
<i>Бухановский А.В., Иванов Н.Е., Рожков В.А.</i> Вероятностные модели и экстремумы годовой ритмики гидрометеорологических процессов	1999, №9.	С. 71–86
<i>Вольфсон Л.М.</i> Автоматизация средств освещения гидрометеорологической обстановки экологического мониторинга	1996, №3.	С. 112–115
<i>Гайдадым А. В.</i> Восстановление поля приземной температуры воздуха для акватории Северного Ледовитого океана в условиях ограниченного поступления гидрометинформации	1998, №6.	С. 94–100
<i>Галахов В.Л., Дмитриев В.Г.</i> О законе распределения погрешностей гидрометеорологических прогнозов	1996, №2.	С. 136–141
<i>Дмитриев В.Г.</i> Об одной особенности оптимальной (и других видов линейной) интерполяции гидрометеорологических процессов и полей	1995, №1.	С. 93–95
<i>Дмитриев В.Г.</i> Определение вероятностей возникновения критических гидрометеорологических условий при интервальном оценивании	1995, №1.	С. 98–100
<i>Дмитриев В.Г.</i> Принципы формирования базы прогностических данных в автоматизированном прогностическом центре	1996, №2.	С. 141–145
<i>Козырь И.В.</i> Использование логико-лингвистических моделей при обосновании состава корабельных комплексов гидрометеорологического обеспечения	1995, №1.	С. 96–98
<i>Козырь И.В.</i> Опыт государственного управления деятельностью гидрометеорологических служб военных и гражданских ведомств США	1996, №3.	С. 116–121

<i>Кушнир В.М., Морозов А.Н.</i> Использование данных профилографов для контроля динамики морской среды	1997, №5.	С. 94–101
<i>Лавренов И.В., Давидан И.Н., Боков В.Н., Дымов В.И., Пасечник Т.А., Яковлева Н.П.</i> Оценка экстремальных высот ветровых волн в Печорском море	1997, №4.	С. 144–152
<i>Лавренов И.В., Давидан И.Н., Боков В.Н., Дымов В.И., Пасечник Т.А., Яковлева Н.П.</i> Оценка экстремальных высот ветровых волн в Печорском море (окончание)	1997, №5.	С. 85–93
<i>Лупян Е.А., Веселов В.М., Захаров М.Ю., Мазуров А.А., Флитман Е.В.</i> Оперативное использование спутниковых данных для решения задач гидрометеобеспечения разработок Приразломного нефтяного месторождения	1997, №4.	С. 126–135
<i>Маеродиев А.М., Олесов Б.В.</i> Гидрометеорология и синергетика	1995, №1.	С. 89–93
<i>Мастрюков С.И.</i> Имитационное моделирование статистических характеристик окон погоды в интересах планирования морских операций	1998, №6.	С. 84–90
<i>Мастрюков С.И., Шумахер Д.А., Кильдюшевский Ю.И.</i> Макет электронного атласа гидрометеорологического режима Баренцева моря	1997, №5.	С. 79–84
<i>Миронов Е.У., Бровин А.И.</i> Специализированные ледовые прогнозы и организация гидрометеорологического обеспечения морских операций в юго-восточной части Баренцева моря	1997, №4.	С. 135–139
<i>Полозов В.В.</i> Нетрадиционный метод сверхдолгосрочного прогноза температуры воздуха, осадков и других геофизических элементов	1998, №6.	С. 100–104
<i>Регинский В.Д., Латышев М.А., Кутузов В.М., Безуглов А.В.</i> Использование коротковолновых РЛС в интересах гидрометеорологического обеспечения работ по добыче нефти на шельфе Баренцева моря	1997, №4.	С. 152–156
<i>Степанов С.А.</i> Диагноз штормовых условий при ограниченном количестве гидрометеорологической информации	1998, №6.	С. 90–93
Морская экология		
<i>Алексеев С.П., Шевцов А.Г.</i> Направление экологических исследований в ВМФ	1995, №1.	С. 101–104
<i>Блинов И.А.</i> Гидрография и экология	1996, №2.	С. 146–149
<i>Гребинский А.С., Осадчий В.Ю.</i> Учет шероховатости морской поверхности при дистанционном зондировании нефтяных пленок на море	1996, №2.	С. 149–152
<i>Кондюрин В.Д., Мятелков В.О., Юшков Ю.В.</i> Зависимость между относительной прозрачностью и показателем вертикального ослабления света в воде	1997, №5.	С. 105–107
<i>Куксенков В.И., Ковалевский А.В., Харченко В.Г.</i> Некоторые вопросы загрязнения морской среды радиоактивными веществами и нефтепродуктами в повседневной деятельности ВМФ	1995, №1.	С. 109–111

<i>Куликов Б.В., Калашникова Е.В.</i> Проблемы снижения уровней загрязнения природной среды кораблями и береговыми объектами ВМФ	1995, №1.	С. 105–108
<i>Левин И.М., Осадчий В.Ю.</i> Оптические характеристики воды в южной части Балтийского моря	1997, №5.	102–105
<i>Мастрюков С.И.</i> Моделирование циркуляции воды и переноса примеси в мелководных бассейнах	1996, №2.	С. 152–159
<i>Ставров К.Г.</i> Принципы использования комплекса средств и методов гидрографии и геофизики в целях экологического мониторинга морской среды и предотвращения ее загрязнения	1996, №3.	С. 122–126
<i>Судольский А.С.</i> Динамические и режимные характеристики обширного залива	1999, №8.	С. 93–100
Конференции, симпозиумы, семинары		
<i>Семинар "Применение фазовых измерений в навигационной аппаратуре потребителя СНС ГЛОНАСС. Синхронизация наземных РНС". Тезисы докладов:</i>	1995, №1.	С. 112–116
<i>Баринов С.П.</i> Выбор критерия эффективности методов синхронизации наземных РНС	1995, №1.	С. 112–114
<i>Крупень В.А.</i> Повышение точности определения места при использовании среднеорбитной спутниковой навигационной системы	1995, №1.	С. 114–115
<i>Ходаковский В.А.</i> Об одном методе синхронизации шкал эталонов времени	1995, №1.	С. 116
<i>Ходаковский В.А.</i> Принципы и возможности фазовых измерений в спутниковых навигационных системах типа НАВСТАР	1995, №1.	С. 115–116
"Морская история казачества" – научная конференция, посвященная 300-летию Российского флота	1996, №3.	С. 127
"Навигационная техника 3-го тысячелетия" – 52-я ежегодная конференция Института навигации США	1996, №2.	С. 165–166
"Русское географическое общество и флот" – 6-я конференция по географии и картографированию океана Русского географического общества, посвященная 300-летию Российского Флота	1996, №2.	С. 164
"Русское географическое общество и Флот" – 6-я конференция по географии и картографированию океана Русского географического общества, посвященная 300-летию Российского флота	1996, №3.	С. 127
1998 г. – Международный год Океана	1998, №6.	С. 108–109
XX-ая юбилейная конференция, посвященная памяти Н.Н.Острякова	1996, №2.	С. 165
XXI-я юбилейная конференция, посвященная памяти Н.Н.Острякова	1998, №6.	С. 108
Вторая российская научно-техническая конференция "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии" (НО – 95)	1996, №2.	С. 160–163
3-я Российская научно-техническая конференция "НО-98"	1998, №6.	С. 105–107
Выставка "300 лет Российскому флоту: традиции, современность, перспективы"	1996, №2.	С. 160

Научная школа "Астронавигация -97"	1996, №3.	С. 130–131
Научно-практическая конференция "170 лет Российской гидрографии. Пройденный путь и перспективы развития"	1997, №5.	С. 108
Научно-практическая конференция "Стандартизация, метрология и флот", посвященная 300-летию Российского Флота"	1996, №2.	С. 163–164
Научно-технический семинар "Проблемы навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения работ по освоению нефтегазовых месторождений в Арктике"	1996, №3.	С. 128–129
Новая секция в Научно-техническом обществе судостроителей	1996, №2	С. 166
Очередная конференция Российского общественного института навигации	1996, №3.	С. 129–130
Пятая международная конференция и выставка "Дифференциальные спутниковые навигационные системы"	1996, №2.	С. 163
Третья международная конференция по интегрированным навигационным системам	1996, №2.	С. 163
Страницы истории		
<i>Авдонюшкин В.А., Горшков В.Н.</i> Развитие средств и методов военной гидрографии	1998, №7.	С. 96–99
<i>Авдонюшкин В.А., Лакунин А.А.</i> Перспективные средства гидрографии	1998, №7.	С. 99–102
<i>Авдонюшкин В.А., Лакунин А.А., Вучко А.И., Фурса Р.А.</i> Развитие топографической науки в Российском государстве – от «большого чертежа» к геоинформационной системе	1999, №9.	С. 104–110
<i>Алексеев С.П.</i> Навигационно-гидрографическое и гидрометеорологическое обеспечение добычи и транспортировки морских углеводородов	1998, №7.	С. 29–35
<i>Анохин В.Н.</i> Разработка и реализация новой информационной технологии в управлении природными ресурсами и состоянием окружающей среды субъекта Российской Федерации	1998, №7.	С. 37–41
<i>Арно Г.Р.</i> Опыт использования программного планирования в истории развития технических средств навигации	1998, №7.	С. 21–25
<i>Балясников С.Б.</i> Навигационно-гидрографическое и гидрометеорологическое обеспечение подводно-технических работ в районе затонувшей АПЛ «Комсомолец»	1998, №7.	С. 47–52
<i>Балясников С.Б., Матрюков С.И.</i> Состояние и проблемы развития банка океанографических данных Министерства обороны РФ	1998, №7.	С. 121–126
<i>Безобразов А.И.</i> Из истории создания фазовых радионавигационных систем	1998, №7.	С. 60–64
<i>Виноградов К.А., Новиков И.А.</i> Гидроакустические навигационные системы и средства.	1998, №7.	С. 64–70
<i>Галахов В.Л., Дмитриев В.Г.</i> Методологические аспекты исследований в области гидрометеорологического обеспечения ВМФ	1998, №7.	С. 109–116
<i>Дзюба В.Г., Панов А.Г., Глухов Ю.А.</i> Развитие навигационных информационных систем с отображением электронных карт	1998, №7.	С. 84–88

<i>Емельянцева Г.И., Левит Г.А.</i> Создание и дальнейшее развитие отечественных корабельных инерциальных навигационных систем	1998, №7.	С. 79–83
<i>Зотов А.А.</i> Экологический мониторинг среды в районах военно-морских баз	1998, №7.	С. 127–131
<i>Иванов Б.Е., Меркушов Н.С., Корякин В.И.</i> К истории училища военных гидрографов	1997, №5.	С. 112–116
<i>Иванов Б.Е., Мятелков В.О.</i> Морская геофизика – новое направление исследований	1998, №7.	С. 102–108
<i>Красовский В.С.</i> "Совершенные правители мореплавания" (к "Дню Штурмана")	1996, №3.	С. 138–140
<i>Лаверентьев А.В., Майгов А.В., Титлянов В.А., Яценко С.В.</i> Развитие навигационных комплексов кораблей ВМФ	1998, №7.	С. 75–78
<i>Макода В.С., Федотов А.В.</i> 60-летие Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института Министерства обороны Российской Федерации	1998, №7.	С. 14–21
<i>Малеев П.И.</i> Научные связи Института с организациями Академии Наук и высшими учебными заведениями	1998, №7.	С. 25–29
<i>Неронов Н.Н.</i> Гидрографическому управлению 170 лет	1997, №5.	С. 109–111
<i>Неронов Н.Н.</i> Некоторые аспекты решения проблемы навигационно-гидрографического обеспечения выхода ВМФ в Мировой океан в 1954–1964 гг.	1998, №7.	С. 92–95
<i>Неронов Н.Н., Авдонишкин В.А.</i> Навигационно-гидрографическое обеспечение строительства морских портов	1998, №7.	С. 35–37
Приветствия и поздравления с 60-летием Института	1998, №7.	С. 9–13
<i>Румянцев Ю.В.</i> Разработка методик и руководств по навигационному обеспечению	1998, №7.	С. 88–92
<i>Стрельбицкий К.Б.</i> Участие гидрографов Краснознамённого Балтийского флота в обороне Моонзундских островов в сентябре – октябре 1941 года	1999, №9.	С. 111–114
<i>Тхоржевская Н.О., Осюхин Б.А.</i> О конверсии в области навигационных приборов	1998, №7.	С. 42–46
<i>Федотов А.В.</i> Из истории Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института Министерства Обороны Российской Федерации	1995, №1.	С. 117–121
<i>Федотов А.В.</i> Научные результаты навигационного обеспечения похода атомной подводной лодки "Ленинский Комсомол" к Северному полюсу в 1962 году	1997, №5.	С. 116–119
<i>Федотов А.В.</i> Первая отечественная спутниковая радионавигационная система.	1998, №7.	С. 52–57
<i>Федотов А.В.</i> Развитие морской навигации в XX веке	1996, №3.	С. 132–137
<i>Федотов А.В., Доведов Е.С.</i> Краткая история создания спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС	1998, №7.	С. 57–60
<i>Фрадкин В.Н.</i> Исследования в области методов комплексной обработки навигационной информации	1998, №7.	С. 71–74

Черноморский флот при М.П.Лазареве (отрывки из воспоминаний адмирала И.А.Шестакова "Полвека обыкновенной жизни")	1995, №1.	С. 122–125
Черноморский флот при М.П.Лазареве (отрывки из воспоминаний адмирала И.А.Шестакова "Полвека обыкновенной жизни")	1996, №2.	С. 167–174
<i>Шевцов А.Т.</i> Некоторые итоги океанографических исследований Института в интересах ВМФ	1998, №7.	С. 117–120
<i>Яковлев А.Н.</i> В океанском походе	1996, №3.	С. 141–143
За рубежом		
<i>Болдырев В.С., Заколюдяжный В.П.</i> Динамика разработки зарубежной навигационной аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем	1998, №6.	С. 110–114
<i>Виноградов К.А.</i> Гидроакустические доплеровские измерители скорости фирмы RD Instruments	1996, №3.	С. 150–153
<i>Волосов П.С., Рудас С.А.</i> Организация и средства навигационно-гидрографического обеспечения Японии	1996, №2.	С. 180–190
<i>Волосов П.С.</i> Разработка судовых "черных ящиков" за рубежом	1995, №1.	С. 128–130
<i>Майгов А.В.</i> Автоматизированные системы управления противоминными действиями и навигационное вооружение кораблей противоминной обороны иностранных государств	1996, №3.	С. 144–149
<i>Макода В.С.</i> Тенденции развития спутниковых навигационных систем в США	1995, №1.	С. 126–128
<i>Макода В.С., Трегубов В.С., Захаров Ю.И.</i> Состояние и тенденции развития наземных радионавигационных систем за рубежом	1996, №2.	С. 175–180
Юбилейные даты		
<i>Антошкевич А.В.</i> 275 лет Центральной Картографической фабрики Военно-Морского Флота	1995, №1.	С. 131–132
<i>Блинов И.А.</i> 120 лет Государственной Морской Академии им. адм. С.О.Макарова	1996, №2.	С. 193–195
<i>Булавчик В.Г.</i> 295 лет ВВМУ им. М.В.Фрунзе	1996, №2.	С. 191–193



**Summary contents of publications in the journal
“Navigation and Hydrography” for the period of 1995–1999**

Official Section

- About perfection of scientific research in navigation, hydrography and oceanographical support area (from Russian Government's resolution N711 on 19.04.94) 1995, №1. P. 9
- Principal directions of the Russian DOD's State Research Navigation and Hydrographic Institute activity (abstract data with extraction from Institute status) 1995, №1. P. 10
- Hydrographic Society (abstract data with extraction from Society status) 1995, №1. P. 11
- To the 300-th Russian Fleet Anniversary**
- Makoda V.S., Fedotov A. V.* Scientific investigations in the field of marine navigation in Russia 1996, №2. P. 9–13
- General Matters**
- Abalakin V.K., Bogdanov V.I., Bulanzhe Yu.D., Medvedev M.Yu., Neronov N.N., Solodov V.A., Troshkov G.A.* Marine observation revival is a strategic problem of fundamental science and practice 1996, №2. P. 22–25
- Alekseev S.P., Gerasimov V.M., Dobrotvorsky A.N., Dertsakyan A.K.* Problems of Navigation Support of the Oil and Gas Fields Development and Exploitation on the Arctic Shelf 1997, №4. P. 9–28
- Antakov A. V.* Marine aids to navigation contemporary situation, problems and perspectives in Russian Federation 1996, №2. P. 19–21
- Baskin A.S.* Navigation genesis dialectics 1996, №2. P. 26–31
- Bogdanov V.I., Medvedev M.Yu., Neronov N.N.* The Baltic Sea in the System "Ocean-Atmosphere-Lithosphere" 1997, №4. P. 60–64
- Boukhanovsky A.V., Rozhkov V.A.* Problems of the Choice of Stochastic Hydrometeorological Model in Engineering Calculations 1997, №4. P. 50–60
- Dmitriyev V.G., Zinchenko A.V., Kostin Yu.M., Soldatova N.I.* Implementation of Computers Technologies in the Gos.NINGI (MoD RF) 1999, №8. P. 18–27
- Gudmestad O.T., S.Loset.* Risk assessment procedures for design and operation of ships and offshore structures in ice 1998, №6. P. 17–26
- Komaritsyn A.A.* Perspective Ways of the Navy's Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Support System Development in Modern Conditions 1999, №9. P. 11–16
- Komaritsyn A.A.* Principles of Methodology of Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Support for the Navy 1999, №8. P. 7–13
- Krasovsky V.S.* Increasing the Effectiveness of Technical Support for Marine Aids to Navigation 1997, №5. P. 12–16
- Leonova O.O., Shchennikov D.L.* About diploma certification for "Hydro-

graphy" and "Meteorology" profession

- Loset S., Shkhinek K.M., Michalenko E.B., Gudmestad O.T., Strass P., Frederking R., Karna T.* Comparison of Environmental Conditions of Arctic Seas 1997, №4. P. 29–49
- Makoda V.S.* Perspective development of navigation, hydrography and oceanography methods and aids 1996, №2. P. 14–19
- Makoda V.S.* Some aspects of Technical Policy in the Field of Navigation and Oceanography 1997, №5. P. 9–11
- Makoda V.S.* Strategy of Gos.NINGI development and its trends of activities 1996, №3. P. 9–12
- Maleev P.I.* One possible way for marine navigation means creation using the Earth physical fields 1996, №2. P. 31–35
- Neronov N.N.* On the issue of the “brought-in risk” assessment while conducting marine operations 1998, №6. P. 27–32
- Peresyarkin V.I., A.N.Yakovlev.* The Northern Sea Route 1998, №6. P. 7–12
- Smolkov G.I.* Navigation and Space Weather 1998, №6. P. 12–17
- Sorokin A.I.* Standard and Reference Oceanospheres 1999, №8. P. 14–18
- Sydolsky A.S.* Coastal processes and its possible influence upon navigation conditions 1996, №3. P. 13–17
- Vrubel E.* Aviation-Climatic District Division of Central Europe 1997, №5. P. 16–20
- Methods, Accuracy and Efficiency of Navigation. Navigator's Activity**
- Belyaev B.N., Ivanov B.E.* About using Laplace distribution in navigation 1996, №3. P. 43–44
- Belyaev B.N., Sorokin A.I.* About some characteristics of evaluations for ship's positioning root mean square errors 1996, №2. P. 56–58
- Bobkov S.A., Demin S.P.* Planning the Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Support for Towing the Offshore Ice-Resistant Platform 1997, №4. P. 73–78
- Dadashev A.A.* The method of ship relative speed determining on the changeable current when quantity of tacks is decreased 1996, №3. P. 29–35
- Doubinko Yu.S., T.Yu.Doubinko.* *Robust Estimation in the Problems of Navigation Information Processing* 1999, №9. P. 17–27
- Dzyuba V.G., Panov A.G.* Creation, testing and drawing on experience with ECDIS for the Navy 1996, №2. P. 44–45
- Gruzdev N.M.* About using Laplace model errors in navigation 1996, №2. P. 59–65
- Guzevich S.N.* Basic proposal for navigation by the geomagnetic field 1996, №2. P. 37–43
- Ivanov B.E.* Accuracy evaluation for positioning using Laplace distribution 1996, №2. P. 66–72
- Ivanov B.E.* Distribution law of the positioning errors with correlated navigation parameters 1995, №1. P. 17–18
- Ivanov B.E.* Modelling the Laplacean Distribution Errors 1998, №6. P. 38–41
- Ivanov B.E.* Specific Features of Evaluating the Fix Accuracy when

Using the Navigational Range

- Kavraysky A.V.* Connection of datum in marine cartography and navigation 1995, №1. P. 19–23
- Kavraysky A.V.* Evaluation of Formulas Accuracy for Convert the Geodetic Coordinates from One Geodetic System to Another. 1999, №9 P. 27–37
- Kokorin V.I., Protsenko L.M.* One method for distance estimation of unmanned objects positions 1996, №2. P. 52–55
- Kolachinsky S.* Main properties of navigation parameter - distances ratio to two reference points 1995, №1. P. 24–26
- Makoda V.S., Mavrodiev A.M.* New approach to substantiation methodology of navigation- hydrographical support development technical policy 1995, №1. P. 12–17
- Peresyphkin V.I.* IMO Activities Directed at Development of Maintenance Requirements for Systems and Aids to Navigation Providing Maritime Safety 1997, №4. P. 65–69
- Saraisky Yu.N.* ICAO Activities Directed at Standardizing the Air Navigation Accuracy 1997, №4. P. 69–73
- Sazonov A.E., Boukanov I.P.* Integral Estimation of Sea Position Finding Systems Accuracy of Those in Distress at Sea 1997, №5. P. 21–29
- Sorokin A.I.* On the Influence of the Error Distribution Law in Measurement of Oceanographic and Navigation Parameters on the Confidence Probability of Mathematical Expectation Evaluation 1999, №9. P. 43–50
- Sorokin A.I., Ivanov B.E.* On the Mean Square Error of Position Fixing and Terms Denoting It. 1998, №6. P. 33–38
- Tikhonov A.Yu.* Substantiation of navigational data accuracy requirements 1996, №3. P. 35–42
- Tikhonov A.Yu.* Mobile navigational system accuracy evaluation during the time interval 1996, №3. P. 18–28
- Voytsekhovskiy B.A., Trunov V.N.* Analysis of GAGK-1 Directional Gyro and Artificial Horizon Compass under the Conditions of Random Disturbing Effects 1999, №8. P. 28–32
- Yasko S.A., Chupin D.Yu.* Problems and opportunities of navigation positioning in multysatellite communication systems 1996, №2. P. 46–52
- Navigation and Integrated Systems**
- Alekseev S.P., Emelyantsev G.I.* About information support integration of navigation, stabilization and control tasks for marine mobile objects 1996, №2. P. 73–76
- Brodsky P.G., Ledenev N.I., Florova T.N.* About quality evaluation of projected integrated navigation system 1996, №2. P. 91–94
- Emelyantsev G.I., Moiseev E.S., Solntsev A.N.* Methods for calculating of surface vessel integrated navigation systems efficiency 1996, №2. P. 77–83
- Emelyantsev G.I., Moiseev E.S., Solntsev A.N.* Up-to-date requirements and appearance of integrated system for the early XXI century surface warships 1995, №1. P. 35–39
- Kolesnikov V.A., Levit G.A., Mitrofanova O.M., Titlyanov V.A.* About an algorithm of gyrohorizoncompass work with nontraditional construction scheme 1995, №1. P. 40–43

- Krasovsky V.S.* Taking into account the plural faultiness for determination of single repair kit structure for integrated navigation systems 1996, №2. P. 86–90
- Krasovsky V.S., Moklova E.A., Razvozov S.Yu.* Analysis of Diagnostic Support for Present-Day Navigation Equipment 1999, №8. P. 33–37
- Maleev P.I.* Some prospects of effects and phenomena using for navigation and hydrography 1995, №1. P. 27–34
- Nechaev Yu.I.* Research dynamic of windwaves fields with shipboard Intelligence systems helping 1996, №3. P. 45–50
- Reznichenko V.I., Brodsky P.G., Mazin A.L.* On the Integrated Employment of Satellite Navigation Systems and Ship's Self-Contained Navigation Aids Measurements to Obtain the Course Data 1997, №5. P. 34–37
- Reznichenko V.I., Yatsenko S.V., Zuyev V.F.* Algorithm of Vessel's Speed Measurement by Satellite Navigation System Equipment under the Conditions of Ship's Oscillating Motions 1997, №5. P. 30–33
- Vinogradov K.A.* About preliminary evaluation of some echosounders parameters 1996, №2. P. 84–85
- Voytsekhovskiy B.A.* New generation of a marine magnetic induction compass 1995, №1. P. 43–45
- Yemelyantsev G.I., O.N.Anuchin, V.Z.Gusinsky.* Integrated Attitude Control and Navigation Systems for Ships and Seagoing Vessels 1998, №6. P. 42–51
- Zayats L.A., Glukhov Yu.A.* On Further Improvement of Software for Automatic Radar Plotting Facilities 1998, №6. P. 51–56
- Zimin N.S., Li R.V.* PC-Based RasterScan Colour Radar Display "Baltica" for Vessel Traffic Control Systems 1997, №4. P. 79–84
- Satellite and Land-Based Radionavigation Systems**
- Adadurov S.E., Stepanov M.G., Yasko S.A.* About possibilities of navigation users definitions by multisatellite low orbit communication systems 1996, №3. P. 60–67
- Arno G.R., Reznichenko V.I., Bublik S.M., Boldyrev V.S.* Employment of Satellite Navigation Equipment on Ships and Vessels of the Marine 1998, №6. P. 57–59
- Barinov S.P.* Mediated synchronization of satellite-based and land-based radionavigation systems 1995, №1. P. 46–49
- Bazarov Yu.I., Katenin V.A., Tregubov V.S.* Criteria of the availability and integrity for satellite-based and land-based radionavigation systems 1995, №1. P. 52–55
- Bazarov Yu.I., Vorobjev A.C., Pylenkov V.A.* Local systems of middle orbiting satellite system in differential mode 1995, №1. P. 49–51
- Boldyrev V.S., Zakolodyazhny V.P.* *Ways of Satellite Navigation Systems Development* 1999, №8. P. 38–45
- Bublik S.M., Shashkov A.A.* Determining the Ship's Attitude by Means of Medium-Altitude Satellite Radionavigation Systems, using the Data from Self-Contained Equipment 1997, №5. P. 38–42

<i>Burtny S.P.</i> Methodological Features of Estimating the Efficiency of Radionavigation Systems Operation	1999, №8.	P. 46–51
<i>Butenko V. V., Kuropyatnikov A.D.</i> Modelling accuracy problem of radiation pressure on cosmic vehicles hulls in ephemeristical maintenance SCNS GLONASS	1996, №2.	P. 104–107
<i>Golyakov A. D., Romanov V.V.</i> Long terms maintenance method of a space vehicle astronavigation system autonomous functioning	1996, №3.	P. 56–59
<i>Komin V.Ya., Kosulnikov A.R.</i> The a priori estimation of complex radionavigation systems availability	1996, №2.	P. 108–114
<i>Loboyko B.I.</i> Forming of a group pulsar time scale for radionavigation systems	1995, №1.	P. 60–62
<i>Loboyko B.I., Nikitin O.V.</i> Prediction of Ionospheric Corrections in Satellite Radionavigation Systems	1997, №5.	P. 43–47
<i>Loboyko B.I., Bublik S.M.</i> Errors of Transionospheric Range and Speed Measurements in Satellite Radio Navigation Systems	1998, №6.	P. 59–64
<i>Makoda V.S., Bazarov Yu.I.</i> International Standards for Marine User Receiver Equipment of Global Navigation Satellite System (GLONASS)	1996, №3.	P. 51–56
<i>Reznichenko V.I.</i> About NSS indicator receiver using for vessel velocity determining	1996, №3.	P. 67–68
<i>Reznichenko V.I., Shashkov A.A.</i> Phase method of Satellite Navigation System's signals	1996, №2.	P. 115–119
<i>Yasko S.A.</i> Adaptive Algorithms of Navigational Positioning of Users of Low-orbit Multi-Satellite Network Systems	1999, №8.	P. 52–61
<i>Zaytsev A.V., Reznichenko V.I.</i> Features of satellite navigation equipment functioning at marine object	1995, №1.	P. 56–60
<i>Zurabov Yu.G., Mishchenko I.N.</i> Marine Fleet requirements to radionavigation support	1996, №2.	P. 95–104
Means and Methods of Hydrography, Marine Cartography and Geophysics		
<i>Artamonov L.V., Petrova I.M.</i> To possibilities of airelectromagnetic methods in hydrographic problems solving	1997, №5.	P. 65–69
<i>Ashik I.M.</i> Numerical Calculations and Forecasts of the Level Oscillations, Currents and Ice Drift on the Shelf of the Western Arctic Seas	1997, №4.	P. 85–94
<i>Avdonyushkin V.A., Lakunin A.A.</i> Evaluation of Bottom Relief Surveying Quality by Swath Sounding Systems	1997, №4.	P. 116–120
<i>Babkin V.I., Bidenko S.I., Fomin V.M.</i> New Atlas of the World Ocean	1997, №5.	P. 48–50
<i>Bakhmutsky V.Q.</i> Multibeam sounder taring	1996, №3.	P. 93–99
<i>Bakhmutsky V.G.</i> Monitoring the Registration Plenitude of Depths in the Automated Bottom Relief Survey	1997, №5.	P. 50–53
<i>Barinov S.P., Panov A.G.</i> Navigation Hydrographic Support Tasks for Offshore Ice-Resistant Platform Installation in the Area of Priraziomnoye Oil Field	1997, №4.	P. 113–116
<i>Chirkov O.A.</i> Bathymetric data using for marine gravity meter dynamic error decrease	1995, №1.	P. 75–77

-
- Dolotov S.A. , Kaevitser V.I. , Smolyaninov I.V.* The precision of arrival echosignal angle measurement in interferometric sidescan sonar 1996, №3. P. 100–103
- Firsov Yu.G.* The method for calibration of multibeam echosounder on flat sea floor 1996, №3. P. 87–93
- Galoshin A.I., A.A.Gustov.* Methods and Experience of Testing the Multibeam Echo Sounder at Sea Test Range with Flat Bottom 1999, №9. P. 55–60
- Gidasov D.D., Sheremet V.I., Maleyev P.I.* Magnetic Fields Topography of Magnetic Reference Marks Having Different Shapes and Length 1997, №5. P. 53–58
- Gorshkov V.N., Lapin Yu.V., Glazko V.V.* Navigation danger inspection by small ROV “Fordewind” 1995, №1. P. 86–88
- Ivanov B.E.* *On the Model of Sea Depth Measurement Error* 1999, №8. P. 62–67
- Kondurin V.D., Yushkov Yu.V.* Aerospace photographs using for location prognostication of the submarine banks on coastal shelf area 1996, №3. P. 69–71
- Kougija V.A.* Calculation of Distances to Hydroacoustic Beacons under the Conditions of Vertical and Horizontal Aqueous Medium Inhomogeneity 1997, №5. P. 59–64
- Krasnov V.N.* Underwater permeable vehicle type SMP-07 1996, №2. P. 129–132
- Kulagina T.M.* Determination of period geomagnetic field variations on observation tack 1995, №1. P. 83–86
- Kushnir V.M.* Instrumental and methodical provision of near-bottom boundary layer parameters measurements 1996, №2. P. 123–128
- Kuzmin Yu.I., Kriukov I.V., Dorot I.L.* Office Processing of Data Obtained by Multibeam Echosounders Used in Hydrographic Surveys 1999, №8. P. 67–72
- Ivanov B.E.* On discrete of gravimeter measurements in the ocean 1996, №3. P. 107–111
- Maleev P.I., B.M.Smirnov, I.S.Khasiev.* Fixing the Position of Movable Object by Magnetic Reference Mark 1998, №6. P. 75–80
- Maleyev P.I., B.M.Smirnov.* New Methods of Determining the Magnetic Induction Vector Components of the Earth’s Magnetic Field from Ferromagnetic Object 1999, №8. P. 82–86
- Mastryukov S.I.* Computation Model of Currents in the White Sea 1997, №4. P. 94–99
- Naumov A.P., Maleyev P.I.* Electromagnetic Signals of Seismic Sources as Natural Course Markers 1999, №8. P. 79–82
- Oparin A.B., Panov V.N.* Augmentation of Capabilities of the Marine Hydrographic Surface Soil Profiler for Soil Types Identification 1999, №9. P. 65–70
- Reshetnyak S.V., Tezikov A.P.* Estimation of probability dangerous depth lapse depending on survey discretization 1995, №1. P. 78–82
- Rybakin V.N.* Sea bottom structure investigations using electromagnetic methods for navigation and harbour construction safety 1996, №3. P. 104–106
- Simineev A.A., Vlasova L.D.* Using of analitic phototriangulation for analytical nets points determination 1995, №1. P. 67–71

Summary contents of publications 1995–1999

<i>Smirnov V.G., Devyatayev O.S., Bushuev A.V.</i> Satellite Monitoring of the Ice Cover in the Region of the Piraziomnoye Oil Field	1997, №4.	P. 100–107
<i>Sokolov V.V., Barkhatov G.M.</i> To question on computation of overlap on navigation-hydrographic support of minecountermeasure actions	1995, №1.	P. 72–74
<i>Sorokin A.I.</i> Evaluation of Hydrographic Information Loss in the Process of its Regularization	1998, №6.	P. 81–83
<i>Sorokin A.I.</i> About determinating the areas on Mercator charts	1996, №2.	P. 133–135
<i>Sorokin A.I.</i> Arbitrary form area determination in cartesian coordinate system of Mercator projection on the chart and PC display	1996, №3.	P. 83–86
<i>Svechnikov A.I.</i> Generalized Model of Bottom Soil Used When Solving the Hydrographic Problems	1998, №6.	P. 65–68
<i>Svechnikov A.I.</i> Ground characteristics determination by echosound signals	1995, №1.	P. 63–67
<i>Veselov O.A., Zotov A.A., Korzhov Yu.A.</i> Perspectives of icebreaking equipment and technologies development for winter navigation providing in freezing waters	1996, №3.	P. 79–83
<i>Zavgorodny V.N.</i> Robust Stability and Dynamic Quality Analysis Method of Stabilizing the Orientation and Trajectory of Underwater Vehicles	1999, №9.	P. 61–65
<i>Zavgorodny V.N.</i> On the Increase of Accuracy and Effectiveness of Bottom Relief Survey by Means of Towed Underwater Vehicle	1999, №8.	P. 72–79
<i>Zoubchenko E.S.</i> Calculation of Harmonic Tidal Constants	1997, №5.	P. 70–78
<i>Zoubchenko E.S.</i> <i>Fixing the Position of Soundings in Aircraft Laser Bottom Relief Survey</i>	1999, №9.	P. 51–55
<i>Zoubchenko E.S., Abramov A.M.</i> On the Advanced Requirements to Bottom Relief Survey by Hydroacoustic Means	1998, №6.	P. 69–75
<i>Zoubchenko E.S., Luckunin A.A.</i> The increase of bottom/slope inventory accuracy by widebeam echosounder sounding	1996, №3.	P. 72–79
<i>Zoubchenko E.S., Kondyurin V.D.</i> Maximum Depths Determined from Aerial and Space Photographs Using Photometric Technique	1997, №4.	P. 107–112
<i>Zoubchenko E.S.</i> The use of satellite data about geoid heights for estimation of submarine relief	1996, №2.	P. 120–123
<i>Hydrometeorological Support of Marine and Air Navigation</i>		
<i>Belyaev B.N., Sheiko B.N.</i> Improvement of Hydrometeorological Support for the Navy as the Main Direction of Fleet Power Economy	1999, №8.	P. 87–92
<i>Bobkov S.A.</i> Composition and Structure of the Means Used to Transfer the Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Data to the Administration of the Pirazlomnoye Oil Field	1997, №4.	P. 121–125
<i>Boukhanovsky A.V., Zakharchenko E.N., Ivanov N.E., Klevantsov Yu.P., Rozhkov V.A.</i> Probability Analysis and Modelling of the Vertically Nonhomogeneous Oceanologic Field	1999, №9.	P. 86–103
<i>Boukhanovsky A.V., Ivanov N.E., Rozhkov V.A.</i> <i>Probabilistic Models and Extrema of the Yearly Rhythm System of Hydrometeorological Processes</i>	1999, №9.	P. 71–86

<i>Brovin A.I., Mironov E.U.</i> The Concept for Ice Cover Monitoring in the Region of the Prirazlomnoye Oil Field	1997, №4.	P. 140–143
<i>Dmitriev V.G.</i> Forming principles for prognostic data base in automated forecasted centre	1996, №2.	P. 141–145
<i>Dmitriev V.G.</i> One feature of optimal and other type linear interpolation of hydrometeorological processes and fields	1995, №1.	P. 93–95
<i>Dmitriev V.G.</i> Probability estimate of arising critical hydrometeorological condition in interval estimation	1995, №1.	P. 98–100
<i>Gaidadym A.V.</i> Re-establishment of the Air Near-Ground Temperature Field for the Arctic Ocean Region under the Conditions of Limited Supply of Hydrometeorological Information	1998, №6.	P. 94–100
<i>Galakhov V.L., Dmitriev V.G.</i> About the distribution law hydrometeorological forecasts	1996, №2.	P. 136–141
<i>Kozyr I.V.</i> Logical-linguistic models using for substantiation of ship-board hydrometeorological support complexes devices	1995, №1.	P. 96–98
<i>Kozyr I.V.</i> US State Management experience in the field of civilian and military meteorological service activity	1996, №3.	P. 116–121
<i>Kushnir V.M., Morozov A.N.</i> The Employment of Bottom Doppler Sonars to Monitor the Sea Environment Dynamics	1997, №5.	P. 94–101
<i>Lavrenov I.V., Davidan I.N., Bokov V.N., Dymov V.I., Pasechnik T.A., Yakovleva N.P.</i> Estimation of Extreme Heights of Wind Waves in the Pechora sea	1997, №4.	P. 144–152
<i>Lavrenov I.V., Davidan I.N., Bokov V.N., Dymov V.I., Pasechnik T.A., Yakovleva N.P.</i> Estimation of Extreme Heights of Wind Waves in the Pechora Sea	1997, №5.	P. 85–93
<i>Lupyan E.A., Veselov V.M., Zakharov M.Yu., Mazurov A.A., Flitman E.V.</i> On-Line Employment of Satellite Data for Hydrometeorological Support of the Prirazlomnoye Oil Field Exploitation	1997, №4.	P. 126–135
<i>Mastryukov S.I.</i> Simulation Modelling the Statistical Characteristics of Weather Windows for Planning Sea Operations	1998, №6.	P. 84–90
<i>Mastryukov S.I., Shumakher D.A., Kildyushevsky Yu.I.</i> Electronic Atlas Layout of the Barents Sea Hydrometeorological Regime	1997, №5.	P. 79–84
<i>Mavrodiev A.M., Olesov B.V.</i> Hydrometeorology and synergetic	1995, №1.	P. 89–93
<i>Mironov E.U., Brovin A.I.</i> Specialized Ice Forecasts and Organization of Hydrometeorological Support of Marine Operations in the Region of the Prirazlomnoye Oil Field in the Pechora Sea	1997, №4.	P. 135–139
<i>Polozov V.V.</i> Nontraditional Method of Superlong-Term Forecast of Air Temperature, Precipitation and Other Geophysical Elements	1998, №6.	P. 100–104
<i>Reginsky V.D., Latyshev M.A., Kutuzov V.M., Bezuglov A.V.</i> Employment of Short-Wave Radars in the Interests of Hydrometeorological Support of the Barents Sea Shelf Oil Production	1997, №4.	P. 152–156
<i>Stepanov S.A.</i> Diagnosis of Storm Conditions with Limited Hydrometeorological Information	1998, №6.	P. 90–93
<i>Volfson L.M.</i> Automatization of means to light up meteorological situation for ecological monitoring	1996, №3.	P. 112–115

Marine Ecology

- Alekseev S.P., Shevtsov A.T.* Direction of Russian Navy ecological research 1995, №1. P. 101–104
- Blinov I.A.* Hydrography and ecology 1996, №2. P. 146–149
- Grebinsky A. S., Osadchy V.Yu.* Consideration of the sea surface roughness for remote sensing of oil films on the sea surface 1996, №2. P. 149–152
- Kondyurin V.D., Myatelkov V.O., Yushkov Yu.V.* Relationship between the Relative Transparency and Index of Vertical Light Attenuation in the Water 1997, №5. P. 105–107
- Koulikov B.V., Kalashnikov E.V.* Problems of environment pollution levels by Navy's ships and coastal objects 1995, №1. P. 105–108
- Kuksenkov V.I., Kovalevsky A.V., Kcharchenko V.G.* Some questions about marine environment pollution by radioactive materials and oil-products in the Navy daily activities 1995, №1. P. 109–111
- Levin I.M., Osadchy V.Yu.* Water Optical Characteristics in the South Part of the Baltic Sea. 1997, №5. 102–105
- Mastryukov S.I.* Modelling circulation of water and admixture caning in shallow water basins 1996, №2. P. 152–159
- Stavrov K.G.* Principles of hydrography and geophysics aids and means complex using for sea medium ecological control and pollution prevention 1996, №3. P. 122–126
- Sudolsky A.S.* Dynamic and Regime Characteristics of a Large Bay 1999, №8. P. 93–100

Conferences, Symposia, Seminars

- Seminar: "Using of phase measuring in SNS GLONASS users navigation equipment. Land-based RNS synchronization":* 1995, №1. P. 112–115
- Barinov S.P.* Selection of efficiency criterion for land-based radionavigation systems synchronization methods 1995, №1. P. 112–114
- Khodakovsky V.A.* One method of time standard scale synchronization 1995, №1. P. 116
- Khodakovsky V.A.* Principles and possibilities of phase measurements in satellite navigation systems NAVSTAR type 1995, №1. P. 115–116
- Krupen V.A.* Accuracy of position determination improvement using middle orbiting satellite navigation system 1995, №1. P. 114–115
- "Navigation technics for the Third thousand" – 52-th annual conference of US Institute of Navigation 1996, №2. P. 165–166
- "Russian Geographic Society and the Fleet" – the Sixth conference on geography and ocean cartography of the Russian Geographic Society, devoted to the 300-th anniversary of the Russian Fleet 1996, №2. P. 164
- "Russian Geographic Society and the Fleet" – the Sixth conference on geography and ocean cartography of the Russian Geographic Society, devoted to the Russian Fleet 300-th anniversary 1996, №3. P. 127
- "The Cossacks Marine History" – scientific conference, devoted to the Russian Fleet 300-th anniversary 1996, №3. P. 127
- 1998 – International Year of the Ocean 1998, №6. P. 108–109

New section of Shipbuilders Scientific Society	1996, №2.	P. 166
Scientific school "Astronavigation-97"	1996, №3.	P. 130–131
Scientific-practical conference "Standartization, Metrology and the Fleet", devoted to the 300-th anniversary of the Russian Fleet	1996, №2.	P. 163–164
Scientific-practical conference: "170 years of the Russian hydrography. The road has gone and perspectives of development"	1997, №5.	P. 108
Scientific-technical seminar "Navigation-hydrographic and hydrometeorological support of oil/gas fields development work in Arctic"	1996, №3.	P. 128–129
The exhibition "300 years of the Russian Fleet: traditions, contemporaneity, perspectives"	1996, №2.	P. 160
The Fifth International conference and exhibition "GPS navigation systems"	1996, №2.	P. 163
The next Russian public institute of navigation conference	1996, №3.	P. 129–130
The Second Russian scientific conference "Contemporary state, problems of navigation and oceanography" (NO-95)	1996, №2.	P. 160–163
The Third International conference on integrated navigation systems	1996, №2.	P. 163
The Third Russian scientific conference "Contemporary state, problems of navigation and oceanography" (NO-98)	1998, №6.	P. 105–107
The XX -th jubilee conference, devoted to N.N.Ostryakov's memory	1996, №2.	P. 165
The XXI-th jubilee conference, devoted to N.N.Ostryakov's memory	1998, №6.	P. 108
History Pages		
<i>Alekseev S.P. Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Support for Production and Transport of Sea Hydrocarbons</i>	1998, №7.	P. 29–35
<i>Anokhin V.N. Development and Implementation of New Information Technology to Control the Natural Resources and Environment State of the RF Subject</i>	1998, №7.	P. 37–41
<i>Arno G.R. Experience of Using the Program Planning in the History of Technical Aids to Navigation Development</i>	1998, №7.	P. 21–25
<i>Avdonyushkin V.A., Lakounin A.A., Vouchko R.A., Foursa A.I. Development of Topographic Science in the Russian State – from the "Big Drawing" to Geoinformation System</i>	1999, №9.	P. 104–110
<i>Avdonyushkin V.A., Lakounin A.A. Advanced Facilities and Equipment of Hydrography</i>	1998, №7.	P. 99–102
<i>Avdonyushkin V.A., Gorshkov V.N..Development of Facilities and Methods of Naval Hydrography</i>	1998, №7.	P. 96–99
<i>Balyasnikov S.B. Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Support for Underwater-Technical Work in the Zone around the Sunken SSN "Komsomolets</i>	1998, №7.	P. 47–52
<i>Balyasnikov S.B., Mastryukov S.I. Status and Development Problems of the RF MoD Oceanographic Data Base</i>	1998, №7.	P. 121–126
<i>Bezobrazov A.I. From the History of Phase Radionavigation Systems Development</i>	1998, №7.	P. 60–64
<i>Black sea fleet in M.P.Lazarev's period (fragments from admiral</i>	1995, №1.	P. 122–125

Summary contents of publications 1995–1999

N.A.Shestakov's memoirs "Half century ordinary life")		
Black Sea Fleet in M.P. Lazarev's period (fragments from admiral N.A.Shestakov's memoirs "Half century of ordinary life")	1996, №2.	P. 167–174
Congratulations and Greetings to the Institute	1998, №7.	P. 9–13
Dzyuba V.G., Panov A.G., Glukhov Yu.A. <i>Development of Navigation Information Systems with ENC Display</i>	1998, №7.	P. 84–88
Fedotov A.V. From history of the Russian DOD's State Research Navigation-Hydrography Institute	1995, №1.	P. 117–121
Fedotov A.V. Scientific Results of Navigation Support for the Cruise of the Submarine "Leninsky Komsomol" to the North Pole in 1962	1997, №5.	P. 116–119
Fedotov A.V. The development of marine navigation in the XX-th century	1996, №3.	P. 132–137
Fedotov A.V. <i>The First Russian Satellite Radionavigation System</i>	1998, №7.	P. 52–57
Fedotov A.V., Dovedov E.S. <i>Brief History of Creating the GLONASS Satellite Radionavigation System</i>	1998, №7.	P. 57–60
Fradkin V.N. <i>Investigations in the Field of Integrated Processing Methods of Navigational Information</i>	1998, №7.	P. 71–74
Galakhov V.L., Dmitriyev V.G. <i>Methodological Aspects of Research in the Field of Hydrometeorological Support for the Navy</i>	1998, №7.	P. 109–116
Ivanov B.E., Merkushev N.S., Koryakin V.I. On the History of the College of Naval Hydrographers	1997, №5.	P. 112–116
Ivanov B.E., Myatelkov V.O. <i>Marine Geophysics – New Direction of Research</i>	1998, №7.	P. 102–108
Krasovsky V.S. "The Perfect Rulers of Navigation" (to "The Navigator Day")	1996, №3.	P. 138–140
Lavrentyev A.V., Maigov A.V., Titlyanov V.A., Yatsenko S.V. <i>Development of the Ship's Integrated Navigation Systems for the Navy</i>	1998, №7.	P. 75–78
Makoda V.S., A.V.Fedotov. LX Anniversary of RF MoD the State Research Navigation-Hydrographic Institute	1998, №7.	P. 14–21
Maleyev P.I. Scientific Contacts of the Institute with Academy of Sciences Organizations and Higher Educational Institutions	1998, №7.	P. 25–29
Neronov N.N. <i>Some Aspects of Solving the Problem of Navigation-Hydrographic Support the Navy's Exit to the World Ocean in 1954–1964</i>	1998, №7.	P. 92–95
Neronov N.N. The Hydrographic Department is 170 Years Old	1997, №5.	P. 109–111
Neronov N.N., Avdonyushkin V.A. <i>Navigation-Hydrographic Support (NHS) for Construction of Sea Ports</i>	1998, №7.	P. 35–37
Rumyantsev Yu.V. <i>Development of Methods and Directions for Navigation Support</i>	1998, №7.	P. 88–92
Shevtsov A.T. <i>Some Results of the Institute's Oceanographic Investigations in the Interests of the Navy</i>	1998, №7.	P. 117–120
Strelbitsky K.B. Participation of the Baltic Fleet Hydrographers in the Defence of the Moonsund Island in September-October 1941	1999, №9.	P. 111–114

Tkhorzhevskaya N.O., Osyukhin B.A. <i>About conversation in the field of navigation equipment</i>	1998, №7.	P. 42–46
Vinogradov K.A., Novikov I.A. <i>Hydroacoustic Navigation Systems and Equipment</i>	1998, №7.	P. 64–70
Yakovlev A.N. <i>In Ocean Cruise</i>	1996, №3.	P. 141–143
Yemelyantsev G.I., Levit G.A. <i>Creation and Further Development of National Ship's Inertial Navigation Systems</i>	1998, №7.	P. 79–83
Zotov A.A. <i>Ecological Environment Monitoring in the Naval Bases Areas</i>	1998, №7.	P. 127–131
Abroad		
Boldyrev V.S., Zakolodyazhny V.P. <i>Dynamics of Users Navigation Equipment Development for Satellite Navigation Systems</i>	1998, №6.	P. 110–114
Makoda V.S. <i>Growth trend of satellite navigation systems in USA</i>	1995, №1.	P. 126–128
Makoda V.S., Tregubov V.S., Zakharov Yu.I. <i>State and growth trend of land-based radionavigation systems abroad</i>	1996, №2.	P. 175–180
Maigov A.V. <i>Automated mine countermeasure systems and navigation aids for mine warfare ships of foreign states</i>	1996, №3.	P. 144–149
Vinogradov K.A. <i>RD Instruments's Doppler velocity measurers</i>	1996, №3.	P. 150–153
Volosov P.S. <i>Development of marine "black cases" abroad</i>	1995, №1.	P. 128–130
Volosov P.S., Rudas S.A. <i>Organization and means for navigation-hydrographical support in Japan</i>	1996, №2.	P. 180–190
Jubilee Data		
Antoshkevich A.V. <i>The 275-th Anniversary Navy's Central Map Reproduction Plant</i>	1995, №1.	P. 131–132
Blinov I.A. <i>120 years of adm.S.O.Makarov's State Marine Academy</i>	1996, №2.	P. 193–195
Bulavchik V.G. <i>295 years of M. V. Frunze's Navy High School</i>	1996, №2.	P. 191–193



**ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ,
НАПРАВЛЯЕМЫХ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ
«НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ»**

1. Объем статьи не должен превышать 8 с., для статьи обзорно-аналитического характера – до 15 с. Количество рисунков и таблиц – не более 5 (по каждой позиции).

2. Статья должна иметь индекс ГРНТИ, сопровождаться аннотацией (помещается после названия), рефератом, списком использованной литературы и актом экспертизы.

3. К статье следует приложить название статьи, аннотацию и реферат на английском языке, а также основные сведения об авторе(ах) на русском и английском языках.

4. Все рисунки или фотографии должны иметь порядковые номера и подрисуночные подписи, размер не более формата **A4 (297x210 мм)** и черно-белое исполнение. Не рекомендуется использование мелких штриховок и заливок (не читаемых сканером с разрешением 300 точек на дюйм).

5. Все числовые значения в тексте, на рисунках и в таблицах должны соответствовать единицам, принятым в системе СИ.

6. Список использованной литературы должен быть составлен на языке оригинала (исключение – языки с иероглифическим написанием слов, например, японский) в порядке ссылок на источники по тексту.

7. Материалы должны быть подготовлены в формате текстового редактора **MS Word for Windows**, а также других систем, для которых имеются стандартные конвертеры Word. При оформлении использовать только стандартные шрифты, поставляемые с системой Windows.

8. Для диаграмм и графиков предпочтительно использование **векторных форматов**, импортируемых в MS Word for Windows и одновременное представление оригинал-макета. Растровая графика (только черно-белая) может быть представлена в формате **TIFF** или **PCX** с разрешением **300 DPI**.

9. В редакцию представляются дискета 3,5" с текстом статьи, аннотации и рефератом и их распечатки через 2 интервала в 1 экз. (дискета возвращается автору).

10. К статье прилагается акт экспертизы.

11. Материалы, отправляемые посредством электронной почты, направлять на адрес **E-mail: editor@navy.ru** в виде предварительно компримированных архиваторами **ARJ** или **PKZIP**, присоединенных к письму файлов, закодированных **UUENCODE**.

Адрес редакции: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.
Телефон: (812) 323-97-60, Факс: (812) 322-33-19 (в рабочее время).
E-mail: editor@navy.ru

ПОДПИСКА

Уважаемые читатели!

Продолжается подписка на журнал "Навигация и гидрография".

Юридические и физические лица могут приобрести издаваемый журнал, оформив подписку либо заказ на конкретный номер журнала, а также за наличный расчет. Время оформления подписки не ограничено.

В стоимость подписки входит оплата 2-х номеров журнала.

Цена одного номера – 100 руб. + 20% НДС. Для юридических и физических лиц стоимость подписки с учетом почтовых расходов – 280 руб.

Заполните приложенный в конце журнала бланк-заказ на оформление подписки и один его экземпляр вместе с копией исполненного платежного поручения перешлите в редакцию по адресу:

**Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия 41,
Гос.НИНГИ.**

Телефон: (812) 323–97–60

Факс: (812) 322–33–19 (в рабочее время).

Главному редактору
журнала "Навигация и гидрография"

Алексееву С.П.
199106, Санкт-Петербург,
Кожевенная линия, 41

Бланк-заказ

Просим оформить подписку на _____ экз. журнала "Навигация и гидрография"

Стоимость подписки в сумме _____
перечислена на расчетный счет ИНН 7801020940 – в/ч62728 Р/сч
40502810100000000107 БИК 044081002 ПУ ЦБ РФ Флагманское г. С.-
Петербург.

Платежное поручение № _____ от " _____ " _____ 2000 г.

(Следует приложить к заказу копию платежного поручения).

Заказ направить по адресу:

индекс п/о _____, область (край, респ.) _____

город, улица, дом _____

Кому _____

(полное название организации или ФИО заказчика)

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 1999, №9

Редакторы: А.И.Баранов, С.А.Рудас

Компьютерное оформление: В.И.Скалон

Подписано в печать 28.12.99

Заказ № 269

Рег. №013267 от 26.01.95

Комитет РФ по печати

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