

ISSN 2220-0983

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

№ 4 (73)
Декабрь 2023

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ



Санкт-Петербург

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

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

№ 4 (73)

Декабрь 2023

Издается с 1995 года

Санкт-Петербург

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

Редакционная коллегия:

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

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

Электронная версия журнала размещена на сайте www.gningi.ru

© Акционерное общество
«Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт»
2023

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC
INSTITUTE**

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

No 4 (73) December 2023

Published since 1995

Saint-Petersburg

Editor-in-chief
V. Smolin, CandSc

Editorial board

A. Yakushev, CandSc (deputy editor-in-chief); P. Maleyev, DSc (science editor);
I. Bugrova (editor), CandSc; V. Bakhmutov (the issue manager), CandSc;
E. Zubchenko, DSc, professor; A. Ismailov, DSc, professor;
V. Katenin, DSc, professor; S. Mastryukov, DSc;
V. Peshekhonov, DSc, Acad. RAS; K. Stavrov, DSc, professor;
A. Sharkov, DSc; G. Shchukin, DSc, professor

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

2023

СОДЕРЖАНИЕ

НАВИГАЦИЯ

Проблемы высокоточного координирования гидрографических и других морских работ в акватории Северного морского пути в условиях санкционных ограничений и пути их решения. Часть II. Российский инновационный сервис высокоточного определения координат от компании АО ГЛОНАСС. В. М. Смолин, С. В. Решетняк, Д. Ф. Миляков, О. Л. Онищенко.....	7
---	---

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

Роль гидрографической службы Военно-Морского Флота в обосновании расширенного континентального шельфа Российской Федерации в Тихом и Северном Ледовитом океанах. Г. Н. Непомилуев, С. С. Старотиторов, В. Б. Глебов, А. М. Шарков	34
Правовое описание ситуации передачи отчетных материалов морских исследований иностранным компаниям. Н. С. Соколов.....	46
Годограф и измерение горизонтальных компонент геомагнитного поля на ферромагнитном судне. С. А. Иванов, С. А. Меркурьев, И. М. Демина.....	52
Распространение государственных морских электронных навигационных карт в России и за рубежом. О. Д. Осипов, С. В. Травин.....	66

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Развитие автономной системы оперативных морских прогнозов Баренцева моря на основе отечественных океанологических наблюдений. Г. К. Коротаев, А. И. Мизюк, А. Л. Холод, А. Г. Зацепин, А. Г. Островский, Е. Г. Лунев.....	75
Измерение параметров ледяного покрова с помощью подводного гидролокатора «Трезубец» в арктических условиях: первые результаты. Ю. А. Титченко, В. Ю. Караев, Е. М. Мешков, С. М. Ковалев, И. А. Кушеверский, С. В. Хотченков.....	82
Синоптические условия образования туманов в Баренцевом море. И. В. Лаврова, Е. В. Малькова	92
К вопросу использования технологий искусственного интеллекта в развитии системы оперативной океанологии. Н. Н. Жильцов, А. В. Ерышев	101
Климатическое районирование Арктики по температуре воздуха методом кластерного анализа. И. В. Лаврова.....	110
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	118
РЕФЕРАТЫ	122

CONTENTS

NAVIGATION

- The Problems of High-Precision Positioning of Hydrographic and Other Marine Works in the NSR Waters Under Sanctions Restrictions and Ways to Solve Them. Part II. Russian Innovative Precise Point Positioning Service from GLONASS JSC.** V. M. Smolin, S. V. Reshetnyak, D. F. Milyakov, O. L. Onishchenko..... 7

HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY

- The Role of the Hydrographic Service of the Russian Navy in Substantiating the Extended Continental Shelf of the Russian Federation in the Pacific and Arctic Oceans.** G. N. Nepomiluev, S. S. Starotitov, V. B. Glebov, A. M. Sharkov..... 34
- Legal Description of the Situation of Transfer of Marine Research Reports to Foreign Companies.** N. S. Sokolov..... 46
- Hodograph and Measurement of Horizontal Components of the Geomagnetic Field on a Ferromagnetic Vessel.** S. A. Ivanov, S. A. Merkuriev, I. M. Demina 52
- Distribution of State Marine Electronic Navigation Charts in Russia and Abroad.** O. D. Osipov, S. V. Travin..... 66

HYDROMETEOROLOGY

- Development of an Autonomous System of Operational Marine Forecasts of the Barents Sea Based on National Oceanological Observations.** G. K. Korotaev, A. I. Mizyuk, A. L. Kholod, A. G. Zatsepin, A. G. Ostrovskiy, E. G. Lunev 75
- Measurement of Ice Cover Parameters Using the Underwater Sonar "Trezubets" in Arctic Conditions: First Results.** Yu. A. Titchenko, V. Yu. Karaev, E. M. Meshkov, S. M. Kovalev, I. A. Kusheverskiy, S. V. Khotchenkov 82
- Synoptic Conditions of Fog Formation in the Barents Sea.** I. V. Lavrova, E. V. Malkova 92
- On the Use of Artificial Intelligence Technologies in the Development of Operational Oceanology System.** N. N. Zhiltsov, A. V. Eryshev 101
- Climatic Zoning of the Arctic by Air Temperature Using the Cluster Analysis Method.** I. V. Lavrova 110

INFORMATION ABOUT AUTHORS..... 118

ABSTRACTS 122

НАВИГАЦИЯ

УДК 629.056.8+528.47

ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОТОЧНОГО КООРДИНИРОВАНИЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ И ДРУГИХ МОРСКИХ РАБОТ В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ В УСЛОВИЯХ САНКЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

ЧАСТЬ II. РОССИЙСКИЙ ИННОВАЦИОННЫЙ СЕРВИС ВЫСОКОТОЧНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОТ КОМПАНИИ АО ГЛОНАСС

В. М. СМОЛИН, С. В. РЕШЕТНЯК (АО «ГНИНГИ»)

Д. Ф. МИЛЯКОВ (АО «КБ НАВИС»)

О. Л. ОНИЩЕНКО (ООО «Навгеоком ДифСервис Групп»)

В ранее опубликованной первой части статьи были рассмотрены возможности различных глобальных и региональных спутниковых систем для передачи дифференциальных корректирующих поправок и текущие проблемы высокоточного координирования гидрографических и других видов морских работ в акватории Северного морского пути в условиях санкционных ограничений. Во второй части статьи рассматриваются особенности основных вариантов метода высокоточного определения координат точки / Precise Point Positioning (PPP) и отечественная технология высокоточного определения координат, разработанная российской компанией АО «ГЛОНАСС», испытанная в акватории Северного морского пути. Приводятся результаты предварительного тестирования PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС», позволяющего решить проблему ухода с российского рынка иностранных провайдеров аналогичных услуг.

Введение

Значительный объём гидрографических и геодезических работ, который необходимо выполнить в акватории Северного морского пути (СМП), особенно в высокоширотных районах арктических морей России – Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, а также перспективы внедрения беспилотных технологий гидрографии с использованием малых безэкипажных плавсредств, задачи геодезии, геодинамики, геомониторинга, кадастра, землеустройство, маркшейдерия, инженерные изыскания и пр. требуют координировать объекты с повышенной и даже прецизионной точностью и высокой достоверностью, которые не могут быть полностью обеспечены стандартными сервисами береговых контрольно-корректирующих станций Глобальных навигационных спутниковых систем «ГЛОНАСС/GPS» (ККС ГНСС), развёрнутых в акватории СМП, и российского функционального дополнения ГНСС – Системы дифференциальной коррекции и

мониторинга (СДКМ). Более того, как было отмечено в первой части статьи [1], сплошного поля дифференциальных поправок в акватории СМП создано не было, и значительная часть традиционных морских трасс и прибрежных районов остались вне зоны действия береговых ККС ГНСС, а также находятся за пределами зоны покрытия СДКМ [1, с. 11; 2]. Следует также отметить, что даже субметровые точности являются недостаточными для решения ряда специальных задач, например, обеспечения работы систем Динамического позиционирования (ДП). Для подобного рода целей требуются точности позиционирования порядка 10-ти см СКО / RMS (*Root Mean Square*).

Такие точности в акватории СМП до недавнего времени достигались за счёт подписки на услуги иностранных коммерческих сервисов, реализованных на основе метода высокоточного координирования или, в дословном переводе с английского, высокоточного определения координат точки – PPP / *Precise Point Positioning*, который в российской специальной литературе также называют методом высокоточного позиционирования (далее – PPP), разработку и активное внедрение которого можно назвать одной из наиболее значимых инноваций в области развития и применения технологий ГНСС в последние десятилетия. Помимо большого количества созданных в мире коммерческих и бесплатных научных сервисов на основе метода PPP, многие из которых до введения санкционных ограничений оказывали платные услуги на акваториях российских морей, включая СМП [1, с. 19–22], в последние годы также наблюдается тенденция к обеспечению более высокой точности и у собственно операторов систем ГНСС. Так, Японская квазизенитная спутниковая система QZSS/*Quasi Zenith Satellite System* предоставляет бесплатные высокоточные услуги PPP сантиметрового уровня точности CLAS / *Centimeter Level Augmentation Service* с 2018 г. [3, 4]. В мае 2019 г. был запущен китайский сервис высокоточного позиционирования PPP для ГНСС БэйДоу / *BeiDou* с заявленным уровнем обеспечения десятисантиметровой точности в плане (горизонтальной плоскости) не только в Азиатско-Тихоокеанском регионе, но и за его пределами [5]. А в январе 2023 г. европейская ГНСС Галилео / *Galileo* стала первой глобальной навигационной спутниковой системой, обеспечившей предоставление бесплатного глобального сервиса высокоточного позиционирования HAS / *High Accuracy Service* с передачей корректирующей информации как через спутниковый сигнал Galileo E6-B, так и через Интернет [6].

В настоящее время PPP зарекомендовал себя как эффективный метод определения местоположения с использованием сигналов ГНСС, который использует кодовые и фазовые наблюдения на нескольких частотах, обеспечивает высокоточное позиционирование для приемника сигналов ГНСС и прошивка которого поддерживает алгоритм PPP. PPP метод характеризуется использованием данных, обеспечивающих высокоточную эфемеридно-временную информацию, предоставляемых, например, Международной службой ГНСС / *International GNSS Service*, применением точных моделей наблюдений и сложных алгоритмов, а также корректирующей информации, сформированной для точки нахождения приемника ГНСС пользователя в формате SSR RTCM ver.3, доступной (передаваемой) с сервера провайдера услуг PPP через интернет и/или спутниковые каналы связи. В результате достигается точность определения местоположения на уровне от дециметра до сантиметра и даже на уровне от сантиметра до миллиметра, когда при фазовых измерениях на несущих частотах ГНСС фазовые неоднозначности разрешаются (фиксируются) в их правильных целых числах (целочисленных значениях) [7].

1. Особенности основных вариантов метода высокоточного координирования PPP

В течение трех десятилетий с начала 1990-х гг. доминирующим методом высокоточного позиционирования и обработки данных было так называемое относительное позиционирование. При относительном позиционировании координаты подвижного объекта уточняются относительно опорной точки с точно известными координатами. Это уменьшает влияние большинства составляющих систематических ошибок наблюдения ГНСС, которые пространственно коррелируются как в определяемых точках, так и в опорных точках. Первоначально реализация этого метода относительного позиционирования для многих коммерческих приложений включала в себя одну опорную станцию и один или несколько мобильных приемников – так называемых роверов / *rover*, работающих в локальной зоне в режиме реального времени. Указанная технология позволяет получать точность позиционирования от сантиметра до субметра, причем уровень точности в основном зависит от того, используются ли наблюдения псевдодальностей или / и фазы несущей, а при использовании фазы несущей – от того, насколько успешным было разрешение фазовой неоднозначности. Обработка измерений фазы несущей частоты обеспечивает более точные результаты позиционирования в режиме реального времени и в динамическом режиме с помощью метода, известного как «Кинематика в режиме реального времени» RTK / *Real Time Kinematic*. RTK на протяжении многих лет является стандартом для приложений точного позиционирования и навигации, таких как управление автотранспортом, точное земледелие, геодезия и картография [8]. В последние годы метод RTK был расширен использованием региональных сетей опорных станций, что позволило значительно увеличить зону обслуживания в так называемом режиме «сетевое-RTK». Основным преимуществом RTK является то, что при использовании данной технологии решение инициализируется практически мгновенно. Однако с учётом небольшой дальности применения, особенностей инфраструктуры побережья и островов арктических морей, огромных пространств и расстояний технологии RTK в акватории СМП практически не применяются и в данной статье не рассматриваются.

В отличие от локальных методов относительного позиционирования типа ККС ГНСС или RTK метод PPP относится к методам широкозонной дифференциальной навигации и использует данные от глобальных сетей опорных станций, не требуя наличия поблизости эталонной опорной станции и одновременных наблюдений на приемниках опорной и мобильной станций пользователя. Метод PPP обеспечивает однородное качество позиционирования в согласованной глобальной системе координат в любой точке Земного шара при наличии соответствующего приемника ГНСС, прошивка которого поддерживает алгоритм PPP метода навигационного решения. При этом в некоторых вариантах реализации PPP метода требуется как передача данных пользователю с сервера провайдера услуг корректирующей информации только в одном направлении, так и передача координатной информации (в формате NMEA – сообщение GGA) с приемника ГНСС пользователя на сервер для формирования так называемых градиентных коррекций в формате RTCM ver. 3.3 (3.x) с целью правильного учета проекций ошибок корректирующей информации в точке текущего расположения приемника ГНСС пользователя [9]. Метод PPP также эффективен в вычислительном отношении. Кроме того, в дополнение к координатам в

момент получения решения PPP оцениваются другие важные параметры, такие как задержка в тропосфере и ошибка синхронизации приемника. Однако PPP требует некоторого времени сходимости для достижения сантиметровой точности координат, что является основным недостатком этого метода и ограничивает его применение в приложениях, требующих практически мгновенных динамических решений. Ключом к достижению наивысшей точности в режиме PPP и значительному сокращению времени сходимости является разрешение целочисленных значений фазовой неоднозначности. Кроме того, поскольку PPP – это метод с нулевой разницей, приведение фазовых неоднозначностей к их правильному целому числу является более сложным, чем в методах относительного позиционирования, поскольку невозможно создать двойные разности для устранения вышеуказанных фазовых смещений [10].

В зависимости от метода разрешения целочисленной неоднозначности в настоящее время принято различать два основных варианта PPP:

- стандартный метод высокоточного определения координат без разрешения целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений, который называют PPP с «плавающими» фазовыми неоднозначностями / *Float PPP*, точность которого можно оценить величиной порядка 5–10 см в горизонтальной плоскости. Для реализации метода *Float PPP* достаточно применения спутниковой корректирующей информации, содержащей поправки к эфемеридам орбит и времени бортовых часов всех видимых навигационных спутников ГНСС [11];

- метод PPP с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений / *PPP with integer ambiguity resolution*, который называют PPP-AR или IPPP / *Integer-PPP*. Для реализации метода PPP-AR к вышеуказанным поправкам для *Float PPP* необходимо добавить поправки, устраняющие нецелочисленные смещения. Этот вариант PPP позволяет обеспечить сантиметровые точности определения координат [10, с. 2].

Необходимая для реализации метода PPP эфемеридно-временная информация (ЭВИ) вычисляется по результатам спутниковых наблюдений, выполняемых наземными постоянно действующими станциями приема сигналов ГНСС с точно известными координатами, в том числе и по фазе несущих. Получаемая информация включают в себя:

- точные параметры эфемерид спутников;
- поправки к часам;
- значения задержки спутникового сигнала в ионосфере и тропосфере;
- другую необходимую информацию.

Данные эфемерид и поправки к часам имеют следующую градацию по времени доступности:

- ожидаемые (*Predicted*) – доступны в режиме реального времени;
- быстрые (*Rapid*) – доступны в промежутке от нескольких часов до двух суток;
- окончательные (*Final*) – доступны через две – три недели и предназначены для последующей более точной обработки измерений.

В настоящее время в режиме реального времени также становятся доступными параметры ЭВИ типа «сверхбыстрые» / *ultra-rapid*, формируемые международной службой ГНСС IGS и некоторыми другими организациями, причем их точность, особенно по координатной составляющей, вышла на сантиметровый уровень и постоянно возрастает [11, с. 54].

Время получения достоверного высокоточного решения, которое часто называют инициализацией, обусловлено временем сходимости решения в процессе приема и обработки поступающей ЭВИ и определяется как время, необходимое для того, чтобы оценки местоположения достигли определенного уровня точности и не отклонялись дальше этого уровня после его достижения. Для *Float PPP* время сходимости характеризуется несколькими десятками минут, а для *PPP-AR / Integer PPP* составляет около 10 минут. Отметим, что с точки зрения выполнения гидрографических работ в акватории СМП, которые в силу природно-климатических особенностей арктического региона выполняются ежегодно в период летней навигации и продолжаются как минимум несколько недель и/или месяцев, различие во времени сходимости / инициализации решений *Float PPP* и *PPP-AR* не является принципиальным.

Вместе с тем важной особенностью для координирования гидрографических работ в арктических морях СМП является возможность и даже необходимость интеграции измерений из нескольких созвездий ГНСС, т. е. переход от ГЛОНАСС или GPS PPP к использованию мультисистемного PPP решения, которое активно исследуется в последнее десятилетие. Как было отмечено выше, в отличие от относительного позиционирования, при котором используются измерения как от пользовательского приемника, так и от эталонного, для реализации режима PPP достаточно только соответствующего приемника пользователя. Поэтому важным является комплексное использование измерений от спутников всех доступных созвездий ГНСС.

На рис. 1 показаны типичные характеристики погрешностей координирования (см) в горизонтальной плоскости стандартного мультисистемного *Float-PPP* решения (без устранения неоднозначности) для разных комбинаций созвездий на станции IGS GMSD в Nakatani / Накатане, Япония, 24 марта 2017 г. (на графике ниже по оси X – см; по оси Y – минуты).

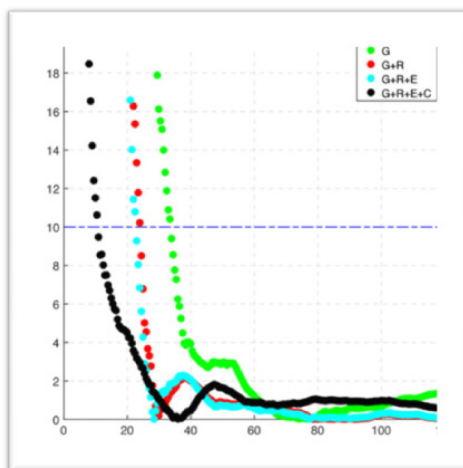


Рис. 1. Типичная точность позиционирования в плане мульти-ГНСС *Float-PPP* решения для станции GMSD Nakatani / Накатани, Япония, 24 марта 2017 г. [12]

(зелёный цвет – G: GPS; красный цвет – G+R: GPS+ГЛОНАСС; голубой цвет – G+R+E: GPS+ГЛОНАСС+Galileo и чёрный цвет – G+R+E+C: GPS+ГЛОНАСС+Galileo+BeiDou) Объяснения – в тексте

Как видно на рис. 1, комплексный мульти-ГНСС (GPS+ГЛОНАСС+Galileo+BeiDou) режим обработки данных четырёх созвездий ГНСС позволяет достичь точности 10 см вдвое быстрее, чем во всех других режимах, включая одиночный GPS, и точности 5 см – в 1,5 раза быстрее, чем в других исследованных режимах.

Для того, чтобы любое количество измерений из любого количества созвездий, включая группировку ГЛОНАСС с множественным доступом с разделением частот, могло быть обработано для получения единого уникального решения о местоположении PPP, требуются передовые технологии и значительный объём калибровок, особенно для разнородных сетей опорных станций и пользовательского оборудования (антенна, приемник и встроенное программное обеспечение приемника). Именно такие отечественные инновационные технологии получения единого PPP-решения будут далее рассмотрены в пп. 3–5 статьи.

2. Оценка статической и кинематической точности стандартного метода PPP

При практическом применении метода PPP пользователи часто сами однозначно определяют уровень точности для определения сходимости. Многочисленные зарубежные исследования показали, что точность позиционирования точек на уровне от миллиметра до сантиметра может быть достигнута при статической двухчастотной обработке PPP с использованием 24-часового набора данных хорошего качества. Например, исследования эффективности стандартного метода PPP в статическом и кинематическом режимах с использованием наборов данных с 300 станций IGS вместе с 5-минутными окончательными/ *Final* данными ЭВИ и 30-секундной информацией о тактовой коррекции в режиме двухчастотной комбинация GPS-измерений без учета ионосферы и без разрешения неоднозначности показали [13], что PPP в статическом режиме обеспечила среднеквадратическое отклонение $RMS / Root Mean Square$ позиционирования $rms = 7$ мм в горизонтальной плоскости и $rms = 13$ мм по вертикальной оси, используя 24-часовой набор данных. Для оценки точности в кинематическом режиме был использован набор данных, аналогичный статическому режиму для моделирования кинематических данных с помощью так называемого «технологического шума». Для оценки кинематической точности была использована модель технологического шума транспортного средства, движущегося со скоростью 10 м/с, т. е. 36 км/час. Этот метод анализа использовался из-за ограниченной доступности эталонных решений для получения кинематических результатов с более высокой точностью. Следует отметить, что количество технологического шума может быть масштабировано в зависимости от динамики движения пользователя, а именно – неподвижность, ходьба, вождение автомобиля, движение судна или спутника. Выбранный технологический шум в 10 м/с рассматривался как чрезмерно пессимистичный, но служил для лучшего анализа контраста в качестве результатов статического и кинематического режимов, а также анализа изменения сходимости. В результате для режима кинематики у 98 % обработанных данных погрешность rms составила менее 150 мм, а у 95 % данных rms составила менее 80 мм в горизонтальной плоскости. По вертикальной оси для 99 % обработанных данных погрешность rms составила менее 400 мм, а для 95 % rms составила менее 160 мм [13, стр. 211].

В России в январе 2020 года оценка точности PPP в кинематике была выполнена с использованием автомобиля, двигавшегося по открытой местности с хорошей

видимостью спутников по «эталонной» траектории, за которую была принята RTK-траектория, рассчитанная относительно базовой RTK-станции, находящейся в нескольких километрах от траектории движения [14]. GNSS-сигналы записывались в движении с последующим их воспроизведением в офисе. Для PPP-решения использовались SP3-файлы (финальный продукт IGS), так как целью исследования была оценка возможностей PPP-алгоритмов в условиях кинематики – для этого все остальные источники возможных ошибок, включая неточности потока PPP-поправок, формируемых в режиме реального времени, имело смысл сделать близкими к нулю. В процессе записи файла первые 30 мин. приемник с антенной на крыше автомобиля находился в статике, затем двигался со скоростью порядка 60 км/ч по прямолинейному участку траектории с поворотом примерно на 45° и последующим разворотом для проезда в обратном направлении в течение примерно 1,5 ч. На всём протяжении траектории после завершения интервала инициализации / времени сходимости (первые 20 мин.) отличие PPP-решения от RTK-решения по трем компонентам, соответствующим широтной, долготной и высотной составляющим, не превышало 5 см (рис. 2). [14, с. 119].

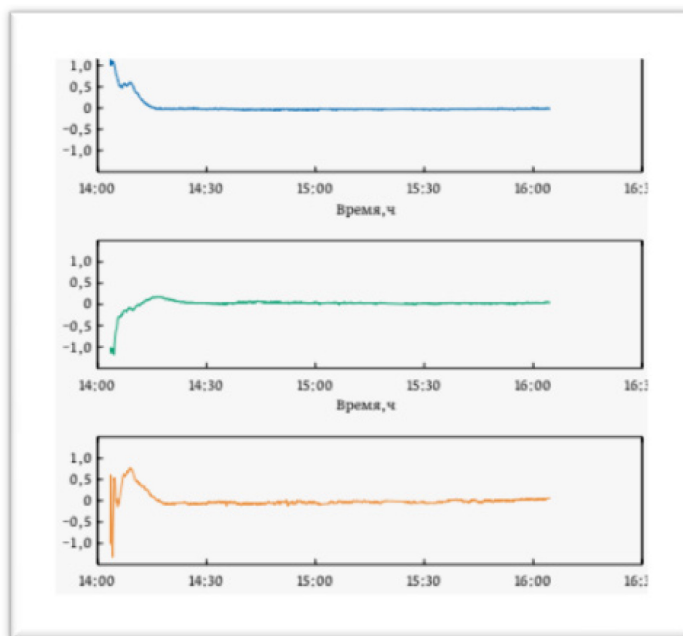


Рис. 2. Разность траекторий RTK-PPP, составляющая не более 5 см по широтной, долготной и высотной составляющим [14, с. 119]

Для сравнения следует отметить, что максимальная скорость гидрографического судна при выполнении съёмки рельефа дна на промерном галсе обычно не превышает 12 узлов или 22,2 км/час, т. е. в 2,7 раза ниже, чем использовалась в вышеуказанной оценке. Соответственно, можно ожидать, что точность метода PPP при его использовании на гидрографическом судне будет как минимум не хуже, чем приведённые выше для режима кинематики значения.

3. Отечественный инновационный сервис высокоточного определения координат на основе PPP технологии компании АО «ГЛОНАСС»

Одним из первых российских сервисов высокоточного определения координат, позволяющих решить рассмотренную в работе [1, с. 19–22] проблему ухода с российского рынка из-за санкционных ограничений иностранных провайдеров, ранее предоставлявших российским компаниям услуги высокоточного позиционирования, стал «Сервис высокоточной спутниковой навигации по технологии PPP» компании АО «ГЛОНАСС» (далее – PPP-сервис АО «ГЛОНАСС»). Официально представленная компанией со 100 %-ым государственным участием АО «ГЛОНАСС» в сентябре 2022 года на площадке Восточного экономического форума во Владивостоке технология использует отечественные алгоритмы, применение которых обеспечивают импортозамещение. Заявлено, что PPP-сервис АО «ГЛОНАСС» обеспечивает точность навигационных определений от дециметра до единиц сантиметров. Сервис уже испытан на научно-исследовательских судах в Баренцевом море и на акватории Северного морского пути от Мурманска до моря Лаптевых и использовался для высокоточного координирования сейсмических работ и изучения рельефа морского дна [15]. Принципиальная схема PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» приведена на рис. 3, а технические спецификации – в табл. 1.



Рис. 3. Принципиальная схема «Сервиса высокоточной спутниковой навигации по технологии PPP» компании АО «ГЛОНАСС» [16]. Объяснение – в тексте

Как видно на рис. 3, система PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» включает следующие составные части:

- сети опорных станций измерений текущих навигационных параметров (ИТНП) навигационных космических аппаратов ГНСС;
- каналы доставки ИТНП в центр обработки данных (входят функционально);
- программно-аппаратный комплекс центра обработки данных по расчету высокоточной эфемеридно-временной информации (ЭВИ) и формированию корректирующей информации;
- каналы доставки корректирующей информации потребителям (входят функционально);
- навигационная аппаратура потребителей (НАП), воспринимающая корректирующую информацию в форматах RTCM версии 3.2 и выше (входит функционально).

В состав PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» также входят подсистемы контроля доступа (СКД) потребителей к услугам и учета оказанных услуг.

Таблица 1. Технические спецификации PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» [16]

Созвездия ГНСС	Горизонтальная точность*	Вертикальная точность*
ГЛОНАСС, GPS, Galileo, BeiDou	До 10 см в любой точке евразийского и арктического региона	До 15 см в любой точке евразийского и арктического региона
* Данные получены в результате экспериментов и могут меняться в зависимости от условий наблюдения рабочего созвездия ГНСС		

Отметим следующие преимущества PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС»:

- точности навигационных определений до 10 см в любой точке евразийского и арктического региона;
- не требует использования локальной наземной инфраструктуры;
- возможность доставки ЭВИ как через спутниковое вещание, так и через интернет;
- решения на базе отечественных разработок, обеспечивающие навигационный суверенитет ключевых отраслей экономики Российской Федерации, снижение зависимости от иностранных технологий и возможности технологического развития [16].

Отдельно подчеркнём, что для обеспечения высокоточного определения координат в высоких широтах, включая акваторию СМП, в составе сети опорных станций PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» используются станции в населенных пунктах: Мурманск, Сыктывкар, Воркута, Норильск, Тура, Тикси, Певек, Анадырь, Магадан, Петропавловск-Камчатский. Кроме того, по информации специалистов АО «ГЛОНАСС» прорабатывается вопрос размещения дополнительных опорных станций на островах Северного Ледовитого океана.

В целом Сеть опорных станций предназначена для измерений текущих навигационных параметров навигационных космических аппаратов (НКА) созвездий ГНСС ГЛОНАСС, GPS, GALILEO, BeiDou на всех открытых частотах, передаче в ЦОД данных ИТНП и служебной информации НКА ГНСС в режиме реального времени.

Поток ИТНП по всем ГНСС формируется для сигналов ГЛОНАСС: L1 C/A, L2 C/A, L3, CDMA (L1, L2, L3), P-коды; GPS: L1C/A, L2C, L5, L1C, P-коды; Galileo E1, E5a, E5b, AltBOC, E6; BeiDou B1, B2, B2a, B2b, B3. Передача данных по каналам связи осуществляется по протоколу TCP/IP.

4. Порядок функционирования PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС»

Система PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» функционирует следующим образом:

- опорные станции сети ведут непрерывные измерения параметров навигационных космических аппаратов НКА созвездий ГНСС ГЛОНАСС, GPS, GALILEO и BeiDou, находящихся в зоне видимости, и в режиме реального времени по каналам связи передают параметры спутников в ЦОД;

- ЦОД выполняет математическую обработку полученных измерений, результатом которой являются уточнённые эфемериды и поправки часов навигационных спутников (SSR-информация), которые размещаются на серверных ресурсах;

- зарегистрированный потребитель через систему доступа запрашивает и получает по мобильной связи (протокол NTRIP) или по спутниковой связи SSR-информацию в формате RTCM версии 3.2 и выше;

- навигационная аппаратура потребителей (НАП), выполняя одновременно измерения параметров НКА ГНСС (измерения кода и фазы несущей частоты), находящихся в зоне видимости, и комплексируя их с SSR-информацией, вычисляет координаты фазового центра антенны приёмника.

Весь процесс от набора измерений опорными станциями сети до момента определения координат приёмником НАП (без учёта времени инициализации / сходимости) занимает порядка 20 сек.

Фундаментальный набор навигационных уравнений для кодовых и фазовых измерений, выполняемых приёмником НАП, может быть представлен для приемника k , спутника v и индекса частотного диапазона i в виде уравнений (1) и (2), при этом псевдодалность в уравнении (1) измеряется в единицах расстояния, а измерение фазы несущей в уравнении (2) производится в единицах циклов, которые преобразуются в расстояние [14, с. 116–117; 17, 18]:

$$P_{k,i}^v = \rho_k^v + cdt_k - cdt^v + \left(\frac{f_{L1}^v}{f_i^v}\right)^2 I_{k,L1}^v + T_k^v + d_{k,i,P}^v + M_{k,i,P}^v - D_{i,P}^v + \varepsilon_{k,i,P}^v \quad (1)$$

$$\varphi_{k,i}^v = \frac{f_i^v}{c} \rho_k^v + f_i^v dt_k - f_i^v dt^v + N_{k,i}^v - \frac{1}{c} \left(\frac{f_{L1}^v}{f_i^v}\right)^2 I_{k,L1}^v + \frac{f_i^v}{c} T_k^v + d_{k,i,\varphi}^v + M_{k,i,\varphi}^v - D_{i,\varphi}^v + \varepsilon_{k,i,\varphi}^v \quad (2)$$

здесь: ρ_k^v – расстояние, которое сигнал проходит от момента излучения антенной спутника до момента приема антенной приемника;

f_i^v – частота несущей сигнала (v, i);

$I_{k,L1}^v$ – ионосферная задержка сигнала ($v, L1$) на пути к приемнику k ;

T_k^v – тропосферная задержка сигнала (не зависит от частоты) на пути от спутника v к приемнику k ;

c – скорость света в вакууме;
 dt_k – сдвиг шкалы времени приемника k относительно системных часов;
 dt^v – сдвиг шкалы бортовых часов спутника v ;
 $a_{k,i,p}^v, a_{k,i,\varphi}^v$ – аппаратные задержки сигнала (v, i) в приемнике k для кодовых и фазовых измерений соответственно;
 $D_{i,p}^v, D_{i,\varphi}^v$ – аппаратные задержки в спутнике для кодовых и фазовых измерений соответственно;
 $M_{k,i,p}^v, M_{k,i,\varphi}^v$ – ошибка многолучевости для сигнала (v, i) в приемнике k для кодовых и фазовых измерений соответственно;
 $N_{k,i}^v$ – фазовая неоднозначность сигнала (v, i) в приемнике k ;
 $\varepsilon_{k,i,p}^v, \varepsilon_{k,i,\varphi}^v$ – шум кодовых и фазовых измерений соответственно.

Также при использовании не разностных кодовых и фазовых измерений в режиме PPP требуется моделировать многие физические эффекты, оказывающие влияние на точность получаемого решения, и соответствующие алгоритмы отечественных НАП реализуются с учетом всех основных факторов, влияющих на точность PPP-решения [14, с. 117].

5. Тестирование и оценка точности PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» по результатам статических измерений

Предварительное тестирование и оценка точности PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» выполнялись в два этапа.

5.1. На первом этапе использовалась НАП референсной станции, разработанной АО «Конструкторское бюро навигационных систем» (АО «КБ НАВИС»), предоставленная Санкт-Петербургским филиалом. Данная НАП (далее – НАП «ГЕО-РС»), представляет собой многоканальный (432 канала) приемник геодезического класса, предназначенный для работы в сетях базовых станций, а также в качестве ровера – для высокоточного определения пространственного местоположения объектов в относительном (RTK) и абсолютном режимах (PPP) реального времени по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/BEIDOU. ГЕО-РС разработана АО «КБ НАВИС» на базе отечественного навигационного модуля СН-7700 и имеет необходимое для полноценной работы встроенное специализированное программно-математическое обеспечение. Аппаратура ГЕО-РС зарегистрирована в реестре российской промышленной продукции и имеет необходимый сертификат об утверждении типа средства измерения. Внешний вид НАП ГЕО-РС приведен на рис. 4.

С использованием НАП ГЕО-РС была выполнена серия непрерывных наблюдений в режиме ГЛОНАСС/GPS/GALILEO продолжительностью около 20 часов с 11:41 UTC 27 июля до 7:28 UTC 28 июля 2023 (поправки от ГНСС БЕЙДОУ на тот момент времени НАП ГЕО-РС не передавались).



а

б



в

Рис. 4. Внешний вид НАП ГЕО-РС [19]: *а* – блок референсной станции ГЕО-РС АО «КБ НАВИС»; *б* – блок референсной станции ГЕО-РС, панель с разъёмами; *в* – антенна референсной станции ГЕО-РС [19]

Наблюдения выполнялись в здании АО «КБ НАВИС», находящемся в одной из промышленных зон Санкт-Петербурга, поэтому необходимо отметить, что уровень промышленного «шума» был не самый благоприятный. Основная задача первого этапа – оценить стабильность, непрерывность и надежность получаемых с использованием потока SSR-сообщений мультисистемных PPP-решений в условиях «шума». Соединение с PPP-севером АО «ГЛОНАСС» осуществлялось с использованием протокола NTRIP, как показано на рис. 5. Подключение к PPP-серверу происходило с использованием параметров, предоставленных АО «КБ НАВИС» компанией АО «ГЛОНАСС».

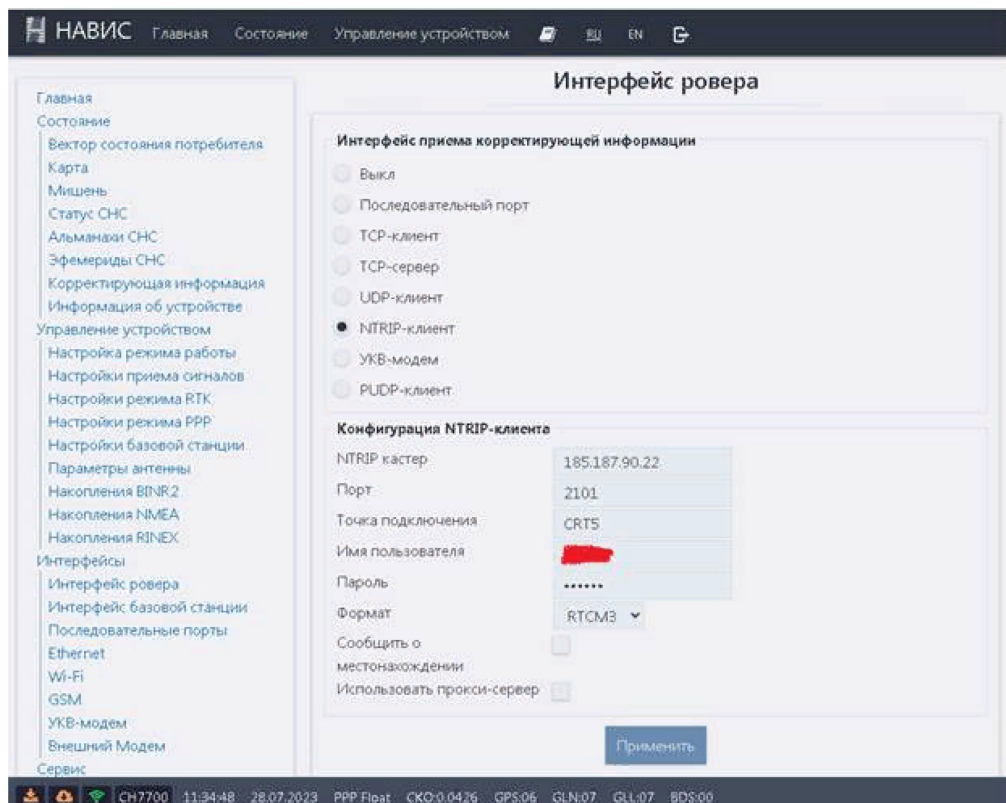


Рис. 5. Настройка подключения НАП к серверу АО ГЛОНАСС

Сведения о состоянии приема потока корректирующей информации для ГНСС с сервера АО ГЛОНАСС в формате сообщений SSR RTCM версии 3.2 приводятся на рис. 6. Необходимо подчеркнуть, что формат SSR (*Sate Space Representation*) был специально разработан Международной службой ГНСС для использования технологий PPP [20].

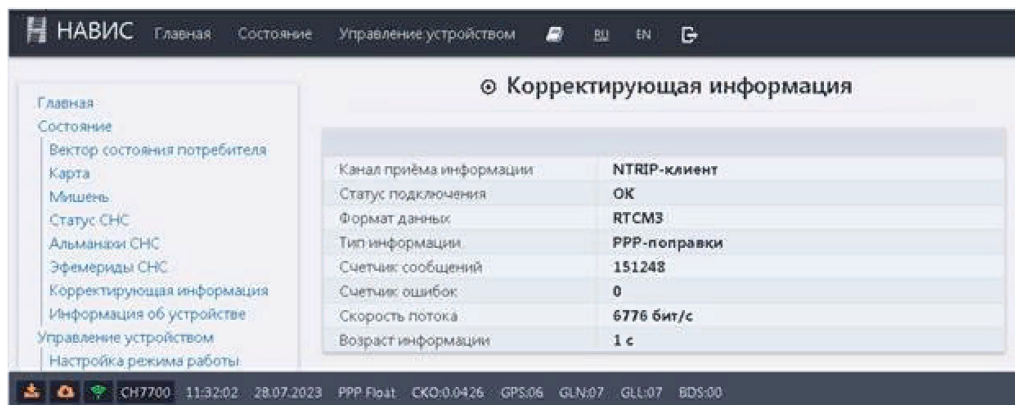


Рис. 6. Сведения о приеме PPP-поправок с сервера АО ГЛОНАСС в формате RTCM3

В течение непрерывной 20-часовой серии было получено в общей сложности 71201 PPP-решений (вычисление высокоточных координат 3D) в режиме ГЛОНАСС/GPS/GALILEO. При этом минимальное количество спутников в решении за весь период, как видно на рис. 7, составило 14 спутников созвездий ГЛОНАСС+GPS+GALILEO. В том числе ГЛОНАСС и GALILEO – максимум по 10 спутников и GPS – максимум 11 спутников. Это подчёркивает важность использования по возможности именно мультисистемного режима наблюдений при выполнении гидрографических работ в акватории СМП, где количество видимых спутников различных созвездий ГНСС, которые позволяют получить PPP-решение, может быть меньше, чем на широте Санкт-Петербурга, равной 60°N.

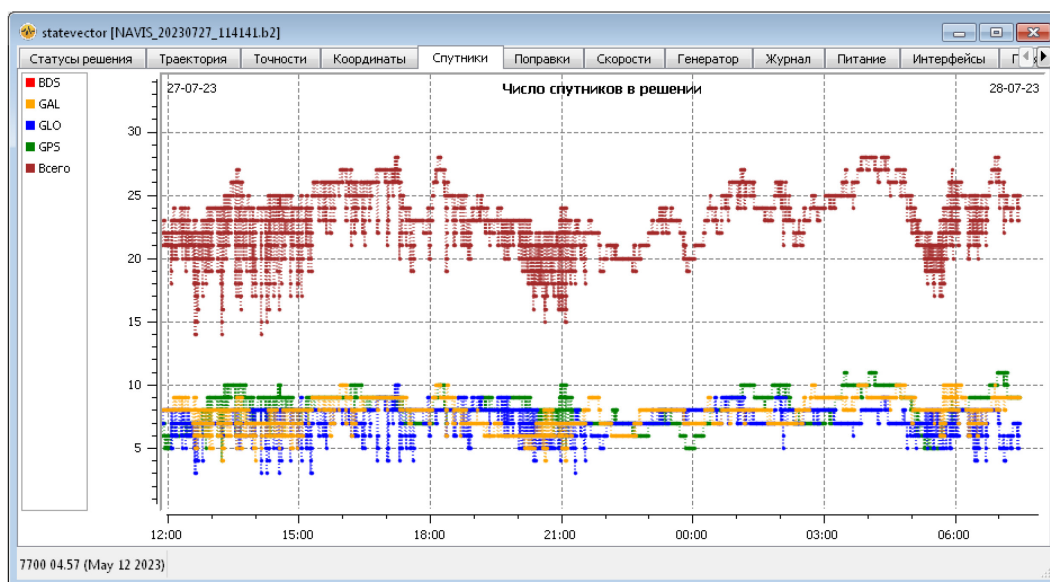


Рис. 7. Суммарное количество спутников в решении (коричневый цвет), включая спутники ГЛОНАСС (синий цвет), GPS (зелёный цвет) и GALILEO (жёлтый цвет)

Графики отклонений полученных высокоточных PPP-решений по широте, долготе и высоте приведены на рис. 8. Как видно, время сходимости для заданного критерия точности, определённого для горизонтальной плоскости в 10 см согласно Технической спецификации PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» (см. табл. 1), оказалось более значительным по долготе, чем по широте, и составило примерно 40 мин., а время сходимости для заданного критерия точности 15 см в вертикальной плоскости соответственно составило порядка 25 мин.

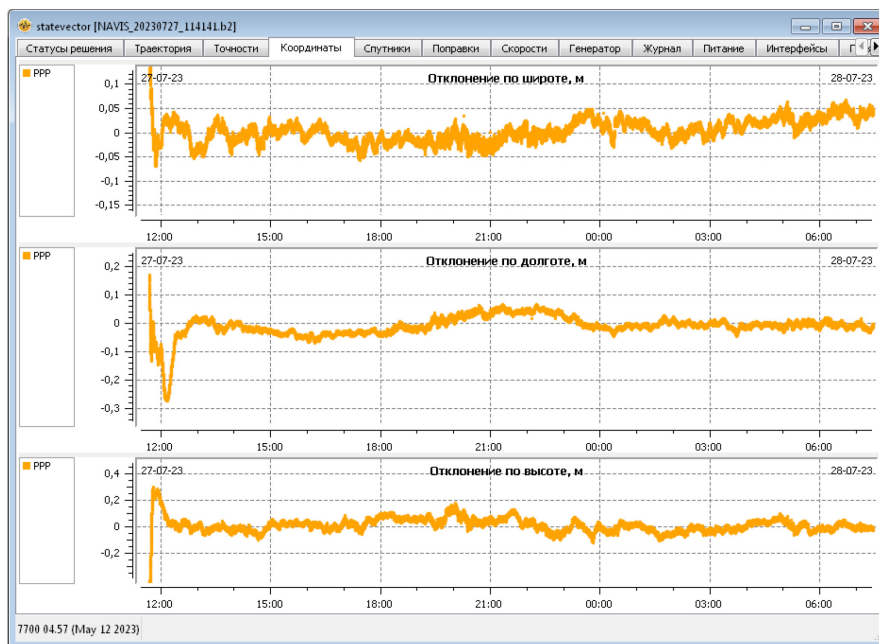


Рис. 8. Графики отклонений PPP-решений по широте, долготе и высоте

Мишень, исторически используемая для анализа результатов спутниковых наблюдений, построенная по высокоточным координатам точек, определённых в течение PPP-серии в режиме наблюдений ГЛОНАСС/GPS/GALILEO при выполнении предварительного тестирования с использованием НАП ГЕО-РС, приведена на рис. 9.

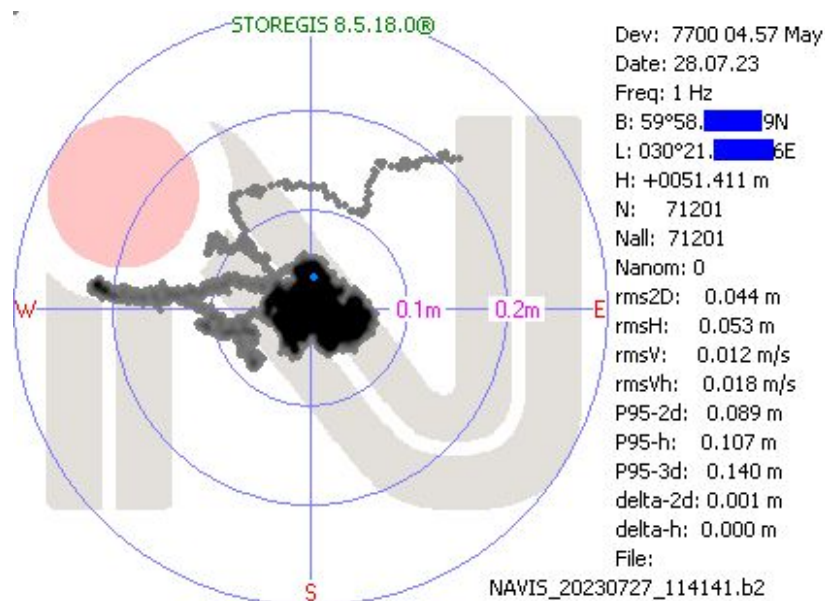


Рис. 9. Мишень с координатами точек, определённых в течение PPP-серии НАП ГЕО-РС в мультисистемном режиме ГЛОНАСС/GPS/GALILEO

Данные о возрасте PPP-поправок, полученных в течении PPP-серии наблюдений ГНСС ГЛОНАСС/GPS/GALILEO при выполнении предварительного тестирования с использованием НАП ГЕО-РС, приведены на рис. 10. Отсутствие превышений возраста в 10 сек. на протяжении всего интервала PPP-сессии говорит о стабильной работе канала приема потока корректирующей информации.

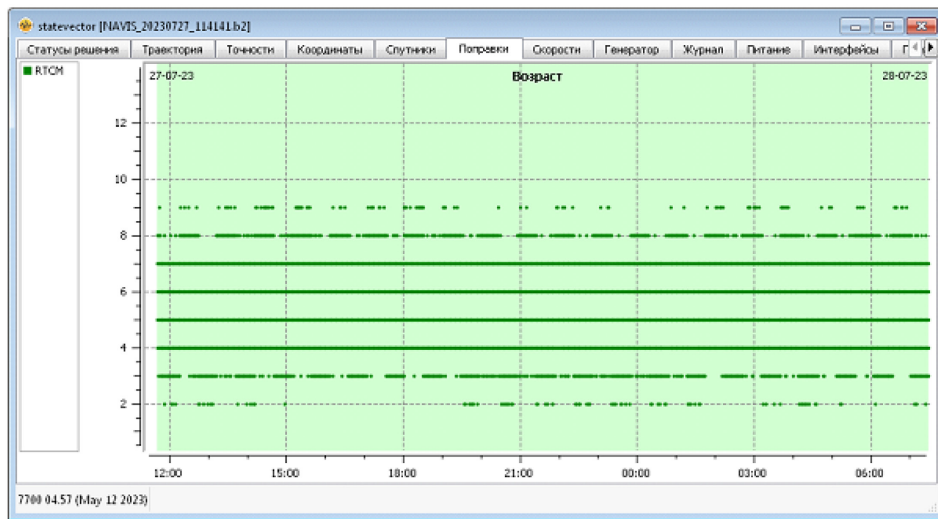


Рис. 10. Данные о возрасте поправок RTCM, принимавшихся с PPP-сервера АО «ГЛОНАСС» в период предварительного тестирования с использованием НАП ГЕО-РС

Статистическая обработка результатов наблюдений здесь и далее в статье выполнена с использованием специализированного ПО «STOREGIS», вер. 8.5.18.0. Результаты обработки полученных с использованием НАП «ГЕО-РС» PPP-решений (Статус/*Status PPP Float*) приведены на рис. 11. Следует отметить, что представленные на рис. 11 результаты включают в себя получасовой участок сходимости PPP-решения (инициализацию), что можно видеть по характерному начальному следу от блуждания координат на графике мишени.

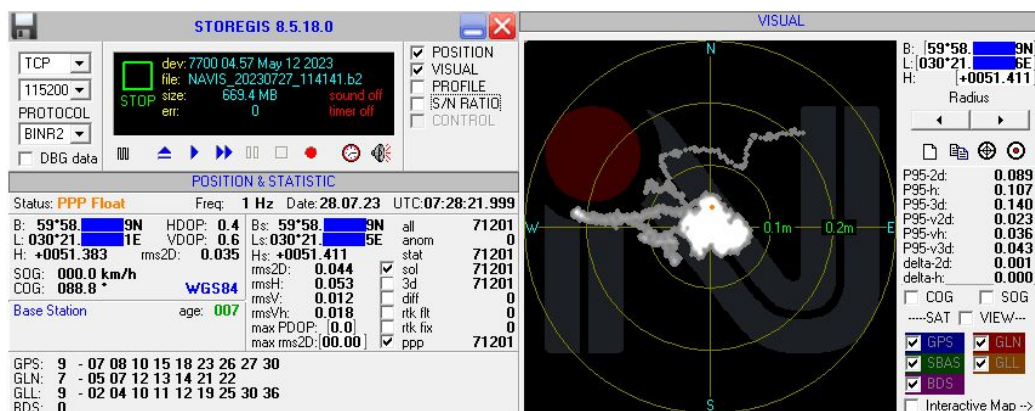


Рис. 11. Результаты обработки полученных PPP-решений в режиме ГЛОНАСС/GPS/GALILEO с использованием НАП ГЕО-РС

Величины полученных на первом этапе предварительного тестирования оценки точности с учетом получасового интервала начальной инициализации: среднеквадратическое отклонение от итоговых средневзвешенных координат фазового центра антенны приёмника ГЕО-РС в плане СКО (P95%-2D) = 0,089 м и по высоте – СКО (P95%-h) = 0,107 м (см. рис. 11), позволили оценить потенциальную ожидаемую точность PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» и её соответствие Техническим спецификациям PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» (см. табл. 1).

5.2. На втором этапе тестирование осуществлялось с использованием ГНСС приёмника «4GNSS ОС-113» (далее – НАП «ОС-113»), предоставленного компанией «Ориент Системз» (г. Москва), специалисты которой также оказали помощь в запуске и настройке оборудования, а также необходимую поддержку в ходе тестирования. Приёмник «ОС-113», в котором реализована технология PPP, представляет собой универсальный мультисистемный (GPS, BeiDou, GLONASS, Galileo, SBAS, WASS, EGNOS, MSAS, GAGAN), многочастотный, мультиканальный (965 каналов) ГНСС-приёмник с внешней антенной. Идеально подходит для записи как «сырых» данных, так и в качестве постоянно действующей базовой станции. Также может использоваться как ровер. НАП «ОС-113» легко управляется с помощью веб-интерфейса с технологией Web Survey или любого полевого ПО с поддержкой NMEA-сообщений [21]. Состав и внешний вид оборудования НАП «ОС-113» представлены на рис. 12.



Рис. 12. Внешний вид НАП «ОС-113» с антенной [22]

Для целей оценки точности антенна НАП «ОС-113» была установлена на центре опорного пункта АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» (АО ГНИНГИ) (рис 13). Опорный пункт «POINT» АО ГНИНГИ расположен недалеко от побережья Финского залива в точке с «открытым небом», т. е. с видимостью спутников по всему горизонту 360° без препятствий. Высокоточные координаты пункта «POINT» были определены в 2023 г. в текущей версии Международной наземной системы отсчёта ITRS – ITRF 2014 на эпоху измерений специалистами АО «Российские космические системы» методом «длиннобазисных высокоточных местоопределений» относительно базисных станций IGS: MDVJ (Менделеево), POLV (Полтава) и RIGA (Рига).



Рис 13. Антенна «ОС-113» на центре Опорного пункта «POIN» АО ГНИНГИ

Соединение НАП «ОС-113» с PPP-сервером АО «ГЛОНАСС» осуществлялось с использованием протокола NTRIP. На данном этапе подключение к PPP-серверу проведено с использованием параметров, полученных от АО «ГЛОНАСС» компанией «Ориент Системз», которые были по умолчанию установлены в ПО НАП «ОС-113». Всего на этом этапе было выполнено восемь PPP-серий наблюдений продолжительностью от 3 час. 43 мин. до 24 час. 29 мин., результаты которых их представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты PPP-серий наблюдений с использованием НАП «ОС-113»

№	Период PPP-серии (без Инициализации) UTC		Продолжи- тельность PPP-серии (час.: мин.)	Колич-во PPP решений в серии	Отклонение от координат опорного пункта «POIN»				СКП (P 95%)	
	Начало	Конец			delta B, угл. сек	delta L, угл. сек	delta 2D (м)	delta H (м)	2D (м)	H (м)
2.1	16.09 18:06	17.09 05:02	10:56	39386	+0,007"	+0,043"	0,012	-0,008	0,057	0,073
2.2	17.09 06:40	17.09 10:23	03:43	13327	+0,029"	+0,101"	0,030	+0,002	0,082	0,064
2.3	18.09 21:17	19.09 04:41	07:24	26650	+0,004"	+0,029"	0,008	+0,028	0,041	0,079
2.4	19.09 21:33	20.09 07:37	10:04	36242	+0,004"	+0,076"	0,020	+0,017	0,068	0,110
2.5	20.09 17:55	21.09 13:31	19:36	58119	-0,011"	+0,006"	0,017	+0,007	0,066	0,076
2.6	21.09 15:11	22.09 15:40	24:29	82694	-0,004"	+0,006"	0,011	-0,015	0,087	0,167
2.7	22.09 19:00	23.09 03:19	08:19	29978	-0,004"	+0,058"	0,015	+0,007	0,063	0,074
2.8	23.09 11:20	24.09 04:47	17:27	57652	0,000	+0,104"	0,027	0,000	0,080	0,080
			Средние значения		+0,003"	+0,053"	0,018	+0,048	0,068	0,090

В период второго этапа предварительного тестирования PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» было неожиданно выявлено внезапное одномоментное исключение из участия в PPP-решении всех спутников ГНСС ГЛОНАСС (рис. 14, 15). Как видно из рис. 14 в ходе серии наблюдений с 20 на 21 сентября (серия 2.5. в табл. 2) в 00:01:30 UTC 21 сентября в вычислении PPP-решения участвуют 22 спутника всех четырех ГНСС: 5 спутников ГНСС GPS, 6 – ГНСС ГЛОНАСС/GLN, 5 – ГНСС ГАЛИЛЕО/GLL и 6 – ГНСС БЕЙДОУ/BDS.

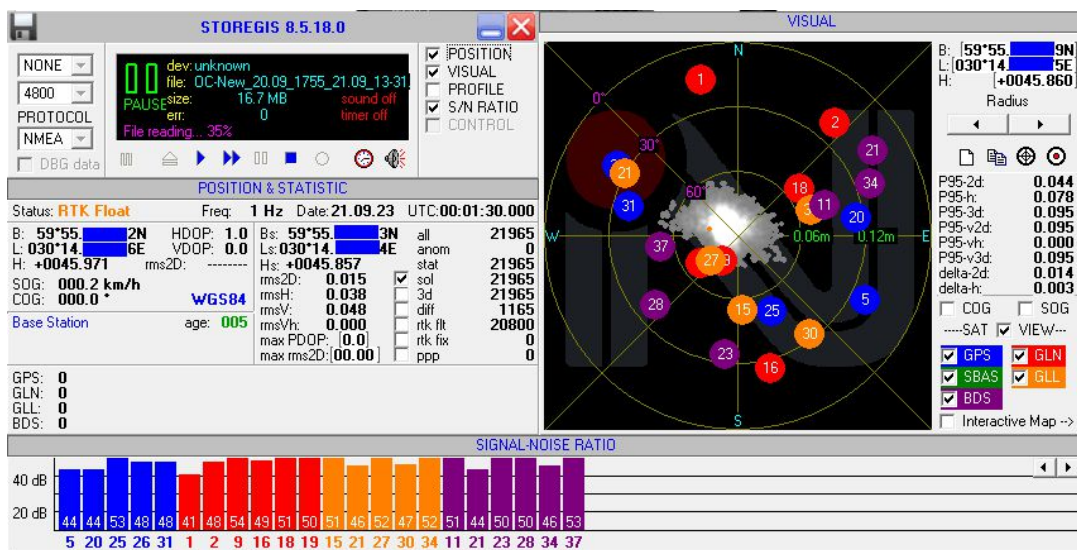


Рис. 14. Скриншот рабочего окна ПО Storegis 21.09.2023 в 00:01:30 UTC

Здесь необходимо отметить, что в НАП «ОС-113» в отличие от НАП «ГЕО-РС», который использовался на первом этапе предварительного тестирования, статус (вариант) решения PPP Float отображается как RTK Float (обозначение выделено красным цветом у левого края рис. 14 после слова «Status:»). Это объясняется тем, что в «ОС-113» используется исторически применяемое сообщение протокола связи морского навигационного оборудования NMEA-0183 с идентификатором/ID \$GPGGA. В этом сообщении в поле Индикатора качества/GPS Quality Indicator не предусмотрено значение Индикатора (цифра от 0 до 6), соответствующее режиму PPP Float. Очевидно, поэтому разработчики НАП ОС-113 использовали значение Индикатора = 5, обозначающее режим координирования RTK Float, который по уровню точности и смыслу близок к PPP Float. В связи с этим далее в статье для правильного понимания варианта высокоточного решения мы будем использовать обозначение PPP/RTK.

Однако уже через минуту в 00:02:30 все 6 спутников ГНСС ГЛОНАСС/GLN в PPP/RTK Float решении уже не участвуют. Это хорошо видно на рис. 15, где все шесть спутников ГНСС ГЛОНАСС/GLN, обозначенные ярко-красным цветом на рис.14, исчезли на так называемой «мишени» и из таблицы «уровень сигнал-шум»/SIGNAL-NOISE RATIO в нижней части рис. 15. При исчезновении спутников ГЛОНАСС Статус/Status решения НАП «ОС-113» сменился с высокоточного PPP/RTK на 3D dgnss (после слова «Status:» на рис. 15 слева).

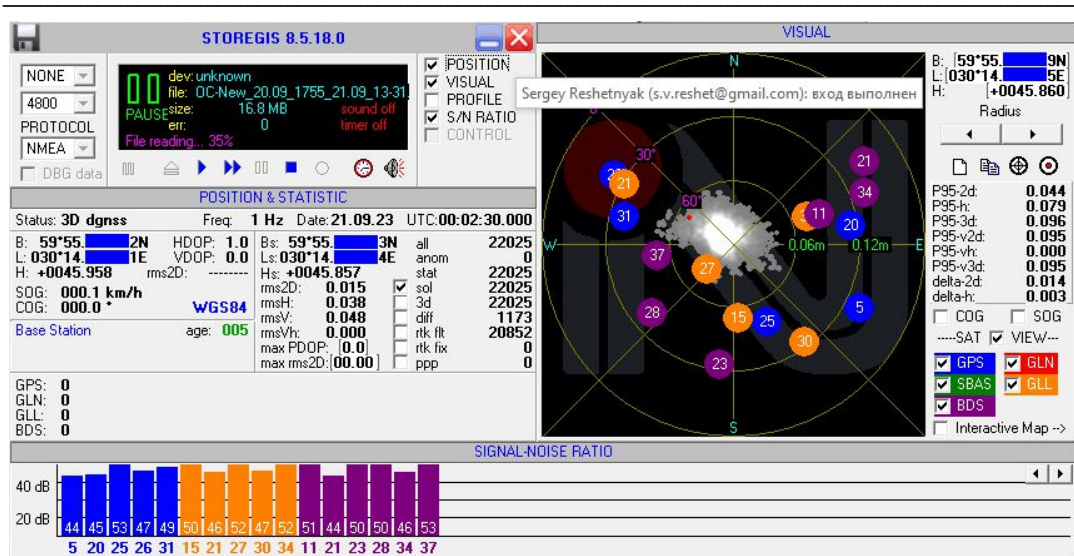


Рис. 15. Скриншот рабочего окна ПО Storegis 21.09.2023 в 00:02:30 UTC
Объяснение – в тексте

Статус/Status решения 3D dgncs сохранялся примерно до 00:29 мин. (рис. 16). Несмотря на формальное отсутствие Статуса PPP/RTK в течение 27 мин., точность измерений практически не ухудшилась, что видно из «мишеней» и значений величин СКП (P95-2d), которые составляли 0,044 м в 00:02:30 и 0,048 м в 00:29:45. Спутники ГНСС ГЛОНАСС не появились в решении до конца серии, тем не менее итоговая СКП (P95%)2d составила 0,066 м, а отклонение от высокоточных координат Опорной точки «POIN» в горизонтальной плоскости составило всего 0,01 м (рис. 17) и PPP-серию 2.5 (табл. 2).

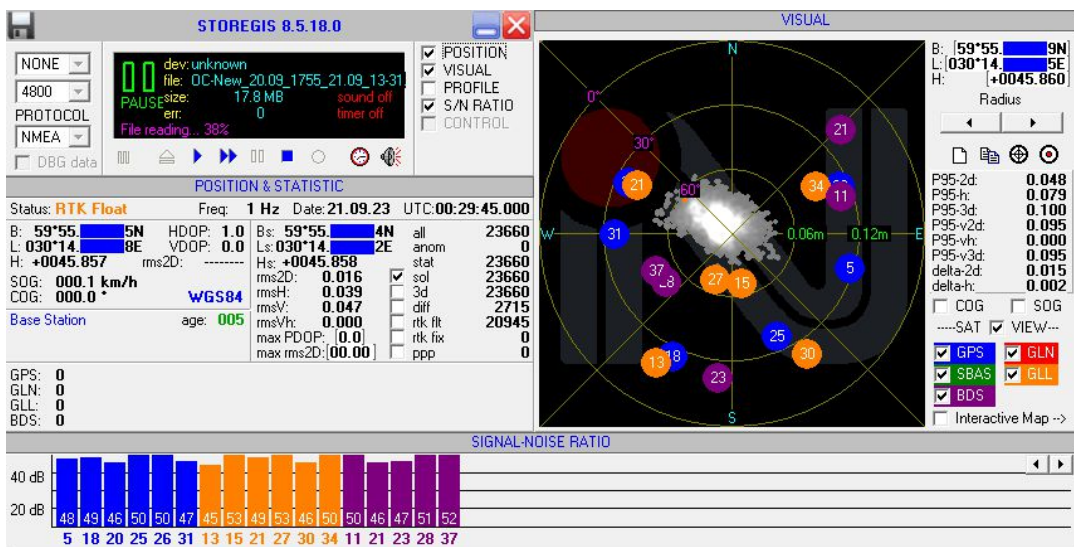


Рис. 16. Скриншот рабочего окна ПО Storegis 21.09.2023 в 00:29:45 UTC

Аналогичная ситуация сложилась в ходе серии наблюдений с 21 на 22 сентября (серия 2.6 в табл. 2). Как видно на рис. 17, в 02:02:24 UTC 22 сентября в PPP-решении участвуют 23 спутника всех четырех ГНСС: 6 спутников ГНСС GPS, 7 – ГНСС ГЛОНАСС/GLN, 5 – ГНСС ГАЛИЛЕО/GLL и 5 – ГНСС БЕЙДОУ/BDS.

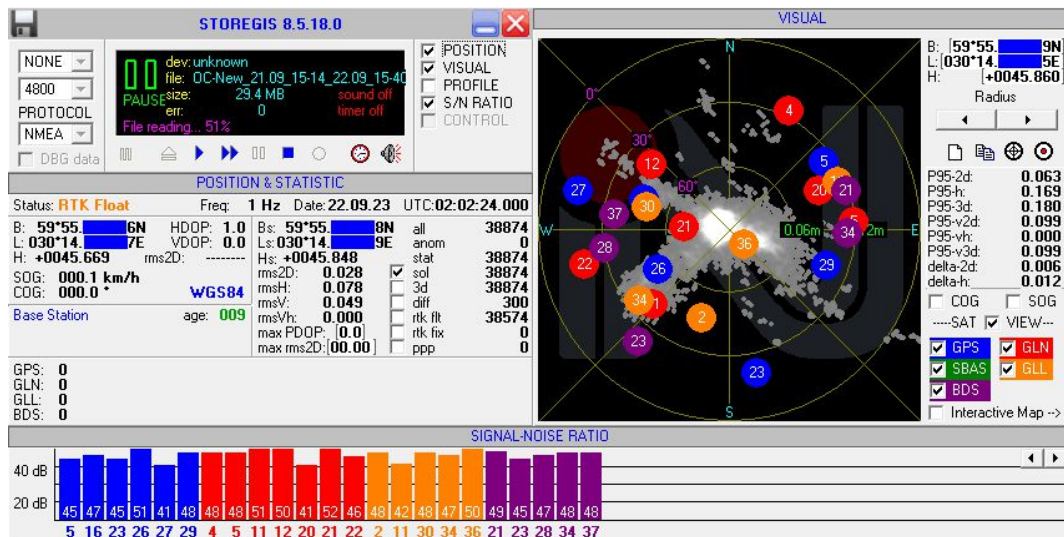


Рис. 17. Скриншот рабочего окна ПО Storegis 22.09.2023 в 02:02:24 UTC

А менее чем через минуту, в 02:03:19 все 7 спутников ГНСС ГЛОНАСС/GLN в PPP/RTK-Float решении уже не участвуют. Спутники ГНСС ГЛОНАСС/GLN, обозначенные ярко-красным цветом, исчезли на «мишени» и из таблицы «уровень сигнал-шум» / *SIGNAL-NOISE RATIO* в нижней части рис. 18.

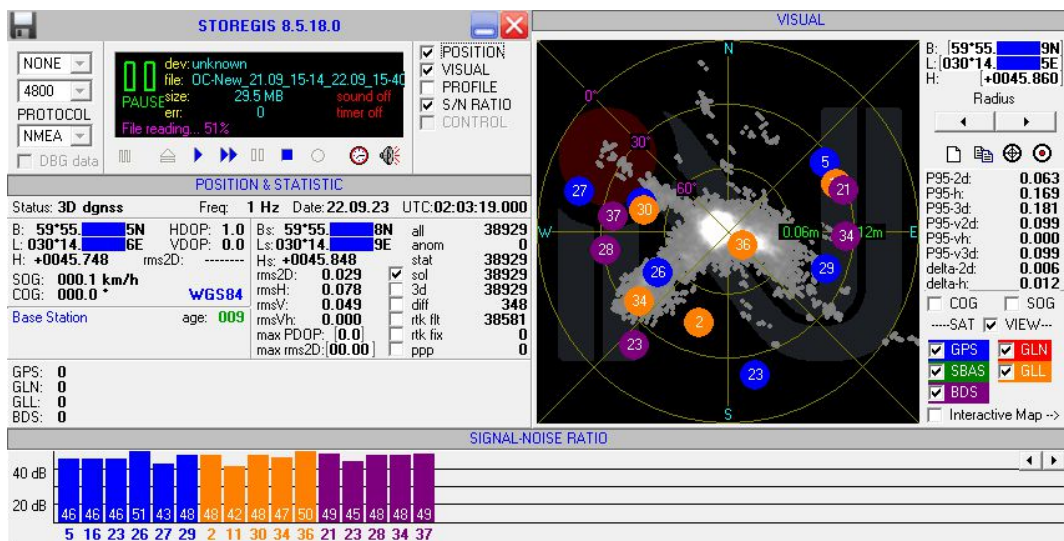


Рис. 18. Скриншот рабочего окна ПО Storegis 22.09.2023 в 02:03:19 UTC

Более того, далее в ходе данной серии из PPP-решения вслед за спутниками ГЛОНАСС одновременно исчезли и спутники ГНСС БЕЙДОУ/BDS. Как видно на рис. 19, в 08:19:32 UTC 22 сентября в PPP-решении участвуют 14 спутников трёх ГНСС без ГЛОНАСС: 5 спутников ГНСС GPS, 5 – ГНСС ГАЛИЛЕО/GLL и 4 – ГНСС БЕЙДОУ/BDS.

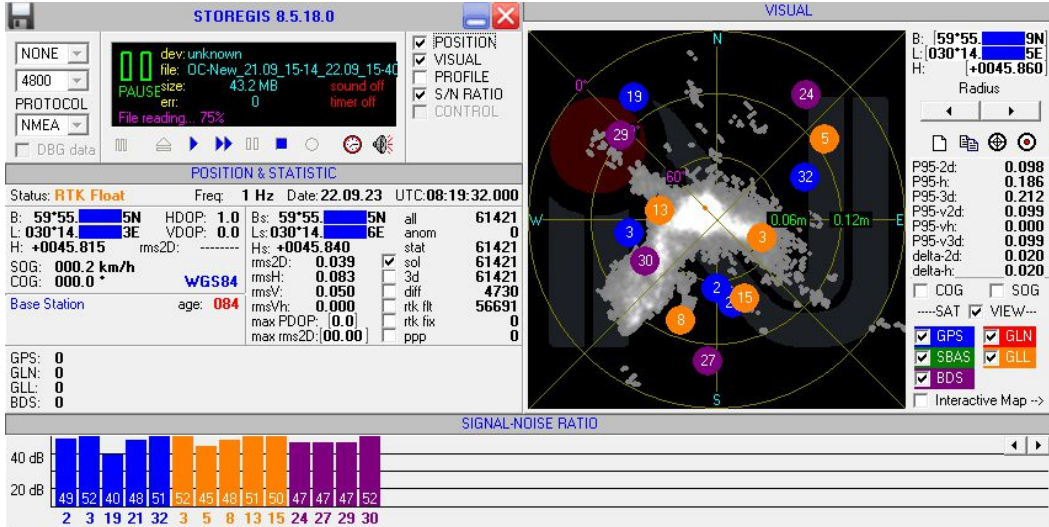


Рис. 19. Скриншот рабочего окна ПО Storegis 22.09.2023 в 08:19:32 UTC

Но уже в 08:20:18 все четыре спутника БЕЙДОУ/BDS, несмотря на их хорошую геометрию, в PPP/RTK Float решении уже не участвуют. Спутники ГНСС БЕЙДОУ/BDS, обозначенные фиолетовым цветом, исчезли на «мишени» и из таблицы «уровень сигнал-шум»/SIGNAL-NOISE RATIO в нижней части рис. 20.

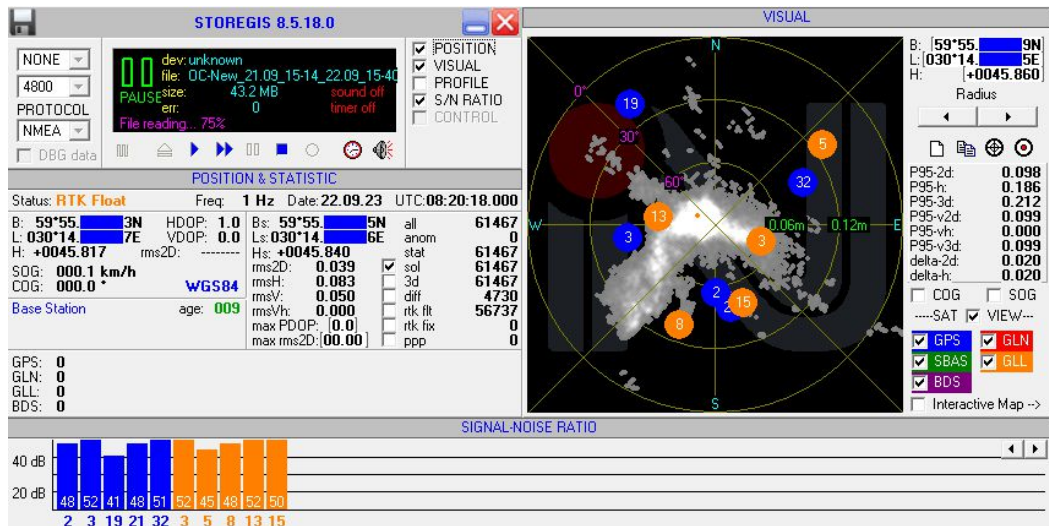


Рис. 20. Скриншот рабочего окна ПО Storegis 22.09.2023 в 08:20:18 UTC. PPP-решение НАП «ОС-113» без спутников ГНСС ГЛОНАСС и ГНСС БЕЙДОУ

Стоит отметить, что после исключения спутников ГЛОНАСС точность PPP-решения несколько ухудшилась, и СКП в горизонтальной плоскости увеличилась с СКП (P 95%) = 0,064 в 02:02:24 до 0,10 в районе 04:00 UTC. По мнению авторов, такое увеличение СКП напрямую не связано с исключением из PPP-решения спутников ГНСС ГЛОНАСС, а во многом объясняется значительным ростом возраста PPP-поправок. Как видно на рис. 19, возраст поправок/age ещё до исключения спутников ГЛОНАСС составлял 84 с (возраст/age=084 выделен на дисплее ПО Storegis красным цветом), что в целом привело к большому разбросу PPP-координат на мишени. Впоследствии с уменьшением возраста поправок до нормальных значений 5–11 с точность PPP-решений улучшилась, и серия, несмотря на исключение из PPP-решения спутников ГЛОНАСС и впоследствии – спутников БЕЙДОУ, завершилась с итоговым значением СКП (P 95 %) = 0,087, соответствующим Технической спецификации PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС», см. серию 2.6 в табл. 2 и рис. 21.

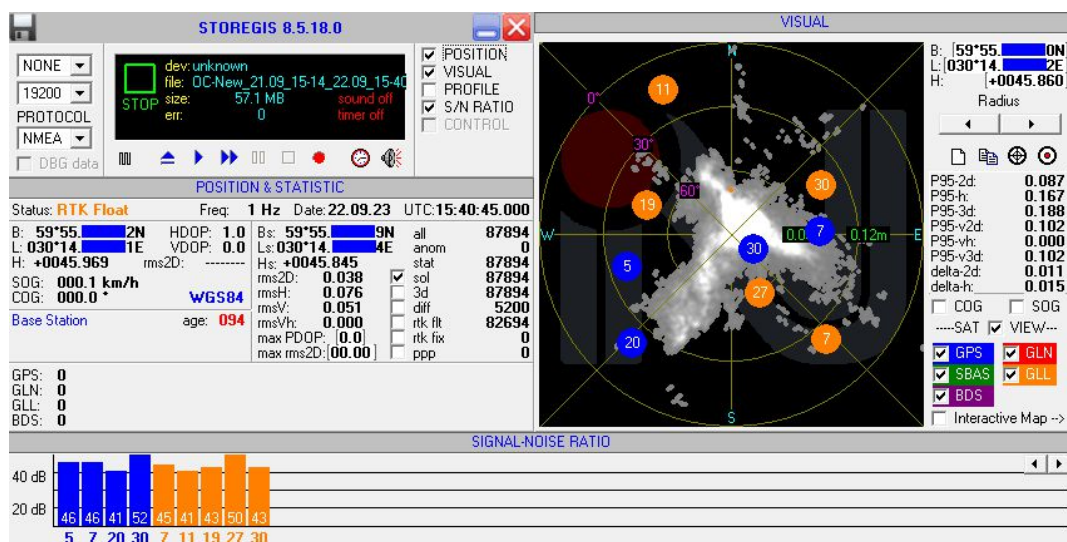


Рис. 21. Скриншот рабочего окна ПО Storegis при завершении серии 2.6 (в момент ухода НАП «ОС-113» из высокоточного режима PPP/RTK Float) без спутников ГНСС ГЛОНАСС и ГНСС БЕЙДОУ 22.09.2023 в 15:40:45 UTC

Следует также подчеркнуть, что произошедшее исключение двух из четырех созвездий ГНСС произвольно смоделировало ситуацию, которая могла бы произойти на любом гидрографическом судне в Арктике, когда по внешней причине (например, отключение или глушение) пропали сигналы двух ГНСС. Но даже при таких обстоятельствах высокоточное координирование работ с использованием PPP-сервера АО «ГЛОНАСС» будет обеспечиваться по двум оставшимся созвездиям ГНСС с СКП (P 95 %) не хуже 0,10 м, что подтверждается результатами вышеуказанной серии наблюдений.

Завершающая серия предварительного этапа тестирования, выполненная с 23.09 на 24.09 (серия 2.8 в табл. 2), момент начала высокоточного режима PPP/RTK Float которой приведён на рис. 22, вообще целиком прошла без участия в PPP-решении спутников ГНСС «ГЛОНАСС» только с использованием созвездия из трех ГНСС GPS+GALILEO+BEIDOU.

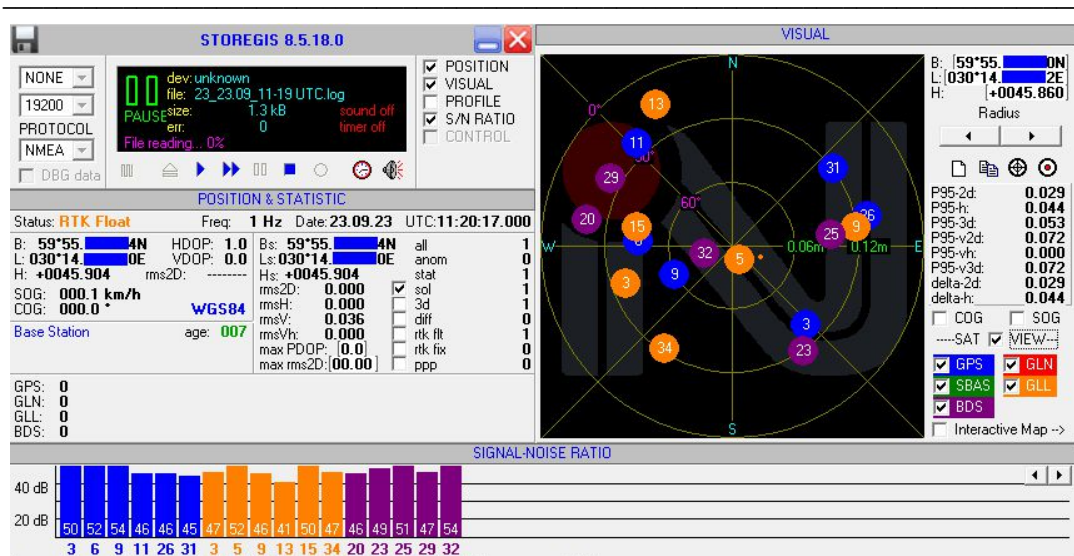


Рис. 22. Начало серии 2.8 (момент входа НАП «ОС-113» в высокоточный режим PPP/RTK Float) 23.09.2023 в 11:20:17 UTC с использованием созвездия GPS+GALILEO+BEIDOU, но без спутников ГНСС ГЛОНАСС

Полученные в результате статистической обработки серии 2.8 среднеквадратические погрешности и величины отклонений от координат Опорной точки «POINT», приведенные в табл. 2 и на рис. 23: СКП (P95%)2D составила 0,080 м, СКП (P95%) H по высоте – также 0,080 м, отклонение в плане delta 2D = 0,027 м, отклонение по высоте delta H = 0,000 м, – подтверждают возможность получения PPP-решений (вычисления высокоточных координат антенны приёмника) при исключении из PPP-решений спутников одного из доступных созвездий ГНСС. В нашем случае в течение всей продолжительности серии 2.8 из PPP-решений были исключены спутники ГНСС «ГЛОНАСС».

Анализ, выполненный специалистами разработчика НАП «ОС-113» компании «Ориент Системз», показал, что исключение из PPP-решения спутников ГНСС ГЛОНАСС было вызвано незначительной логической ошибкой в алгоритме «ОС-113». В свою очередь, исключение спутников ГНСС БЕЙДОУ из PPP-решения согласно информации, полученной от специалистов АО «ГЛОНАСС», было связано с работами по оптимизации формата передачи поправок для ГНСС БЕЙДОУ, проводившимися на PPP-сервере АО «ГЛОНАСС». Наложение вышеуказанных обстоятельств потребовало выполнения соответствующей модернизации ПО. Следует отметить, что необходимые обновление и перепрошивка ПО НАП «ОС-113» были оперативно выполнены специалистами компании «Ориент Системз».

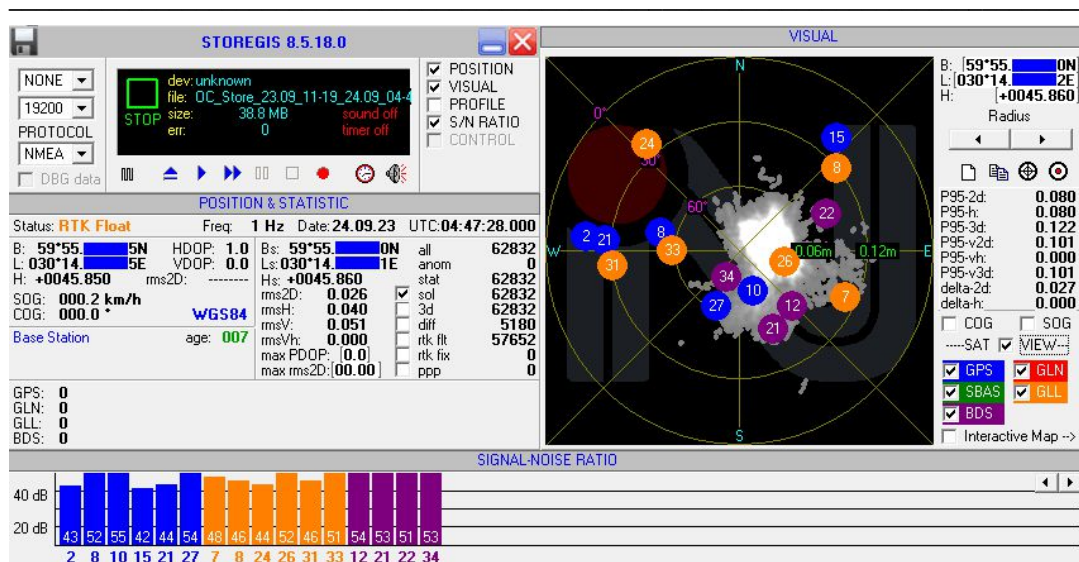


Рис. 23. Завершение серии 2.8 (момент выхода НАП «ОС-113» из высокоточного режима PPP/RTK Float) 24.09.2023 в 04:47:28 UTC с использованием созвездия GPS+GALILEO+BEIDOU без спутников ГНСС ГЛОНАСС

После установки обновленной версии ПО НАП «ОС-113» в период с 25 сентября по 22 ноября 2023 г. была успешно реализована основная программа тестирования PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС», в ходе выполнения которой исключений из PPP-решений спутников ГНСС ГЛОНАСС и БЕЙДОУ, также, как и спутников GPS и ГАЛИЛЕО, не наблюдалось, а продолжительность непрерывных высокоточных PPP-серий достигла 3–7 суток. Подробные результаты основной программы тестирования PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС» с анализом точности PPP-решений будут представлены в следующей статье, которую авторы планируют опубликовать в очередном номере журнала «Навигация и гидрография».

В заключение на основе полученных результатов можно сделать вывод о соответствии определённых в ходе предварительного тестирования среднеквадратических погрешностей СКП всех высокоточных PPP-серий, которые приведены в табл. 2, значениям Горизонтальной и Вертикальной точности, заявленным в Технической спецификации PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС»: СКП (P95 %) 2D в плане составили от 0,041 м до 0,088 м, СКП (P95 %) H по высоте – от 0,068 м до 0,166 м (при этом максимальное значение 0,166 м зафиксировано в серии с исключением из PPP-решения спутников ГЛОНАСС и БЕЙДОУ и возрастом поправок до 94 с).

Также необходимо отметить, что после выполнения специалистами АО «ГЛОНАСС» работ по оптимизации формата передачи поправок для ГНСС БЕЙДОУ высокоточные PPP-поправки для ГНСС БЕЙДОУ стали приниматься от PPP-сервера АО «ГЛОНАСС» не только НАП «ОС-113», но и НАП «ГЕО-РС», что было подтверждено на завершающем этапе основной программы тестирования PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС», результаты которой, как отмечено выше, будут представлены в следующей статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смолин В. М., Решетняк С. В., Онищенко О. Л. Проблемы высокоточного координирования гидрографических и других морских работ в акватории Северного морского пути в условиях санкционных ограничений и пути их решения. Часть I. Системы передачи дифференциальных корректирующих поправок и проблемы высокоточного координирования в акватории Северного морского пути в условиях санкционных ограничений // Навигация и гидрография. – 2022. – № 69. – С. 7–25.
2. Миляков Д. Ф., Каретников В. В., Щесняк С. С., Биденко С. И. Автономные системы навигации Обской губы // Морская радиоэлектроника. – 2020. – № 3 (73) – С. 14–19.
3. Quasi-zenith satellite system interface specification centimeter level augmentation service / Спецификация интерфейса функционального дополнения системы QZSS сантиметрового уровня точности., Cabinet Office, Government of Japan, Tokyo, Document IS-QZSS-L6-004, July 14, 2021. URL: <https://qzss.go.jp/en/technical/download/pdf/ps-is-qzss/is-qzss-l6-004.pdf>. Дата обращения 16.08.2023.
4. Региональная навигационная спутниковая система QZSS. Официальный сайт Прикладного потребительского Центра Государственной корпорации «Роскосмос», раздел «О навигации» – Современные ГНСС. URL: <https://glonass-iac.ru/guide/gnss/qzss.php>. Дата обращения 24.08.2022.
5. Церемония запуска системы глобального сервиса точного позиционирования в реальном времени компании Hi-Target (Hi-RTP). Материалы 10-й Китайской конференции по спутниковой навигации, 22-25 мая 2019 года. URL: <http://www.demetra5.kiev.ua/ru/info/articles/Hi-RTP> Дата обращения 24.08.2023.
6. Galileo High Accuracy Service (HAS) is now Operational, published by EUSPA 24 January 2023 / European Union Agency for the Space Program. URL: <https://www.euspa.europa.eu/newsroom/news/galileo-high-accuracy-service-now-operational> Дата обращения 23.08.2023.
7. Kouba Jan. A Guide to Using International GNSS Service (IGS) Products, Updated September 2015 34 p. URL: https://files.igs.org/pub/resource/pubs/UsingIGSProductsVer21_cor.pdf. Дата обращения 22.08.2023.
8. Rizos C., Janssen V., Roberts C., Grinter T. Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End? // Proceedings of FIG Working Week, Rome, 6–10 May 2012. – Rome, 2012. – Pp. 1–17. URL: https://www.researchgate.net/publication/277997482_Precise_Point_Positioning_Is_the_era_of_differential_GNSS_positioning_drawing_to_an_end. Дата обращения 28.08.2023.
9. Choy S., Bisnath S., Rizos C. Uncovering common misconceptions in GNSS precise point positioning and its future prospect // GPS Solutions. – 2017. – January. – No. 21(1). Pp.13–22. doi.org/10.1007/s10291-016-0545-x. URL: https://www.researchgate.net/publication/303462654_Uncovering_common_misconceptions_in_GNSS_Precise_Point_Positioning_and_its_future_prospect. Дата обращения 29.08.2023.
10. Glaner M., Weber R. PPP with integer ambiguity resolution for GPS and Galileo using satellite products from different analysis centers // GPS Solutions. – 2021. – No 25.P. 102. doi.org/10.1007/s10291-021-01140-z. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10291-021-01140-z>. Дата обращения 29.08.2023.
11. Бетанов В. В., Вовасов В. Е., Воропаева А. В. Метод высокоточного позиционирования потребителей информации спутниковых систем // Правовая информатика. – 2020. – № 3. С. 53–64. DOI: 10.21681/1994-1404-2020-3-53-64.
12. Bisnath S. Aggrey J., Seepersad G., Gill M. Innovation: Examining precise point positioning now and in the future // GPS World, – 2018. – March 19. URL: <https://www.gpsworld.com/innovation-examining-precise-point-positioning-now-and-in-the-future/> Последнее обращение 05.09.2023.
13. Seepersad G., Bisnath S. Challenges in Assessing PPP performance // Journal of Applied Geodesy. – 2014. – No 8(3). – Pp. 205–222. URL: https://garrett.seepersad.org/publications/Seepersad_et_al_2014_JAG.pdf Дата обращения 31.08.2023.
14. Черняковский Д., Зиновьев А., Мамаев А., Юрьев К., Новичков А., Жуков С., Карцев В. Реализация режима позиционирования PPP в ГНСС-приемниках компании НТЛаб // Электроника. – 2020. – 3 (00194). С. 114–120. DOI: 10.22184/1992-4178.2020.194.3.114.120. URL: https://www.electronics.ru/files/article_pdf/8/article_8150_651.pdf. Дата обращения 04.09.2023.
15. Гайва Е. АО «ГЛОНАСС» представило российский сервис высокоточной навигации (по Интервью Генерального директора АО «ГЛОНАСС» И. Милашевского на Восточном

- экономическом форуме, Владивосток, 5–8 сентября 2022 года). Сайт Российской газеты. URL: <https://rg.ru/2022/09/07/ao-ghonass-predstavilo-rossijskij-servis-vysokotochnoj-navigacii.html>. Дата обращения 6.09.2023.
16. Официальный сайт акционерного общества «ГЛОНАСС». Раздел PPP. URL: <https://ppp.aoglonass.ru>. Дата обращения 6.09.2023.
 17. Teunissen P. J. G., Montenbruck O. (Eds.). Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer International Publishing AG, 2017, 1327 p. URL: <https://books.google.ru/books?id=93goDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false> Дата обращения 11.09.2023.
 18. Leick A., Rapoport L., Tatarnikov D. GPS Satellite Surveying, Fourth Edition. Chapter 6. GNSS Positioning Approaches. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2015. Pp. 357–403. URL: <https://www.freepdfbook.com/gps-satellite-surveying/> Последнее обращение 7.09.2023.
 19. Официальный сайт АО «Конструкторское бюро навигационных систем», Санкт-Петербургский филиал. Раздел – Главная/Каталог/Коммерческое назначение/Геодезическая аппаратура/РС. URL: <http://navis.inwin.ru>. Дата обращения 9.09.2023.
 20. IGS State Space Representation (SSR) Format, Version 1.00. International GNSS Service (IGS), October 05, 2020. URL: https://files.igs.org/pub/data/format/igs_ssr_v1.pdf. Дата обращения 12.09.2023.
 21. Официальный сайт компании «Ориент Системз», Раздел – продукты. <https://orsyst.ru/receivers/oc-113> Дата обращения 09.10.2023.
 22. Руководство пользователя для ГНСС приёмника 4GNSS OC-113. Orient Systems, июнь 2023. – 82 с.

THE PROBLEMS OF HIGH-PRECISION POSITIONING OF HYDROGRAPHIC AND OTHER MARINE WORKS IN THE NSR WATERS UNDER SANCTIONS RESTRICTIONS AND WAYS TO SOLVE THEM. PART II. RUSSIAN INNOVATIVE PRECISE POINT POSITIONING SERVICE FROM GLONASS JSC

V. M. Smolin, S. V. Reshetnyak (“GNINGI” JSC), **D. F. Milyakov** (Navigation Systems “Navis” JSC), **O. L. Onishchenko** (“Navgeocom DifService Group” LLC)

In the previously published first part of the article the capabilities of various global and regional satellite systems for transmission of differential corrections and current problems of high-precision positioning of hydrographic and other types of marine works in the waters of the Northern Sea Route under sanctions restrictions were considered. In the second part of the article the features of the main variants of the Precise Point Positioning method and the domestic technology of Precise Point Positioning (PPP) developed by the Russian company GLONASS JSC and tested in the waters of the Northern Sea Route are considered. The results of preliminary testing of PPP-service from GLONASS JSC are given, which allows to solve the problem of foreign providers of similar services leaving the Russian market.

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

УДК 528.94

РОЛЬ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА В ОБОСНОВАНИИ РАСШИРЕННОГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ТИХОМ И СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНАХ

**Г. Н. НЕПОМИЛУЕВ, С. С. СТАРОТИТОРОВ (УНиО МО РФ),
В. Б. ГЛЕБОВ (ВНИИОкеангеология),
А. М. ШАРКОВ (АО «ГНИНГИ»)**

В статье в хронологической последовательности раскрыты основные работы, организованные и выполненные специалистами ГС ВМФ, из общего комплекса мероприятий по обоснованию внешних границ континентального шельфа Российской Федерации в Тихом и Северном Ледовитом океанах.

Часть 1. Анализ положений международных документов по определению границ континентального шельфа прибрежных государств

В современном международном праве практически все аспекты пользования и освоения различных зон Мирового океана, в том числе и распространение юрисдикции прибрежных государства на континентальный шельф регулируются Конвенцией ООН по морскому праву 1982 г. (Конвенция), которая представляет собой обобщенный основополагающий документ, регламентирующий все аспекты морской деятельности, включая и разграничение морских пространств. Конвенция была принята на III Конференции ООН по морскому праву в 1982 г. и вступила в силу в 1994 г. Таким образом, впервые в истории подведены международно-правовые основы под все важнейшие виды деятельности государств в Мировом океане, в том числе и на морском дне.

Конвенция предусматривает установление прибрежными государствами территориального моря шириной до 12 морских миль, где они осуществляют свой суверенитет, но обязаны обеспечивать традиционное право мирного прохода судов других государств. За пределами территориального моря допускается установление исключительной экономической зоны (ИЭЗ) шириной до 200 морских миль, в пределах которой прибрежное государство осуществляет свои права и юрисдикцию в отношении рыболовства и эксплуатации неживых ресурсов, сохраняя свободу мореплавания.

Конвенцией существенно расширена юрисдикция прибрежного государства в отношении разведки и эксплуатации минеральных ресурсов в районах, прилегающих

к его побережью, то есть в пределах континентального шельфа. До принятия Конвенции континентальным шельфом прибрежного государства считалась мелководная полоса вдоль побережья до глубин 200–250 метров, так называемый географический шельф.

В Конвенции отражены следующие основные положения по установлению внешней границы континентального шельфа прибрежными государствами (ст.76) [1].

1. Континентальный шельф включает в себя морское дно и недра подводных районов, простирающихся за пределы его территориального моря на всем протяжении естественного продолжения его сухопутной территории до внешней границы подводной окраины материка или на расстояние 200 морских миль от исходных линий, от которых отмеряется ширина территориального моря, когда внешняя граница подводной окраины материка не простирается на такое расстояние (п.1). Исходя из этого, подводные районы сухопутной территории состоят из поверхности и недр шельфа, склона и подъема (рис. 1). Они не включают дно океана на больших глубинах, в том числе его океанические хребты или его недра (п. 3).

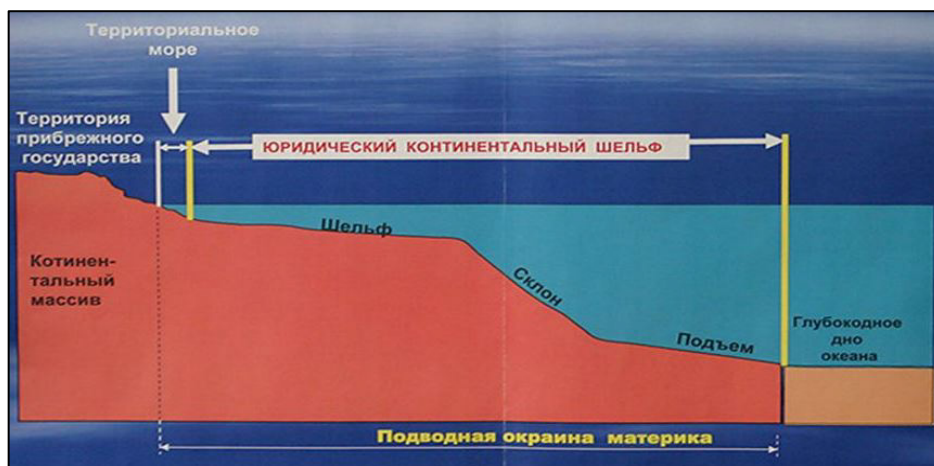


Рис. 1. Морфологические структуры подводной окраины материка

Согласно Конвенции прибрежное государство устанавливает внешние границы своего континентального шельфа в пределах 200 морских миль самостоятельно, ни с кем не согласовывая, тем самым распространяя свою юрисдикцию в отношении минеральных ресурсов в пределах всей 200-мильной зоны.

Если же подводная окраина материка простирается далее 200 морских миль, то прибрежное государство устанавливает внешние границы своего континентального шельфа на основе рекомендаций Комиссии ООН по внешней границе континентального шельфа (Комиссия ООН), создаваемой в соответствии с Конвенцией (приложение II). В этом случае юрисдикция прибрежного государства на минеральные ресурсы распространяется за пределы 200-мильной зоны, до внешней границы подводной материковой окраины.

2. В соответствии с Конвенцией подводная окраина материка (внешняя граница континентального шельфа) прибрежного государства определяется с помощью двух формульных линий (критерия) (рис. 2):

- установление линии подводной окраины материка (ВГКШ) путем отсчета от наиболее удаленных фиксированных точек, в каждой из которых толщина осадочных пород составляет по крайней мере 1 (один) процент кратчайшего расстояния от этой точки до подножия континентального склона (ПКС);
- установление линии подводной окраины материка (ВГКШ) путем отсчета 60 морских миль от ПКС.

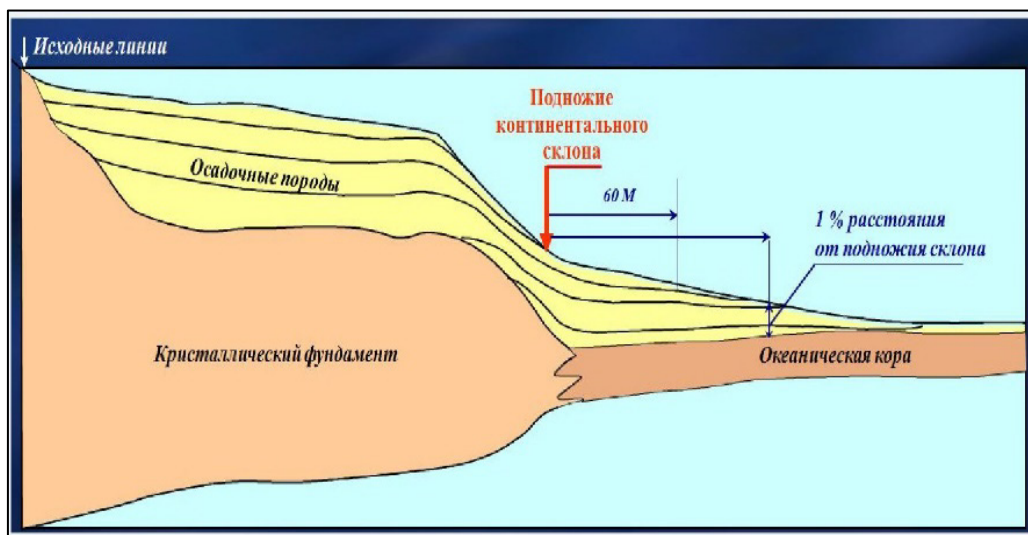


Рис. 2. Критерии установления внешней границы континентального шельфа прибрежным государством

При определении континентального шельфа по приведенным формульным линиям прибрежным государством выбираются та линия, которая наиболее удалена от ПКС. Очевидно, что на распространение континентального шельфа большое влияние будет оказывать методика определения положения точки ПКС. В соответствии с Конвенцией ПКС определяется как точка максимального изменения уклона дна в основании континентального склона (ОКС), если нет доказательств об обратном. Доказательство об обратном предполагает определение ПКС с использованием геолого-геофизической информации, что во многом сложнее.

ВГКШ устанавливается прибрежным государством прямыми линиями, не превышающими в длину 60 морских миль и соединяющими фиксированные точки, определяемые с помощью координат широты и долготы. Следовательно, ВГКШ представляет собой отрезки прямых линий, не превышающие 60 морских миль, соединяющие точки с координатами на профилях.

3. Конвенцией установлены два критерия, которые ограничивают распространение континентального шельфа, за которые континентальный шельф прибрежного государства не может распространяться:

- 350 морских миль от исходных линий прибрежного государства;
- 100 миль от изобаты 2500 метров.

При этом ограничительный критерий 100 миль от изобаты 2500 метров, распространяется только на подводные возвышенности, которые являются естественными компонентами материковой окраины (плато, поднятия, вздутия, банки

и отроги). На все остальные структуры (поверхности) подводной окраины материка, включая подводные хребты, распространяется ограничитель 350 миль от исходной линии прибрежного государства (пп. 5, 6). Это важнейшее положение, так как оно во многом определяет размеры континентального шельфа, величину его площади.

Таким образом, основными положениями Конвенции, от которых в максимальной степени зависит площадь континентального шельфа прибрежного государства являются классификация подводных поднятий и определение зоны ОКС, в пределах которой определяется точка максимального изменения уклона дна – ПКС.

В развитие Конвенции Комиссией разработано Научно-техническое руководство (НТР) [1].

В НТР относительно этих основных положений изложено следующее.

Относительно хребтов в НТР отмечается, что мнение Комиссии «будет основываться на таких научных и правовых соображениях, как естественное продолжение сухопутной территории и континентального массива, морфология хребтов и их отношение к материковой окраине, а также на непрерывности хребтов» (п. 7.2.10).

Что касается подводных возвышенностей, то при их обосновании в отличие от подводных хребтов необходимо показать не только связь с подводной окраиной материка и ее непрерывность на всем протяжении, но и то, что подводная возвышенность является естественным компонентом материковой окраины (п.7.3.1), то есть показать «геологическую идентичность» подводной возвышенности с сопряженной материковой окраиной.

В НТР предусматривается двухэтапное определение ПКС: сначала необходимо определить зону ОКС, а затем на участке ОКС определяется местоположение точки максимального изменения уклона морского дна. Эта точка и будет являться точкой ПКС, от которой определяется точка подводной окраины материка, то есть граница континентального шельфа прибрежного государства за пределами 200 мильной зоны.

Для определения ОКС в качестве «общего правила» во всех случаях Комиссия ООН рекомендует использовать батиметрические и морфологические данные, при этом геологические и геофизические данные также могут использоваться в качестве дополнительных сведений, подтверждающих ОКС в данном месте (п. 5.4.6).

Определение точки ПКС осуществляется только с использованием батиметрической информации в зоне ОКС, с помощью математического анализа двумерных профилей и трехмерных батиметрических моделей. В особых случаях, когда в ОКС определяется целый ряд точек максимального изменения уклона и трудно определить ПКС, может использоваться и быть представлена геологическая и геофизическая информация, так называемой «метод от обратного» (п.6.3.4).

Батиметрическая информация (измеренные глубины рельефа морского дна) необходима [2]:

- для определения ОКС, а затем ПКС;
- для классификации хребта в качестве подводного, имеющего связь с окраиной материкового склона и являющимся его продолжением;
- для классификации поднятий в качестве подводных возвышенностей;
- для определения изобаты 2500 м с целью получения ограничительной линии.

Часть 2. Основные мероприятия, организованные и выполненные специалистами гидрографической службы ВМФ в ходе работ по обоснованию границ континентального шельфа Российской Федерации

Гидрографическая служба Военно-Морского Флота (ГС ВМФ) является основной организацией по обеспечению безопасности мореплавания в стране, изданию морских навигационных карт, руководств и пособий для плавания, она располагает самой обширной цифровой базой батиметрических данных [3].

Во второй половине XX века бурное экономическое развитие Арктического региона потребовало детального изучения центральной части Северного Ледовитого океана. Данная задача Советом Министров СССР была возложена на Военно-Морской Флот.

В начале 1960-х годов начала активно формироваться база батиметрических данных по Арктическому бассейну.

С 1961 по 1989 годы гидрографической службой Северного флота во взаимодействии с учеными различных ведомств были организованы комплексные исследования, которые проводились на дрейфующем льду Северного Ледовитого океана. В решении задачи активное участие приняли специалисты НИИ Геологии Арктики (впоследствии преобразованного во ФГБУ «ВНИИОкеангеология»), которые предложили новую технологию картографирования рельефа дна в условиях сплошного ледового покрова. Технология основана на комплексном использовании геофизических методов (аэромагнитной съемки, сейсмозондирования) и традиционного метода с использованием эхолотов. Глубины, измеренные эхолотом, использовались и для повышения точности измерения глубин, полученных методом сейсмозондирования.

В удаленных и труднодоступных районах, где невозможно было использовать авиадесантный метод из-за недостаточно крепкого льда, гидрографические исследования проводились с атомных подводных лодок исключительно личным составом ГС ВМФ.

В этот период гидрографической службой Северного Флота (ГС СФ) было проведено 29 высокоширотных воздушных экспедиций (ВШЭ), во многих из них принимали участие сотрудники ФГБУ «ВНИИОкеангеология», произведены десятки тысяч измерений глубин, гравитационного и магнитного поля Земли на общей площади более 4 миллионов квадратных километров, в походах атомных подводных лодок выполнено около 92 000 линейных километров промера и гравиметрической съемки.

В результате удалось создать достаточно полную геоморфологическую картину дна Северного Ледовитого океана и его геофизических полей, обнаружить и описать более 150 географических объектов, 43 из которых получили имена гидрографов и судов Северного флота. Проведенные исследования позволили не только создать коллекцию морских навигационных карт на акваторию Северного Ледовитого океана, выявить главные морфологические структуры дна Арктического бассейна, включая открытие хребта Гаккеля, но и получить первые достоверные сведения о мощности осадочного чехла и глубинном геологическом строении.

Современные сведения о центральной части океана базируются в основном на результатах этих комплексных исследований.

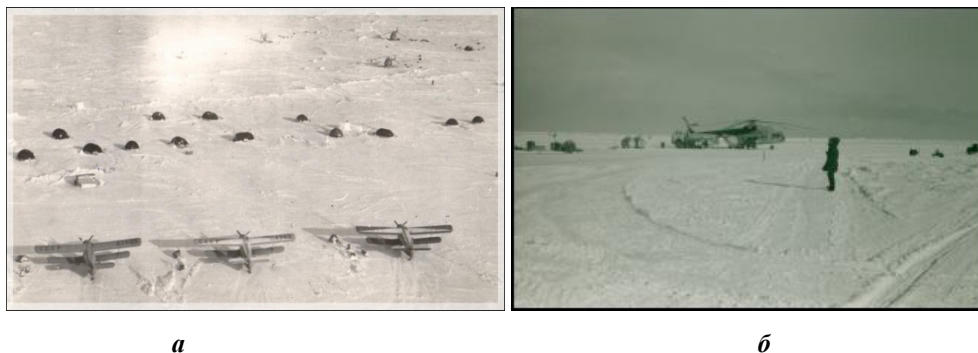


Рис. 3. Общий вид ледовых баз XX века: а – сезонные ледовые базы высокоширотных экспедиций (ВВШЭ «Север-62»), б – Ледовая база в районе хребта Ломоносова

В 1999 году на основе полученных батиметрических данных специалистами 280 Центрального картографического производства ВМФ (впоследствии преобразованного в ФКУ «280 ЦКП ВМФ») разработана карта «Рельеф дна Северного Ледовитого океана» № 91115, которая в дальнейшем использована для подготовки Представления Российской Федерации по обоснованию ВГКШ [4].

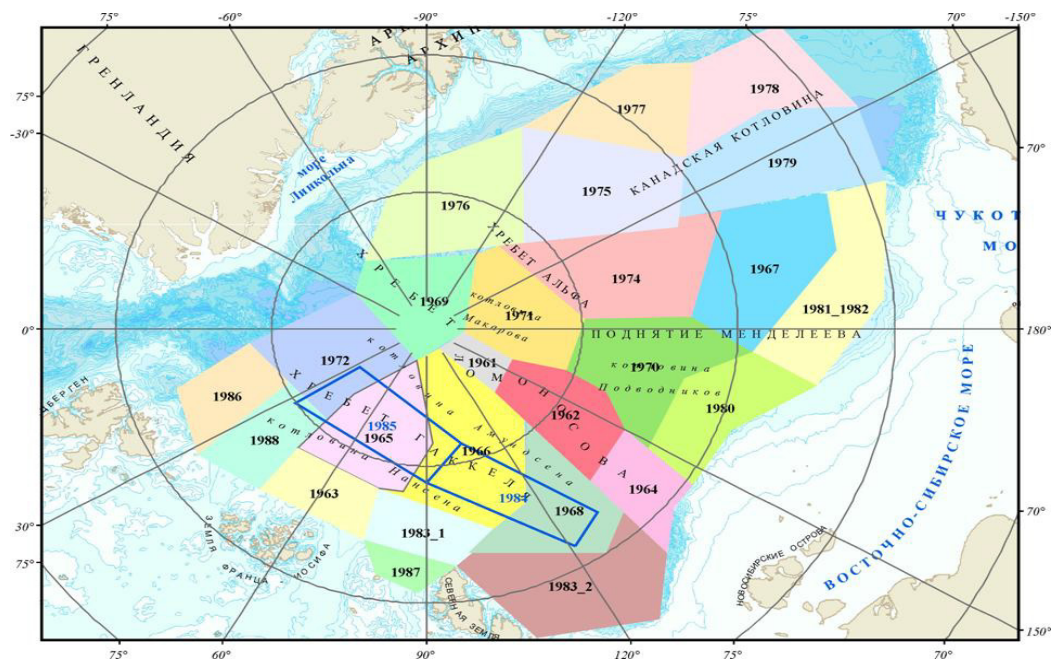


Рис. 4. Районы батиметрической съемки ГС СФ в СЛО по годам выполнения

В 1997 г. Правительство Российской Федерации поручило Министерству природных ресурсов Российской Федерации и Министерству обороны Российской Федерации решить важную государственную задачу по обоснованию ВГКШ нашей страны. Учитывая, что определение ВГКШ связано, прежде всего, с решением геологических проблем на основе геолого-геофизических и батиметрических данных, Постановлением Правительства Российской Федерации № 717 от 16 июня 1997 г.

головным исполнителем было определено Минприроды России. Ответственным исполнителем от Минприроды России определены Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра) с ФГБУ «ВНИИОкеангеология». Исполнителем от Минобороны России определена ГС ВМФ, располагающая базой батиметрических данных, под общим руководством Управления навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации (УНиО МО РФ).

В 2001 г. при подготовке Представления в Комиссию ООН в отношении континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане (Представление по СЛО) использовались в основном батиметрические и сейсмические данные, полученные ГС ВМФ с участием ФГБУ «ВНИИОкеангеология» в XX веке в ходе выполнения высокоширотных экспедиций для решения различных задач, не связанных с определением ВГКШ. Данные носили закрытый характер и были представлены в аналоговой форме на бумажном носителе. Специалисты ГС ВМФ (280 ЦКП ВМФ и 9 института ВМФ, впоследствии преобразованного в АО «ГНИНГИ»), провели огромную работу по переводу батиметрической информации в цифровую форму с целью использования в интересах обоснования ВГКШ, а сотрудники ФГБУ «ВНИИОкеангеология» участвовали в переводе сейсмической информации, которая хранилась в ГС ВМФ (сейсмограмм), в цифровую форму (рис. 5).

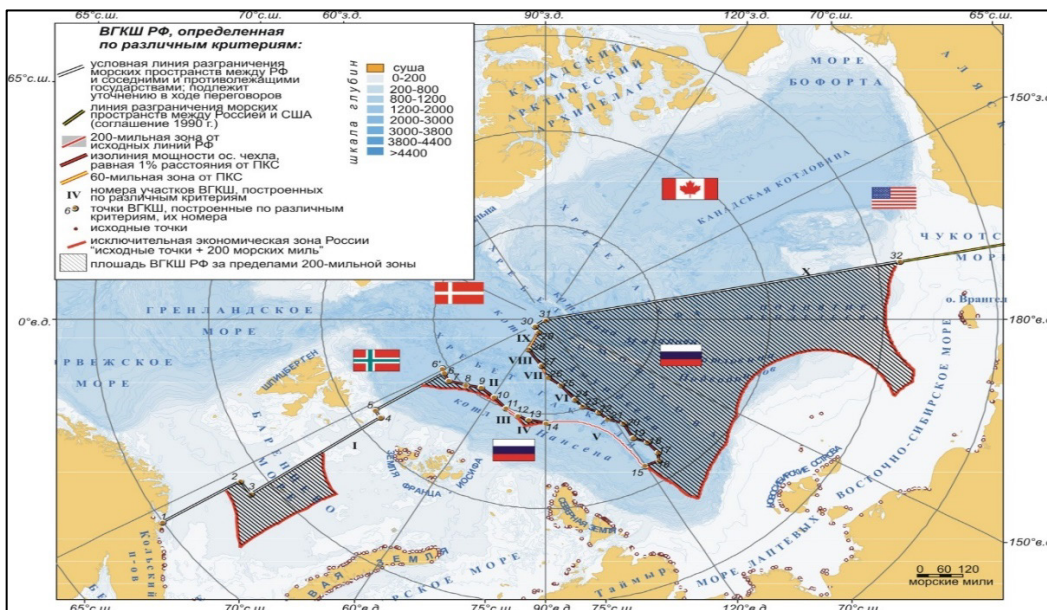


Рис. 5. Границы ВГКШ в СЛО в Представлении РФ 2001 г.

Учитывая, что специальные работы в СЛО не проводились, а представленные данные выполнены по устаревшим технологиям, они не удовлетворили Комиссию ООН по объему и точности выполненных работ. Представление по СЛО было отклонено. Действительно, данные были получены в основном по устаревшим методикам, без использования средств космической навигации. Кроме того, первичные (исходные) данные, на основе которых выполнено обоснование ВГКШ за

пределами 200-мильной зоны, носили закрытый характер и Комиссии ООН не предъявлялись.

В 2010, 2011 и 2014 гг. для устранения выявленных недостатков Минприроды России были организованы три экспедиции в Арктическом бассейне (основной исполнитель – АО «ГНИНГИ»), в которых проводились батиметрические и геофизические исследования, учитывающие требования современных международных стандартов [5, 6], полученные данные об измеренных глубинах были переданы в ГС ВМФ для пополнения и корректуры базы данных.

В то же время по Тихоокеанскому бассейну база данных была получена по современным технологиям, и у членов Комиссии ООН особых претензий к российским материалам не было. Комиссией ООН было рекомендовано представить дополнительные батиметрические данные по анклаву Охотского моря и согласовать справочные материалы российской заявки в части Охотского моря с Японией в связи со спорными островами.

Гидрографическая служба Тихоокеанского флота (ГС ТОФ) оперативно провела гидрографические исследования, откорректировала базу данных по Охотскому морю, а сотрудниками ФГБУ «ВНИИОкеангеологии» из справочных материалов были убраны спорные острова. На переговорах с представителями Японии претензий к новым схемам не возникло. В итоге Представление в Комиссию ООН в отношении континентального шельфа Российской Федерации в Охотском море Комиссией ООН было одобрено, в результате чего площадь континентального шельфа Российской Федерации в Охотском море увеличилась на 56 тыс. кв. км (рис. 6).

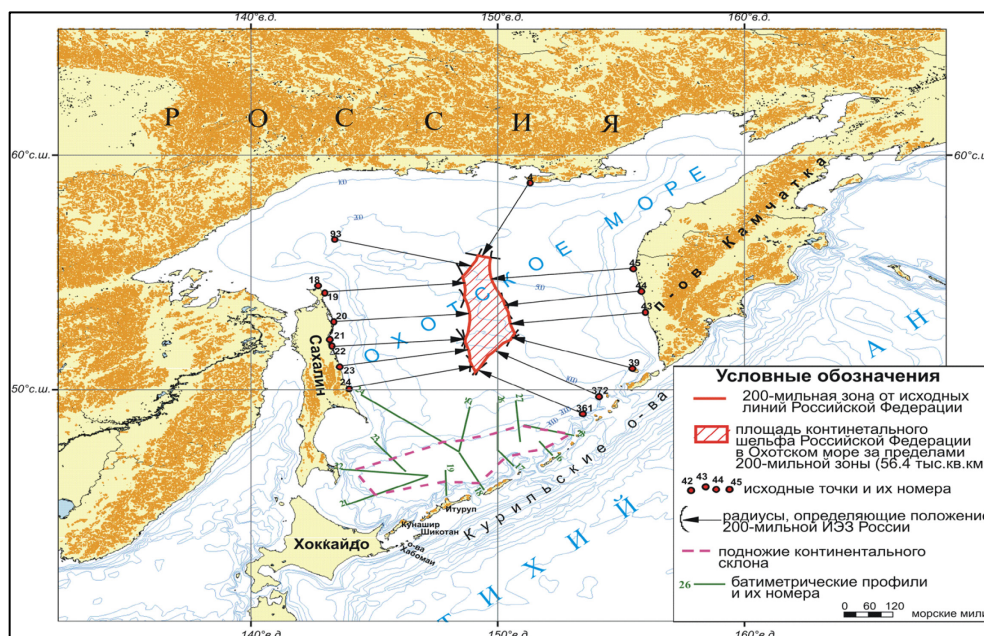


Рис. 6. Анклав в Охотском море, вошедший в общую площадь континентального шельфа Российской Федерации по итогам работ ГС ВМФ

Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 августа 2015 г. № 845 акватория Охотского моря полностью перешла под юрисдикцию Российской Федерации.

Тем временем ФГБУ «ВНИИОкеангеология» с участием УНИО МО, ФКУ «280 ЦКП ВМФ» и АО «ГНИНГИ» на основе ретроспективной базы данных XX века и всех новых, полученных в XXI веке, батиметрических и геофизических данных, было разработано и оформлено частично пересмотренное Представление в Комиссию ООН в отношении континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане (частично пересмотренное Представление по СЛО), которое передано в 2015 году в Комиссию ООН (рис. 7).

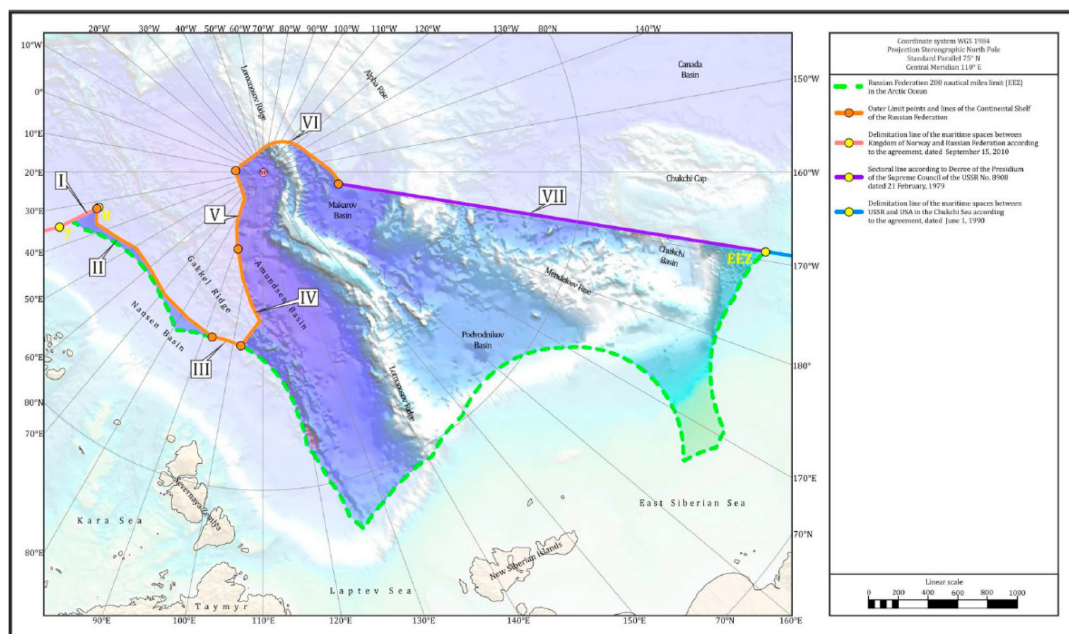


Рис. 7. Границы ВГКШ в СЛО в частично пересмотренном Представлении Российской Федерации 2015 г.

С 2016 г. частично пересмотренное Представление по СЛО регулярно рассматривалось на заседаниях Комиссии ООН с участием делегации Российской Федерации, назначенной распоряжением Правительства Российской Федерации от 15 января 2016 г. № 16-р. По результатам рассмотрения Комиссией ООН высказаны новые рекомендации и предложения российской стороне по доработке частично пересмотренного Представления по СЛО.

С целью реализации рекомендаций и предложений Подкомиссии ООН в 2019 и 2020 гг. ГС ВМФ организованы две комплексные исследовательские экспедиции в продолжение работ по уточнению координат ВГКШ в СЛО. Исследования проходили в двухсудовом варианте под проводкой атомного ледокола в широкой кооперации научно-исследовательских организаций (головной исполнитель – АО «ГНИНГИ») под общим руководством Главного командования Военно-Морского Флота.

Основной целью экспедиций являлось проведение батиметрических измерений с помощью многолучевого эхолота по профилям, определенным Минприроды России.

В дополнение к батиметрическим исследованиям проводились измерения силы тяжести и сейсмическое профилирование.

В 2019 г. комплексные исследования проводились на хребте Гаккеля (рис. 8).



Рис. 8. Схема выполненных профилей в 2019 году

В 2020 г. комплексные исследования проводились в Канадской котловине и хребте Гаккеля (рис. 9).



Рис.9. Схема выполненных профилей в 2020 году

По полученным в 2019 и 2020 гг. данным ФКУ «280 ЦКП ВМФ» откорректирована база батиметрических данных, созданная для обоснования ВГКШ в СЛЮ. База батиметрических данных на СЛЮ разработана с учетом около 50 000 лин. км современной многолучевой съемки рельефа морского дна (рис. 10). База данных

используется не только для решения задач по обоснованию ВГКШ, но и с целью обеспечения безопасности северных рубежей РФ.

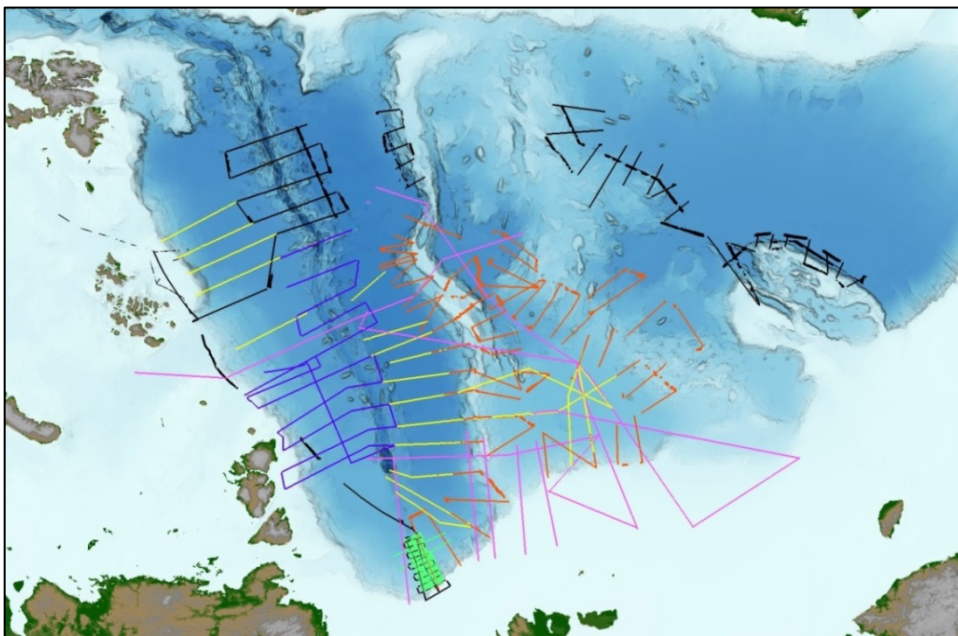


Рис.10. Общая схема профилей в ходе выполнения работ по обоснованию ВГКШ по состоянию на 2023 г.

В процессе работы над частично пересмотренным Представлением по СЛО ГС ВМФ дважды переиздавала карту «Рельеф дна Северного Ледовитого океана» № 91115 масштаба 1:2 500 000. Карта, уточненная по дополнительно полученным данным, активно используется Комиссией ООН и делегацией Российской Федерации в бумажном и электронном виде.

Кроме того, получены современные гравиметрические данные в объеме около 26 000 лин. км на большой площади в центральной части СЛО, которые переданы в ФКУ «280 ЦКП ВМФ» для пополнения базы гравиметрических данных в интересах ВМФ.

По итогам работ 2019–2020 гг. Минприроды России (ФГБУ «ВНИИОкеангеология») с активным участием УНиО МО РФ подготовлено Дополнение № 1 по Евразийскому бассейну и Дополнение № 2 по Американо-Канадскому бассейну, включая Канадскую котловину, к частично пересмотренному Представлению по СЛО, которые переданы Генеральному секретарю ООН в 2021 г.

На протяжении работы в 2021–2022 гг. на заседаниях Подкомиссии ООН:

- по Дополнению № 1 получены замечания о необходимости предоставить дополнительные данные по обоснованию хребта Гаккеля как подводного хребта, имеющего связь с материковым склоном, и показать его непрерывность на всем своем протяжении, до датского шельфа;
- по Дополнению № 2 Подкомиссия ООН согласилась с предложениями делегации Российской Федерации, составленными с учетом предыдущих

рекомендаций и предложений, и представила свое заключение в Комиссию ООН для принятия окончательного решения.

На 57 сессии 6 февраля 2023 г. Комиссия ООН высоко оценила частично пересмотренное Представление по СЛО с учетом Дополнения № 2 по Амеразийскому бассейну за исключением района, граничащего с США.

В настоящее время усилия Роснедра (Минприроды России) и УНиО МО (Минобороны России) направлены на реализацию рекомендаций Подкомиссии ООН по Евразийскому бассейну, изложенных при рассмотрении Дополнения № 1:

– в 2022 году ФГБУ «ВНИИОкеангеология» с участием ГС ВМФ выполнены площадные батиметрические исследования в Евразийском бассейне (южной части хребта Гаккеля) на ОИС «Янтарь» с целью усиления доказательной базы по классификации хребта Гаккеля в качестве подводного хребта;

– ФГБУ «ВНИИОкеангеология» по заданию Роснедра проводит работы по созданию геоморфологической модели Евразийского бассейна с целью обоснования связи хребта Гаккеля с подводной материковой окраиной. ГС ВМФ в обеспечение данной работы организована работа по созданию новых электронных батиметрических карт масштаба 1:500 000 в формате S-57 на основе цифровой базы первичных батиметрических данных;

– рассматриваются возможность и необходимость выполнения дополнительных комплексных исследований в СЛО как в Евразийском, так и в Амеразийском бассейнах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Научно-техническое Руководство Комиссии по границам континентального шельфа // Конвенция Организации Объединенных Наций по Морскому праву. CLCS / 11, 13 Мая 1999 (официальный перевод на русский).
2. Рекомендации Комиссии по границам континентального шельфа в отношении заявки, сделанной Российской Федерацией 20 декабря 2001 г. об информации по предложенной внешней границе ее континентального шельфа за пределами 200 морских миль от 14 июня 2002 г.
3. Сорокин А. И. Теоретические основы гидрографических исследований. – ГУНиО МО, адм. № 9020, 1972. – 195 с.
4. Комарицын А. А. Карта «Рельеф дна Северного Ледовитого океана». Записки по Гидрографии № 251, 2000 г. С. 5–13.
5. IHO Standards for Hydrographic Survey. Special Publication S-44, 1998 // Special Publication No. 44, 4th Edition. – 28 P.
6. A manual on Technical Aspects of the United Nations Convention on the Law of the Sea – 1982. // IHO Special Publication, S-51, 4-th Edition, MONACO, March 2006. 6

THE ROLE OF THE HYDROGRAPHIC SERVICE OF THE RUSSIAN NAVY IN SUBSTANTIATING THE EXTENDED CONTINENTAL SHELF OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE PACIFIC AND ARCTIC OCEANS

G. N. Nepomiluev, S. S. Starotitorov (Navigation and Oceanography Department of the Ministry of Defense of the Russian Federation), **V. B. Glebov** (“VNIIOkeangeologia” FSBI), **A. M. Sharkov** (“GNINGI” JSC)

The article reveals in chronological sequence the main works organized and carried out by specialists of the hydrographic service of the Russian Navy in the interests of substantiating the external boundaries of the continental shelf of the Russian Federation in the Pacific and Arctic Oceans.

**ПРАВОВОЕ ОПИСАНИЕ СИТУАЦИИ ПЕРЕДАЧИ ОТЧЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНОСТРАННЫМ КОМПАНИЯМ**

Н. С. СОКОЛОВ (АО «ГНИНГИ»)

В статье раскрыты правовые особенности передачи материалов морских исследований иностранным компаниям.

Переход к рыночной экономике в России обусловил ее открытость для внешнего мира, включая снятия существенных ограничений на внешнеэкономическую деятельность. *Внешнеэкономическая деятельность* – это предпринимательская деятельность юридических и физических лиц в области международного обмена товарами, услугами, перемещения материальных, финансовых и информационных ресурсов. В соответствии с действующим законодательством *иностранное лицо* – физическое лицо, юридическое лицо или не являющаяся юридическим лицом по праву иностранного государства организация, которые не являются российскими лицами.

Главной целью реформы внешнеэкономической деятельности является отмена монополии государства на внешнюю торговлю и переход к экономическим методам ее регулирования. Появляется новое понятие, которое определяется как *коммерческое присутствие* – любая допускаемая законодательством Российской Федерации или законодательством иностранного государства форма организации предпринимательской и иной экономической деятельности иностранного лица на территории Российской Федерации в целях оказания услуг, в том числе, путем создания юридического лица, филиала или представительства юридического лица либо участия в уставном капитале юридического лица. Российское юридическое лицо, через которое осуществляется коммерческое присутствие, рассматривается как иностранный исполнитель услуг, если иностранное лицо в силу преобладающего участия в уставном капитале российского юридического лица, либо в соответствии с заключенным между ними договором, либо иным образом имеет возможность определять решения, принимаемые российским юридическим лицом. Любые российские и иностранные лица обладают правом осуществления внешнеторговой деятельности. Это право может быть ограничено в случаях, предусмотренных международными договорами Российской Федерации и федеральными законами.

Внешнеэкономические связи нуждаются в регулировании со стороны государства. Внешнеэкономическая функция государства является продолжением его внутрихозяйственной функции, но реализуется в несколько отличной форме. Основной целью вмешательства государства во внешнеэкономическую деятельность является обеспечение экономических и политических интересов страны.

Государственное регулирование распространяется на внешнюю торговлю, научно-технический обмен, международное перемещение информации. Для выхода на внешний рынок предприятию надо знать техническую организацию этой процедуры, которая регламентируется действующей законодательной базой по внешнеэкономической деятельности. В соответствии с Конституцией Российской Федерации руководство внешнеэкономической деятельностью в рамках внешнеэкономической политики осуществляет Президент Российской Федерации, а

исполнение – Правительство Российской Федерации. Федеральное устройство России предполагает распределение полномочий между центральными и местными органами, обеспечивающее единство и целостность внешнеэкономической политики.

В настоящее время наблюдается активное привлечение иностранных судов, оборудования и технологий к выполнению морских исследований на акваториях, находящихся под юрисдикцией Российской Федерации, и осуществление соответствующего международного обмена полученными данными. В связи с ростом взаимной заинтересованности российских и иностранных компаний в совместных проектах и проникновении на рынки других государств наблюдается активизация деятельности государства в области формирования экспорта.

Государственное регулирование внешнеэкономических связей – это совокупность используемых государственными органами и службами форм, методов и инструментов воздействия на экономические отношения между странами в соответствии с государственными и национальными интересами, целями, задачами. Регулирующее воздействие государства осуществляется посредством принятия законов и иных государственных актов, постановлений и решений правительства. Федеральный закон от 08.12.2003 № 164-ФЗ «Об основах государственного регулирования внешнеторговой деятельности» [1] применяется к отношениям в области государственного регулирования внешнеторговой деятельности, а также к отношениям, непосредственно связанным с такой деятельностью. Особенности государственного регулирования внешнеторговой деятельности в области, связанной с вывозом из Российской Федерации продукции военного назначения, товаров, информации, работ, услуг и результатов интеллектуальной деятельности, которые могут быть использованы при создании и использовании вооружения и военной техники, устанавливаются федеральными законами об экспортном контроле и о военно-техническом сотрудничестве Российской Федерации с иностранными государствами.

Применительно к международной торговле как главному объекту регулирования правительства используют инструменты и способы воздействия, которые предусмотрены таможенно-тарифными и нетарифными методами государственного регулирования.

Передача информации иностранной компании подпадает под определение *внешнеторговой деятельности*, т. е. деятельности по осуществлению сделок в области внешней торговли товарами, услугами, информацией и интеллектуальной собственностью.

Внешняя торговля информацией – внешняя торговля товарами, если информация является составной частью этих товаров, внешняя торговля интеллектуальной собственностью, если передача информации осуществляется как передача прав на объекты интеллектуальной собственности, или внешняя торговля услугами в других случаях. Государственные ограничения на экспорт вводятся чаще всего применительно к товарам, в которых остро нуждается сама страна, или на те товары, которые оказывают влияние на безопасность и обороноспособность Российской Федерации.

Основными принципами государственного регулирования внешнеторговой деятельности являются:

- взаимность в отношении другого государства;

– обеспечение выполнения обязательств Российской Федерации по международным договорам Российской Федерации и осуществление возникающих из этих договоров прав;

– обоснованность и объективность применения мер государственного регулирования внешнеторговой деятельности;

– исключение неоправданного вмешательства государства или его органов во внешнеторговую деятельность и нанесения ущерба участникам внешнеторговой деятельности и экономике Российской Федерации;

– обеспечение обороны страны и безопасности государства.

К полномочиям федеральных органов государственной власти в области внешнеторговой деятельности относится:

– формирование концепции и стратегии развития внешнеторговых связей и основных принципов торговой политики Российской Федерации;

– защита экономического суверенитета и экономических интересов Российской Федерации и российских лиц;

– определение порядка вывоза из Российской Федерации товаров, составной частью которых является информация, в том числе, составляющая государственную тайну;

– информационное обеспечение внешнеторговой деятельности федеральных органов государственной власти, ответственных в данной области.

Нетарифные ограничения, которые используются при экспорте информации, представляют собой устанавливаемые государством прямые административные нормы, определяющие содержание и номенклатуру сведений, разрешенных к вывозу. Нетарифные методы регулирования предусматривают использование специальных разрешений на вывоз ряда информационных товаров – лицензий.

Лицензированию подлежат специфические информационные товары, товары двойного назначения, монополия на торговлю которых установлена государством. К таким информационным товарам относятся также отчетные материалы выполненных морских научных и ресурсных исследований. Лицензия выдается на определенное количество товара и действует в течение указанного в ней периода. Обычно лицензии на экспорт выдаются предприятиям, фирмам правительственными или уполномоченными на то специальными государственными органами. Минэкономразвития России формирует и ведет федеральный банк выданных лицензий.

Установлена государственная монополия на торговлю продукцией, для использования которой требуется специальное разрешение, товарами военного и двойного назначения, результатами научных исследований и информацией о недрах по районам и месторождениям топливно-энергетического и минерального сырья. В соответствии с международными договорами Российской Федерации и федеральными законами, исходя из национальных интересов, могут вводиться меры, не носящие экономического характера и затрагивающие внешнюю торговлю товарами, если эти меры необходимы для выполнения международных обязательств Российской Федерации или необходимы для обеспечения обороны и безопасности государства.

В соответствии с действующим законодательством органы государственной власти Российской Федерации, осуществляющие деятельность, связанную с государственным регулированием внешнеторговой деятельности, должны обеспечивать конфиденциальность информации, составляющей государственную,

коммерческую и другую охраняемую законом тайну, и использовать ее только в целях, для которых такая информация предоставлена.

Нетарифное регулирование внешнеэкономической деятельности определяет перечень основных документов, необходимых для получения лицензии на экспорт. В данный перечень в обязательном порядке входит наличие экспертного заключения Минобороны России.

Федеральный закон от 18.07.1999 № 183-ФЗ «Об экспортном контроле» [2] регулирует отношения органов государственной власти Российской Федерации и российских участников внешнеэкономической деятельности при осуществлении экспортного контроля. Действие данного федерального закона распространяется на внешнеэкономическую деятельность в отношении товаров, информации, работ, услуг, результатов интеллектуальной деятельности (прав на них), которые могут быть использованы при создании различных видов вооружения и военной техники либо при подготовке и совершении террористических актов. Вопросы обеспечения экспортного контроля находятся в исключительном ведении Российской Федерации. Российская Федерация проводит государственную политику в области экспортного контроля, которая является составной частью внутренней и внешней политики Российской Федерации и осуществляется исключительно в целях обеспечения безопасности государства, его политических, экономических и военных интересов.

Списки (перечни) контролируемых товаров и технологий утверждаются указами Президента Российской Федерации по представлению Правительства Российской Федерации. Указы Президента Российской Федерации об утверждении списков (перечней) контролируемых товаров и технологий вступают в силу не ранее чем через три месяца со дня их официального опубликования. Действующий список товаров и технологий двойного назначения, которые могут быть использованы при создании вооружений и военной техники и в отношении которых осуществляется экспортный контроль, утвержден указом Президента Российской Федерации от 05.05.2004 № 580 [3].

Экспортный контроль в Российской Федерации осуществляется посредством методов правового регулирования внешнеэкономической деятельности, включающих в себя:

- идентификацию контролируемых товаров и технологий, то есть установление соответствия конкретных материалов, оборудования, научно-технической информации, работ, услуг, результатов интеллектуальной деятельности, являющихся объектами внешнеэкономических операций, товарам и технологиям, включенным в соответствующие списки (перечни);

- разрешительный порядок осуществления внешнеэкономических операций с контролируемыми товарами и технологиями, предусматривающий лицензирование или иную форму их государственного регулирования.

Экспортный контроль осуществляет специально уполномоченный федеральный орган исполнительной власти – Федеральная служба технического и экспортного контроля (ФСТЭК России).

ФСТЭК России является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим реализацию государственной политики, организацию межведомственной координации и взаимодействия, специальные и контрольные функции в области государственной безопасности по вопросам:

- обеспечения безопасности (некриптографическими методами) информации в системах информационной и телекоммуникационной инфраструктуры, оказывающих существенное влияние на безопасность государства в информационной сфере;
 - противодействия иностранным техническим разведкам на территории Российской Федерации;
 - обеспечения защиты (некриптографическими методами) информации, содержащей сведения, составляющие государственную тайну, иной информации с ограниченным доступом, предотвращения ее утечки по техническим каналам, несанкционированного доступа к ней на территории Российской Федерации;
 - осуществления экспортного контроля.
- ФСТЭК России в области экспортного контроля осуществляет следующие полномочия:
- организует с участием заинтересованных федеральных органов исполнительной власти и организаций создание единой информационной системы экспортного контроля и обмен информацией между ФСТЭК России и заинтересованными федеральными органами исполнительной власти;
 - обеспечивает в пределах своей компетенции участие Российской Федерации в международных режимах экспортного контроля;
 - осуществляет мероприятия, направленные на предупреждение нарушений законодательства Российской Федерации об экспортном контроле и международных обязательств Российской Федерации в этой области;
 - организует работу по информированию российских участников внешнеэкономической деятельности о целях, процедурах и правилах осуществления экспортного контроля;
 - участвует в рассмотрении вопросов торгово-экономического и научно-технического сотрудничества Российской Федерации с иностранными государствами в части, касающейся осуществления экспортного контроля;
 - участвует в пределах своей компетенции в подготовке предложений о введении ограничений и запретов на экспорт и импорт товаров, информации, результатов интеллектуальной деятельности, исходя из национальных интересов и международных обязательств Российской Федерации;
 - осуществляет в пределах своей компетенции нетарифное регулирование внешнеторговой деятельности, в том числе выдает лицензии на осуществление операций по экспорту и импорту товаров, информации, результатов интеллектуальной деятельности в случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации;
 - осуществляет в пределах своей компетенции контроль за экспортом и импортом товаров, информации, результатов интеллектуальной деятельности, в отношении которых применяются меры нетарифного регулирования, выдает заключения о применении мер нетарифного регулирования при осуществлении внешнеэкономической деятельности;
 - осуществляет методическое руководство проведением независимой идентификационной экспертизы товаров и технологий и контроль за ее проведением;
 - осуществляет в пределах своей компетенции международное сотрудничество, участвует в проведении мероприятий по международному информационному обмену, а также в разработке и реализации программ международного сотрудничества в области защиты информации, а также в области экспортного контроля.

Органы внешней разведки Российской Федерации, государственные органы обеспечения безопасности и иные органы государственной власти в пределах своей компетенции оказывают содействие специально уполномоченному федеральному органу исполнительной власти в области экспортного контроля при реализации целей, определенных Федеральным законом.

Российские участники внешнеэкономической деятельности несут ответственность за достоверность информации, предоставляемой для целей экспортного контроля федеральным органам исполнительной власти, осуществляющим полномочия в области экспортного контроля.

Информация, составляющая государственную, коммерческую и иную охраняемую законом тайну, не должна разглашаться, использоваться должностными лицами указанных органов в личных целях, передаваться третьим лицам, за исключением случаев, предусмотренных законодательством Российской Федерации.

Внеэкономические сделки с товарами, информацией, работами, услугами, результатами интеллектуальной деятельности, на которые в соответствии с федеральным законом распространяется экспортный контроль, подлежат государственной экспертизе. Государственная экспертиза проводится федеральными органами исполнительной власти и заключается в анализе документов и информации, имеющих отношение к внешнеэкономической сделке, в целях определения ее соответствия международным обязательствам и государственным интересам Российской Федерации. Результаты государственной экспертизы являются основанием для выдачи либо отказа в выдаче лицензии или разрешения.

Экспортный контроль в отношении вооружения и военной техники, а также информации, работ, услуг, результатов интеллектуальной деятельности, являющихся продукцией военного назначения, осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации в области военно-технического сотрудничества.

При планировании передачи иностранным компаниям результатов современных гидрометеорологических, гидрографических и геофизических морских научных и ресурсных исследований с использованием современных технологий должен учитываться тот факт, что результаты указанных исследований могут быть отнесены к товарам двойного, специального или военного назначения.

Организация передачи сведений, составляющих государственную тайну, другим государствам или международным организациям определена постановлением Правительства Российской Федерации от 02.08.1997 № 973 «Об утверждении Положения о подготовке к передаче сведений, составляющих государственную тайну, другим государствам или международным организациям» [4]. Данное положение является обязательным для исполнения федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, предприятиями, учреждениями и организациями независимо от их организационно-правовой формы, должностными лицами и гражданами Российской Федерации, взявшими на себя обязательства либо обязанными по своему статусу исполнять требования законодательства Российской Федерации о государственной тайне.

Открытое опубликование отчетных материалов выполненных исследований и международный обмен полученными данными осуществляются в порядке, установленном действующим законодательством, включающим обязательное проведение экспертизы Минобороны России на предмет отсутствия (наличия) в них

сведений, составляющих государственную тайну, и служебной тайны в области обороны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 08.12.2003 № 164-ФЗ «Об основах государственного регулирования внешнеторговой деятельности» (с изменениями и дополнениями).
2. Федеральный закон от 18.07.1999 № 183-ФЗ «Об экспортном контроле» (с изменениями и дополнениями).
3. Указ Президента Российской Федерации от 05.05.2004 № 580 «Об утверждении Списка товаров и технологий двойного назначения, которые могут быть использованы при создании вооружений и военной техники и в отношении которых осуществляется экспортный контроль», (с изменениями и дополнениями).
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 02.08.1997 № 973 «Об утверждении Положения о подготовке к передаче сведений, составляющих государственную тайну, другим государствам или международным организациям» (с изменениями и дополнениями).

LEGAL DESCRIPTION OF THE SITUATION OF TRANSFER OF MARINE RESEARCH REPORTS TO FOREIGN COMPANIES

N. S. Sokolov (“GNINGI” JSC)

The article reveals legal peculiarities of transfer of marine research materials to foreign companies.

УДК 550.380

ГОДОГРАФ И ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФЕРРОМАГНИТНОМ СУДНЕ

С. А. ИВАНОВ (СПбФ ИЗМИРАН),
С. А. МЕРКУРЬЕВ (СПбФ ИЗМИРАН, СПбГУ),
И. М. ДЕМИНА (СПбФ ИЗМИРАН)

Изучается годограф – кривая (Y, X) , где X и Y горизонтальные компоненты магнитного поля Земли, измеренные в корабельной системе координат при циркуляции корабля. Приведены примеры применения годографа к данным, полученным в экспедиции ОИС «Адмирал Владимирский» 2019–2020 гг.

1. Введение

Задача измерения магнитного поля Земли (МПЗ) на движущемся ферромагнитном судне всегда интересовала исследователей. В навигации, несмотря на появление спутниковых систем, использование геомагнитного поля привлекает, в частности, своей полной автономностью. Главным препятствием на этом пути является собственное поле корабля, сравнимое по величине с магнитным полем Земли. Магнитное поле корабля трудно поддаётся определению, поскольку зависит от конфигурации мягкого и твёрдого железа в конструкции корабля, внешнего поля и

постоянного изменения ориентации осей измерительной системы, связанной с движением судна (рысканье, бортовая и килевая качки).

Из работ, описывающих применения трехкомпонентных магнитометров для нахождения компонент поля, укажем на [1–4]. В публикациях [1, 2] определение компонент поля проводилось при разумных для высоких широт упрощениях, в частности, в предположении, что вертикальная компонента значительно превосходит горизонтальную. В работе [3] предложен метод применения компонентных магнитометров для анализа линейных магнитных аномалий в зоне разлома Мендосино (сегмент Срединно-Атлантического хребта). В статье [4] в отсутствии информации о МПЗ решалась задача определения склонения и наклонения по измерениям трехкомпонентного магнитометра в различных положениях относительно горизонтальной плоскости и плоскости магнитного меридиана. Такого рода работы обычно проводятся для калибровки компонентных магнитометров. Этой важной теме посвящено большое число публикаций, см., например, [5–12]. Основной принцип калибровки состоит в регистрации магнитного поля при поворотах измерительной системы, как в горизонтальной плоскости, так и в плоскости магнитного меридиана с последующей минимизацией погрешности. При этом внешнее магнитное поле считается известным. Так, в работе [12] дан подробный алгоритм определения параметров возникающего эллипсоида – трехмерного аналога годографа (см. также [13]). Главное условие – внешнее магнитное поле известно и не меняется в области измерений. Наиболее просто выполнение этих условий обеспечивается проведением таких работ в магнитных обсерваториях.

В данной статье изучается возможность извлечения информации о магнитном поле Земли из измерений компонент на ферромагнитном носителе в случае, когда неизвестны ни параметры магнитного поля Земли, ни поле судна. Приведён пример обработки компонентных данных, полученных в ходе кругосветной экспедиции ОИС «Адмирал Владимирский» 2019–2020 гг. [14].

2. Магнитное поле судна и годограф

2.1. Постановка задачи

Пусть измерения компонент геомагнитного поля осуществляются на ферромагнитном носителе во время выполнения кораблем циркуляции. Предполагается, что напряженность магнитного поля постоянна в зоне движения магнитометра во всех направлениях. Такого рода работы проводятся в ходе рейса регулярно для определения девиационной поправки [15] и калибровки датчиков. В качестве исходных данных будем использовать горизонтальные компоненты, измеренные в корабельной системе координат. В качестве основного инструмента изучения магнитного поля по результатам таких измерений в данной работе предлагается годограф – кривая (Y, X) .

2.2. Магнитные поля в корабельной системе координат

Рассмотрим две системы координат, изображенные на рис. 1:

а) топографическая прямоугольная система координат (x, y, z) : начало системы координат в точке наблюдения, плоскость xu является касательной плоскостью к земному эллипсоиду, причем ось x ориентирована на север, а ось y – на восток. Ось z совпадает с местной вертикалью и направлена вниз;

б) судовая (корабельная) система координат (x_s, y_s, z_s) : образуется диаметральной плоскостью, плоскостью шпангоута и плоскостью теоретической палубы с центром в

точке наблюдения, ось x_s лежит в плоскости теоретической палубы и направлена в сторону носа корабля, ось y_s – в плоскости шпангоута и направлена в сторону правого борта, ось z_s – направлена вниз. Считаем, что вертикаль прибора совпадает с осью oz в топографической системе координат, т. е. в измеренные значения внесены поправки за качку. Также полагаем, что прибор калиброван.

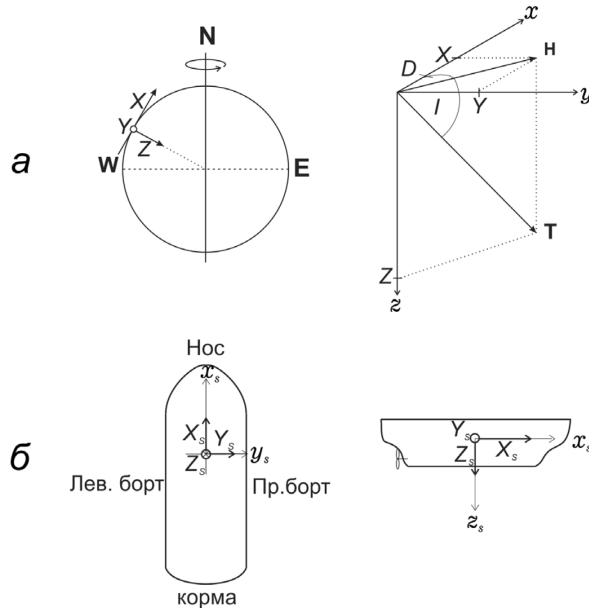


Рис 1. Компоненты вектора магнитной индукции T : а – X, Y, Z – компоненты, D и I – углы склонения и наклонения вектора геомагнитного поля в топографической системе координат, H – горизонтальная компонента; б – X_s, Y_s и Z_s – компоненты вектора геомагнитного поля в корабельной системе координат

Внешнее поле в топографической системе координат:

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H \\ I \end{pmatrix}.$$

Магнитное поле в корабельной системе координат складывается из трех компонент:

1. Внешнее поле в судовой системе координат:

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_s \\ Z_s \end{pmatrix}.$$

2. Часть поля судна, вызванная остаточной намагниченностью (жесткое железо):

$$\mathbf{T}_h = \begin{pmatrix} P \\ Q \\ R \end{pmatrix}.$$

3. Поле, вызванное наведенной намагниченностью (мягкое железо), которое линейно связано с внешним полем через матрицу Пуассона \mathcal{P} :

$$\mathbf{T}_s = \mathcal{P}\mathbf{T} = \begin{pmatrix} aX_s + bY_s + cZ_s \\ dX_s + eY_s + fZ_s \\ gX_s + hY_s + kZ_s \end{pmatrix}.$$

Тогда в корабельной системе координат выражение для поля принимает вид:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} aX_s + bY_s + cZ_s \\ dX_s + eY_s + fZ_s \\ gX_s + hY_s + kZ_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} P \\ Q \\ R \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Для горизонтальной проекции после группировки имеем:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_s + aX_s + bY_s \\ Y_s + dX_s + eY_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} cZ_s \\ fZ_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} P \\ Q \end{pmatrix}.$$

Поскольку наведенная индукция направлена против внешнего поля, то $a < 0$ и $e < 0$ [16]. При симметрии корабля и расположении магнитометра в плоскости шпангоута и в диаметральной плоскости недиагональные коэффициенты равны нулю $b=0$ и $d=0$ [17–19]. В общей ситуации они могут иметь любой знак. К сожалению, по техническим обстоятельствам, магнитометры на борту ОИС «Адмирал Владимирский» не удалось установить строго в диаметральной плоскости, что осложнило наблюдения, и в результате последние коэффициенты не были нулевыми, но были, по-видимому, малы.

2.3. Годограф

Пусть судно движется некоторым курсом (курсовым углом) k и магнитным курсовым углом α (угол между направлением движения судна и горизонтальной компонентой \mathbf{H} , отсчитываемый от магнитного севера по часовой стрелке). Т. е. $k = \alpha + D$, где D – неизвестное склонение. Будем считать, что ось корабля совпадает с направлением движения. Тогда в корабельной системе координат горизонтальные компоненты внешнего поля равны:

$$\begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H \cos \alpha \\ -H \sin \alpha \end{pmatrix}.$$

Следовательно, измеренные значения равны:

$$\begin{aligned} X' &= (1 + a)H \cos \alpha + bH \sin \alpha + cZ + P \\ Y' &= dH \cos \alpha - (1 + e)H \sin \alpha + fZ + Q \end{aligned} \quad \text{и} \quad \mathbf{H}' = \begin{pmatrix} X' \\ Y' \end{pmatrix}. \quad (2)$$

По определению, годограф образован векторами горизонтальной компоненты поля \mathbf{H}' при изменении курса корабля от 0 до 360° . Из выражения (2) видно, что величины $H \cos \alpha$ и $H \sin \alpha$ есть решение системы двух уравнений и линейно выражаются через правую часть этой системы, т. е. через $X' - cZ - P$ и $Y' - fZ - Q$ с коэффициентами, не зависящими от курса. Тогда

$$H'^2 = H'^2 \cos^2 \alpha + H'^2 \sin^2 \alpha = \text{const}$$

есть квадратичная функция измерений X' и Y' , т. е. кривая второго порядка. В силу периодичности эта кривая замкнута и, таким образом, является эллипсом. Заметим, что нахождение эллипса возможно, конечно, не только при полной циркуляции, но и при маршруте, включающем несколько курсов. Формально для этого требуются значения измерений (Y' , X') на пяти курсах. Действительно, эллипс полностью описывается заданием центра, величины осей, и угла между большой осью и фиксированной осью координат.

2.4. Годограф, матрица Пуассона, и SVD-разложение

Согласно выражению (2) центр годографа определяется полем жесткого железа и не зависящей от курса компонентой Z . При выполнении циркуляции их сумма остается постоянной, поэтому положение центра не может быть использовано для определения коэффициентов матрицы Пуассона. На этом основании везде далее мы рассматриваем центрированный эллипс.

После удаления постоянной составляющей измерения, связанные с компонентами внешнего поля, можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} X'' &= (1 + a)H \cos \alpha + bH \sin \alpha \\ Y'' &= dH \cos \alpha - (1 + e)H \sin \alpha \end{aligned}$$

Определим матрицу \mathbf{W} , включающую в себя часть матрицы Пуассона, как

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} 1 + a & b \\ d & -(1 + e) \end{pmatrix}.$$

Тогда можем записать:

$$\begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \end{pmatrix} = \mathbf{W} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}.$$

Знание годографа не определяет матрицу \mathbf{W} . Это естественно, – так \mathbf{W} задается четырьмя параметрами, а центрированный эллипс – тремя.

Найдем, какие характеристики \mathbf{W} можно извлечь из годографа. Матрица \mathbf{W} имеет сингулярное разложение:

$$\mathbf{W} = \mathbf{U}\mathbf{\Sigma}\mathbf{V}^*,$$

где \mathbf{U} унитарная вещественная матрица, составленная из собственных векторов $\mathbf{W}\mathbf{W}^*$, $\mathbf{\Sigma}$ – диагональная матрица из сингулярных чисел матрицы \mathbf{W} , \mathbf{V} – унитарная вещественная матрица, составленная из собственных векторов $\mathbf{W}^*\mathbf{W}$. Матрица \mathbf{W} положительно определена ввиду малости недиагональных элементов, и тогда унитарные матрицы \mathbf{U} и \mathbf{V} можно считать матрицами поворота на углы γ и β соответственно. Таким образом, \mathbf{W} можно представить как

$$\mathbf{W} = \mathbf{M}_\gamma \mathbf{\Sigma} \mathbf{M}_{-\beta} . \quad (3)$$

Здесь использовано обозначение M_φ для матрицы поворота на угол φ против часовой стрелки:

$$M_\varphi = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix}.$$

Пусть корабль совершает циркуляцию. Тогда горизонтальная компонента – множество пар (Y, X) , пробегает окружность радиуса H в корабельной системе координат. При этом измеренные X'' и Y'' связаны с Y и X преобразованием (3). Применим его к окружности радиуса H . В соответствии с (3) оно разбивается на три преобразования.

1. Поворот M_β . Круг при этом преобразовании не меняется.

2. Умножение на диагональную матрицу $\Sigma = \text{diag}[s_1, s_2]$. Это преобразование превращает круг в эллипс с осями, параллельными координатным осям и равными $s_1 H$ и $s_2 H$.

3. Поворот эллипса на угол γ матрицей M_γ .

Таким образом, после исключения постоянной составляющей поля для восстановления Y и X по X'' и Y'' необходимо знание двух углов и s_1 и s_2 . Из используемых в этих преобразованиях параметров мы наблюдаем лишь угол γ (угол между осями эллипса и осями координат) и полуоси $s_1 H$ и $s_2 H$ [20]. В этом случае для точного решения задачи необходимо выполнение условия $\beta=0$. Отметим, что в задаче калибровки, т. е. при известном внешнем поле, определение β вполне возможно и соответственно пересчет наблюдаемых значений компонент в компоненты внешнего поля точен.

Получим критерий равенства $\beta=0$ и условия, когда оси эллипса параллельны осям координат, т. е. когда $\gamma=0$.

В соответствии с выражением (3)

$$WW^* = M_\gamma \Sigma^2 M_\gamma.$$

Очевидно, что $\gamma=0$ в том и только в том случае, когда матрица WW^* диагональна. Прямое вычисление дает пропорцию $d/(1+e)=b/(1+a)$.

Действуя аналогично с матрицей W^*W , получаем, что $\beta=0$ тогда и только тогда, когда $d/(1+a)=b/(1+e)$.

2.5. *Определение параметров эллипса по корабельным наблюдениям на разных курсах*

Произвольный эллипс описывается пятью параметрами – координатами центра, величиной полуосей и наклоном главной оси (угол с осью x в локальной декартовой системе координат). При отсутствии шума годограф представляет собой эллипс общего вида, то есть линию второго порядка, тогда точки (x, y) годографа удовлетворяют уравнению:

$$f(x, y) = x^2 + a_4 y^2 + 2a_2 xy + 2a_2 x + 2a_1 y + a_0 = 0.$$

Здесь зафиксирован единичный коэффициент у члена x^2 , который не может быть нулем (годограф никак не может быть параболой).

Мы получили задачу минимизации суммы квадратов невязки по всем наблюдениям:

$$F = \sum f^2(x_i, y_i).$$

С помощью МНК она сводится к задаче линейной алгебры, поскольку неизвестные параметры входят в F линейно. По коэффициентам линии второго порядка проверяем, что это эллипс, и через инварианты находим его параметры [11]. Преимущество такого подхода состоит в том, что не требуется полная циркуляция – формально параметры годографа восстанавливаются по пяти точкам. Заметим, что приближению набора точек эллипсом посвящена большая литература (см., например, [21–24]).

2.6. Приближенное определение горизонтальной компоненты в корабельных координатах

Предлагается следующий алгоритм обработки измерений.

1. Для измеренной величины $\mathbf{H}'' = \begin{pmatrix} X'' \\ Y'' \end{pmatrix}$ методом наименьших квадратов рассчитывается эллипс (годограф).
2. Преобразованием сдвига получаем эллипс с центром в начале координат.
3. Поворачиваем эллипс на угол $-\gamma$.
4. Масштабированием осей переводим эллипс в круг радиуса H .

В последнем пункте мы предполагаем приближенное знание H , например, из глобальных моделей, поскольку мы наблюдаем полуоси s_1H и s_2H , и без знания H (например, при неточной калибровке прибора) определяется лишь величина s_1/s_2 .

В результате получаем значения горизонтальных компонент X_β и Y_β с точностью до поворота на угол β .

$$\begin{aligned} X_\beta &= \cos \beta X + \sin \beta Y \\ Y_\beta &= -\sin \beta X + \cos \beta Y \end{aligned}$$

Таким образом, предлагаемые преобразования не приводят, вообще говоря, к определению вектора горизонтальной компоненты \mathbf{H} . Однако ввиду симметрии судна матрица Пуассона близка к диагональной, и угол β можно считать малым.

3. Циркуляции в кругосветной экспедиции ОИС «Адмирал Владимирский»

В ходе юбилейной кругосветной экспедиции на ОИС «Адмирал Владимирский» 2019–2020 гг., кроме основной задачи – уточнения положения Южного магнитного полюса, решался целый комплекс геофизических задач, в том числе использование компонентных магнитометров на борту ферромагнитного судна.

3.1. Аппаратура

Измерения магнитного поля осуществлялись с помощью двух разработанных в СПбФ ИЗМИРАН трехкомпонентных магнитометров. Один из них основан на комплексах MVC-2 и GI-MTS-1 (разработка СПбФ ИЗМИРАН) и состоит из трех датчиков торсионного типа [25]. Эти датчики были ориентированы вдоль продольной x_s , поперечной y_s и вертикальной z_s осей носителя, образующих «мобильную» систему координат. Параллельно с этим использовался компонентный магнитометр с датчиками, принцип действия которых основан на магниторезистивном эффекте

[14, 26]. Устройство и принцип действия магниторезистивных сенсоров описаны в статье [27]. Датчик выполнен в сверхминиатюрном 14-выводном корпусе LCC размером 3,5x3,5 мм.

3.1.1. Калибровка

Процесс подготовки компонентных магнитометров перед измерительными исследованиями (экспедицией) предполагает их калибровку в лабораторных условиях по чувствительности и смещению каждого из трех датчиков, неортогональности осей датчиков, а также по температурной и временной зависимости этих факторов [5]. Перед выходом в море была выполнена первоначальная скалярная калибровка обоих магнитометров в обсерватории Воейково путем позиционирования датчиков в различных положениях в земном поле. В режиме калибровки в поле колец Гельмгольца были определены калибровочные коэффициенты, а также амплитудно- и фазочастотная характеристики магнитометров в диапазоне периодов 0,1–500 с.

Аналогичная процедура с этой аппаратурой была проведена сразу после рейса, она показала высокую устойчивость параметров датчиков магнитометров.

3.2. Полученные данные и результаты обработки

Было выполнено 10 циркуляций в различных частях океана [14]. Места циркуляций показаны на рис. 2.

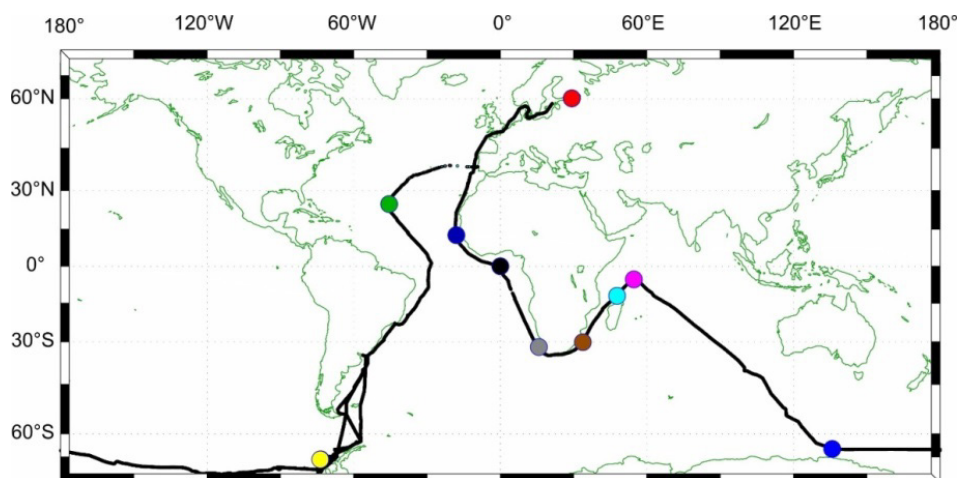


Рис. 2. Места циркуляций, проведенных в ходе экспедиции ОИС «Адмирал Владимирский»

За время кругосветной экспедиции параметры рассчитанных годографов отличались не более чем на 7 %, несмотря на изменение магнитного поля Земли при переходе от северных широт к антарктическим и на наведенную индукцию во время стоянок в портах. Такая относительная стабильность позволяет применять годограф для оценки величины горизонтальной компоненты геомагнитного поля.

Первичные испытания проводились во время пробного выхода «Адмирала Владимирского» в Балтийское море 28 ноября 2019 года.

Циркуляция судна показана на рис. 3, район циркуляции – Балтийское море, широта 29,24°, долгота 60,08°. Курс определялся по датчику GPS комплекса.

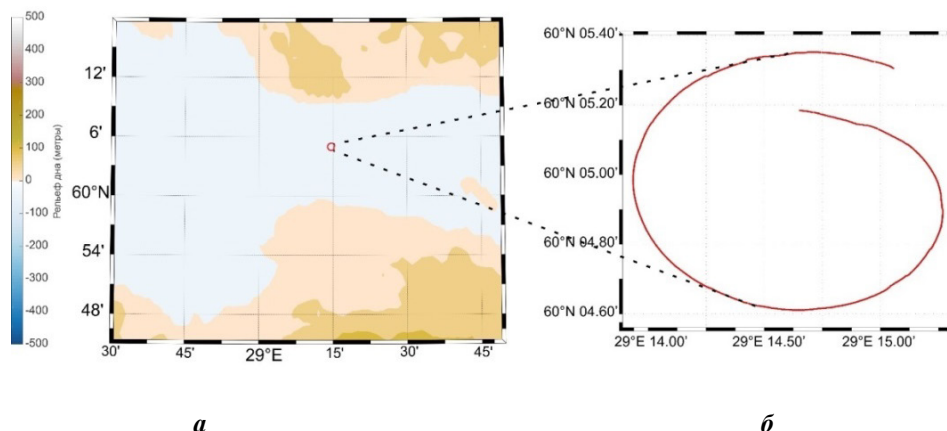


Рис. 3. Циркуляция в Финском заливе, выполненная 28 ноября 2019 г.

Полученные значения компонент показаны на рис. 4. Для сравнения на том же рисунке приведены компоненты, вычисленные по модели IGRF и пересчитанные в корабельную систему координат.

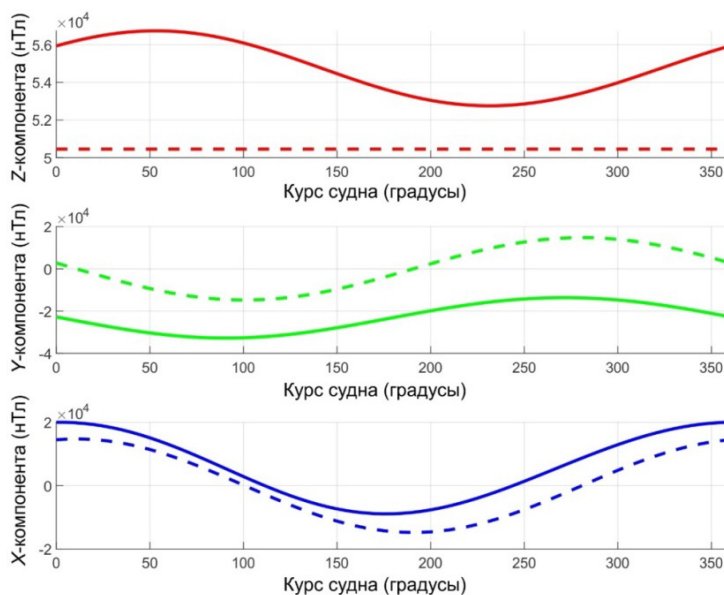


Рис. 4. Измеренные компоненты в корабельной системе координат. Сплошная линия – измеренные значения. Пунктирная линия – вычисленные по модели IGRF

Видно, что максимальное значение X достигается почти при нулевом курсе, т. е. полученное по анализу годографа значение склонения составляет несколько градусов, в то время как по моделям главного геомагнитного поля оно составляет примерно $12,5^\circ$. Состоит ли причина этого расхождения в ошибках метода, или имеет место локальная аномалия (мелкое море), – неизвестно. Использование всех данных для расчета склонения см. ниже.

Отметим, что амплитуда колебаний вертикальной компоненты составляет около 2000 нТл. Если приравнять среднее значение вертикальной компоненты к величине, полученной из модели IGRF, то получим, что амплитуда колебаний Z составляет около 4 %. Поскольку качки во время измерений не наблюдалось, это дает оценку изменений вертикальной компоненты собственного поля судна в зависимости от курса, т. е. оценку коэффициентов g и h матрицы Пуассона в формуле (1). В данной работе мы не рассматриваем этот вопрос.

Годограф и эллипс, найденный для циркуляции в Финском заливе показаны на рис. 5а. На рисунке 5б приведен годограф и найденный эллипс, построенные по циркуляции у южного берега Африки (точка показана на рис. 2 серым цветом).

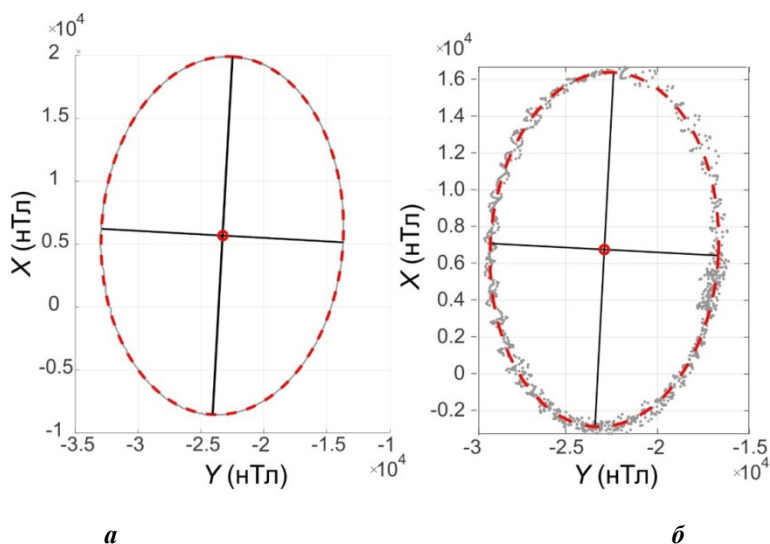


Рис. 5. Годограф и найденный эллипс для двух циркуляций: а – Финский залив, б – южный берег Африки. Серым цветом показан годограф, красным – найденный эллипс, черным – оси эллипса

Обращает на себя внимание, что:

- зашумленность кривой годографа в случае циркуляции в Финском заливе очень мала в отличие от других циркуляций (см. рис. 5б);
- оси эллипса почти параллельны осям корабельной системы координат – угол между длинной осью эллипса и осью x_s составляет около 3 градусов.

После поворота на азимут курса получаем величины компонент X , Y в топографической системе координат. При отсутствии шумов и угле β , равном нулю, это должны быть постоянные величины. Реальные кривые показаны на рис. 6 (значения курса приведены с учетом перехода через 360°).

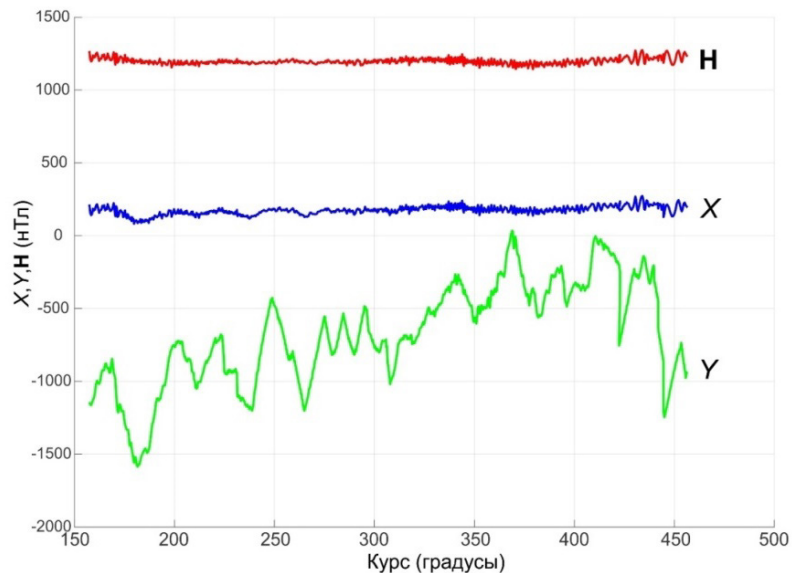


Рис. 6. Компоненты геомагнитного поля, приведенные к топографической системе координат по данным циркуляции в Финском заливе. Зеленым цветом показана компонента Y , синим – компонента X минус 1200 нТл, красным – величина горизонтальной компоненты H минус 1100 нТл

На рис. 6 обращает на себя внимание, что меньшая по величине компонента Y имеет значительно больший по сравнению с X разброс. Для выяснения причин наблюдаемого факта мы провели исследование, используя следующую модель. Пусть измерения выполнялись на немагнитном судне (исключаем поле носителя), идущим измеряемым курсом k . При этом азимут диаметральной плоскости корабля p отличается от курса на угол r , который можно рассматривать как погрешность измерения k , т. е. $k=p+r$. Эта погрешность может быть связана как с отклонением направления диаметральной плоскости корабля от направления движения (снос), так и с точностью определения координат. В этом случае измеренные в судовой системе координат значения компонент можно представить как $\mathbf{H}_s = \mathbf{M}_p \mathbf{H}$, где \mathbf{M}_p – матрица поворота на угол p . Имея в распоряжении лишь величину k , за истинное значение горизонтальной составляющей мы должны принять $\mathbf{H}'_g = \mathbf{M}_k \mathbf{H}_s = \mathbf{M}_k \mathbf{M}_p \mathbf{H}$. Для компонент получаем:

$$\begin{aligned} X' &= \cos r X + \sin r Y \\ Y' &= -\sin r X + \cos r Y \end{aligned}$$

или с учетом малости r с точностью до слагаемых порядка Hr^2

$$\begin{aligned} X' &= X + rY + O(r^2) \\ Y' &= -rX + Y + O(r^2) \end{aligned}$$

Если измерения проводятся вне района больших значений склонения, как в рассматриваемом случае, и величина X много больше Y , то ошибка rX в определении Y много больше ошибки rY в определении X .

Получены следующие оценки склонения $\arctg(Y'/X')$: среднее значение -3.1° и величина стандартного отклонения $1,6^\circ$ показаны на рис. 7.

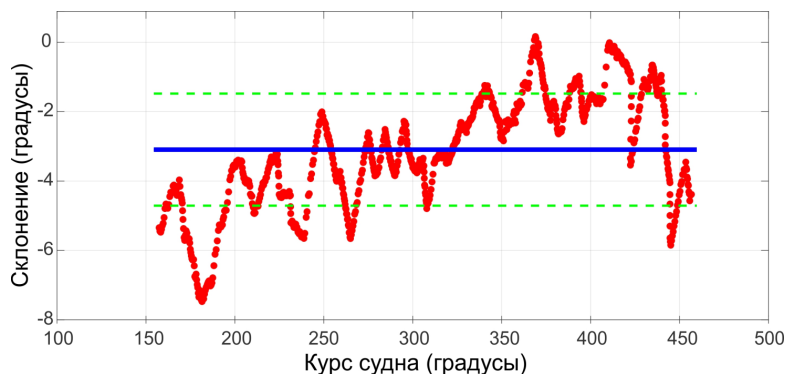


Рис 7. Пример определения склонения по данным циркуляции в Финском заливе. Красным цветом показаны значения склонения, голубым – среднее, зеленым – среднее плюс/минус стандартное отклонение

Как уже упоминалось выше, всего за кругосветный рейс было выполнено 10 циркуляций, в том числе по типу «звезда». Одна из таких циркуляций была выполнена вблизи Антарктиды в море Беллинсгаузена (желтый кружок на рис. 2). Девиационные работы проводились на восьми курсах с шагом по азимуту в 45° . Полученные значения компонент пересчитывались в топографическую систему координат по описанной выше методике, при этом стандартная ошибка определения склонения составляла около 2° . Затем определялись средние значения склонения на каждом курсе. После осреднения по курсам было получено значение склонения равно $19,10^\circ$ при стандартной ошибке в $0,42^\circ$. Значение склонения, вычисленное по модели IGRF, равно $22,6^\circ$. Результаты определения склонения по полученным данным приведены на рис. 8.

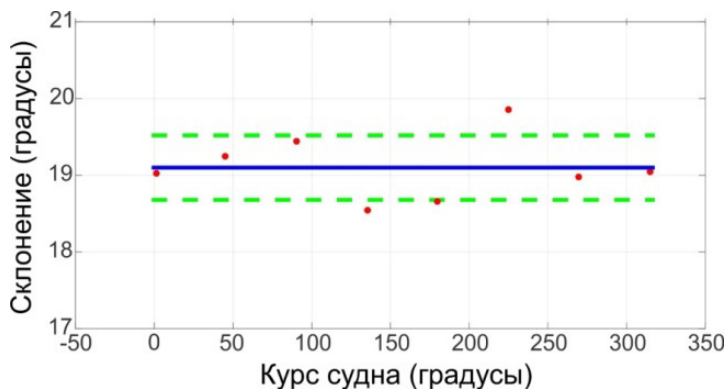


Рис. 8. Пример определения склонения по данным циркуляции в море Беллинсгаузена. Красным цветом показаны значения склонения, голубым – среднее, зеленым – среднее плюс/минус стандартное отклонение.

Выводы

1. Показано, что измерения горизонтальных компонент на нескольких (не меньше пяти) курсах при диагональной или почти диагональной матрице Пуассона позволяют:

а) оценить относительные изменения величины горизонтальной составляющей магнитного поля Земли;

б) оценить склонение.

2. При дополнительном измерении вертикальной компоненты можно оценить относительные изменения модуля магнитного поля Земли.

3. Рассмотрены теоретические вопросы, связанные с годографом – кривой, образованной горизонтальными компонентами (Y, X), измеренными в корабельной системе координат, когда корабль выполняет циркуляцию.

Получено:

а) в терминах матрицы Пуассона указан критерий параллельности осей годографа осей корабельной системы координат;

б) показано, когда горизонтальные компоненты внешнего поля восстанавливаются по годографу;

в) найдена причина большого шума в компоненте Y горизонтальной составляющей H .

Несмотря на ограниченную точность полученных результатов, метод представляется перспективным при условии оптимального размещения аппаратуры и организации измерений, что позволяет минимизировать внешние помехи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kopytenko Yu. A., Petlenko A. V., Petrova A. A., Kopytenko E. A., Voronov P. M., Ismagilov V. S., Zaitsev D. B., Timoshenko Yu. P. Peculiarities of interpretation of magnetic field components' data obtained at high-latitudes on the board of moving carrier. In: Proceedings of the International Conference on Marine Electromagnetic: Marelec 97: 23–26 June 1997. London UK. – 1997. – Pp. 1–6.
2. Копытенко Е.А., Тимошенков Ю.П., Воронов П.М. Измерения геомагнитного поля на борту движущегося носителя с помощью трехкомпонентного магнитовариационного комплекса МБК-2. // Российский Геофизический журнал. – 1998. – № 11–12. – С. 45–49.
3. Isezaki N. A new shipboard three-component magnetometer // Geophysics. – 1986. – V. 51. – No. 10. – P. 1992–1998. URL: <https://doi.org/10.1190/1.1442054>.
4. Бледнов В. А. Компонентные геомагнитные измерения на борту движущегося ферромагнитного носителя // УФН. – 1994. – Т. 164. – С. 1001–1005. URL: <https://doi.org/10.3367/UFNr.0164.199409i.1001>.
5. Yigitler H., Leblebicioğlu M. K. Online Calibration of Strapdown Magnetometers / IFAC Proceedings Volumes. – 2009. – V. 42 – No 16. – Pp. 687–692. URL: <https://doi.org/10.3182/20090909-4-JP-2010.00116>.
6. Olsen N., Tøffner-Clausen L., Sabaka T. J. et al. Calibration of the Ørsted vector magnetometer // Earth Planet Space. – 2003. – . 55. – Pp. 11–18. URL: <https://doi.org/10.1186/BF03352458>.
7. Munsch M., Boulanger D., Ulrich P., Bouiflane M. Magnetic mapping for the detection and characterization of UXO: use of multi-sensor fluxgate 3-axis magnetometers and methods of interpretation // Journal of Applied Geophysics. – 2007. – V. 61. – Pp. 168–183. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2006.06.004>.
8. Renaudin V., Afzal M. H., Lachapelle G. Complete Triaxis Magnetometer Calibration in the Magnetic Domain // Journal of Sensors. – 2010. – V. 2010. Article ID 96724. – P.10. URL: <https://doi.org/10.1155/2010/967245>.
9. Merayo J. M. G., Brauer P., Primdahl F., Petersen J. R., Nielsen O. V. Scalar calibration of vector magnetometers // Meas. Sci. Technol. – 2000. – V. 11. No. 2. – Pp. 120–132. URL: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/11/2/304>

10. Bronner A., Munsch M., Sauter D., Carlut J., Searle R., Maineult A. Deep-tow 3C magnetic measurement: Solutions for calibration and interpretation // – 2013. – Geophysics. – V. 78. – No. 3. – Pp. 115–123. URL: <https://doi.org/10.1190/geo2012-0214.1>.
11. Gavazzi B., Le Maire P., Mercier de Lépinay J., Calou P., Munsch M. Fluxgate three-component magnetometers for cost-effective ground, UAV and airborne magnetic surveys for industrial and academic geoscience applications and comparison with current industrial standards through case studies // Geomechanics for Energy and the Environment. – 2019. – V. 20. – 100117. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gete.2019.03.002>.
12. Gebre-Egziabher D., Elkaim G. H., Powell J. D., Parkinson B. W. Calibration of Strapdown Magnetometers in Magnetic Field Domain // Journal of Aerospace Engineering. – 2006. – V. 19. – No. 2. – Pp. 87–102. DOI: 10.1061/(ASCE)0893-1321(2006)19:2(87).
13. Foster C. C., Elkaim G. H. Extension of a two-step calibration methodology to include nonorthogonal sensor axes // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2008. – V. 44. – No. 3. – P. 1070–1078. DOI:10.1109/TAES.2008.4655364.
14. Меркурьев С. А., Боярских В. Г., Демина И. М., Иванов С. А., Солдатов В. А. Определение Положения Южного магнитного полюса по данным российских кругосветных экспедиций: 1820 г. (Беллинсгаузен), 2020 г. («Адмирал Владимирский») Часть 2. Экспедиция ОИС «Адмирал Владимирский» // Геоматематизм и аэрономия. – 2023. – Т. 63. – № 1. – С. 125–136.
15. Гордин В. М., Розе Е. Н., Углов Б. Д. Морская магнитометрия. – М.: Недра. – 1986. – 231 с.
16. Кожухов В. П., Воронов В. В., Григорьев В. В. Магнитные компасы. Учебник для вузов. М.: Транспорт, 1981. – 212.
17. Крылов А. Н. Собрание трудов. Том II: часть I – Компасное дело. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1943. – 180 с.
18. Крылов А. Н. Собрание трудов. Том II: часть II – Земной магнетизм и компасное дело. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – 274 с.
19. Ефимов Н. В. Краткий курс аналитической геометрии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 240 с.
20. Vasconcelos J. F., Elkaim G., Silvestre C., Oliveira P., Cardeira P. Geometric approach to strapdown magnetometer calibration in sensor frame // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2011. – V. 47. – No. 2. – Pp. 1293–1306. doi: 10.1109/TAES.2011.5751259.
21. Caiming Z., Shixiang J., Peipei L. A New Method of Fitting Implicit Conic to Plane Scattered Data Points // Computer-Aided Design and Applications. – 2012. – V. 9. – No. 2. – P. 147–154. doi: 10.3772/cadaps.
22. Fitzgibbon A. W., Fisher R. B. A Buyer's Guide to Conic Fitting / Proceedings of the British Machine Vision Conference. – 1995. BMVC 1995, Birmingham, UK, September.
23. Чуриков А. Б., Андрианов Д. С., Бельченко К. Г. Использование метода наименьших квадратов в задаче определения эллипса годографа вектора напряженности магнитного поля. // Гироскопия и навигация. – 1996. – № 1. – С. 60–65.
24. Renaudin V., Afzal M. H., Lachapelle G. Complete Triaxis Magnetometer Calibration in the Magnetic Domain // Journal of Sensors. V. 2010. Article ID 967245. 10 p. doi:10.1155/2010/967245
25. Копытенко Ю. А., Копытенко Е. А., Зайтсев Д. В., Воронov П. М., Амосов Л. Г. Magnetovariation complex MVC-2 / Proc. of the VI-th Workshop on Geomagnetic Observatory Instr., Data Acquisit. and Processing, Belgium. – 1994. – P. 10.
26. Сергушин П. А., Солдатов В. А., Меркурьев С. А. Опыт компонентных измерений магнитного поля на борту ферромагнитного судна «Адмирал Владимирский» в ходе кругосветной экспедиции 2019–2020 гг. Сборник материалов конференции «Инженерная и рудная геофизика 2023», «Инженерная и рудная геология 2023» / «Морские технологии 2023» – Санкт-Петербург, Россия, 15 – 19 мая 2023 г.
27. Маргелов А. Магниторезистивные датчики положения компании Honeywell. // CHIP News – инженерная микроэлектроника. – 2005. – № 3. – С. 30–34.

HODOGRAPH AND MEASUREMENT OF HORIZONTAL COMPONENTS OF THE GEOMAGNETIC FIELD ON A FERROMAGNETIC VESSEL

S. A. Ivanov (SPbF IZMIRAN), **S. A. Merkuriev** (SPbF IZMIRAN, Saint-Petersburg State University), **I. M. Demina** (SPbF IZMIRAN)

The hodograph is under consideration – the curve (Y,X), where X and Y are the horizontal components of the Earth's magnetic field, measured in the ship's coordinate system during the ship's circulation. Examples of the application of the hodograph to data obtained during the expedition of the RV "Admiral Vladimirsky" in 2019–2020 are given.

УДК 528.9

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ МОРСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ КАРТ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

О. Д. ОСИПОВ (АО «ГНИНГИ»),
С. В. ТРАВИН (РГО)

Рассмотрены вопросы распространения электронных навигационных морских карт (ЭНК) через международные региональные координационные центры и возможность формирования российского центра распространения ЭНК.

Обеспечение мореплавателей навигационными морскими картами является одним из обязательств Российской Федерации по выполнению международных договоренностей в сфере обеспечения безопасности мореплавания в водах, на которые распространяется национальная юрисдикция.

В соответствии с Международной конвенцией по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС-74), которая была принята 1 ноября 1974 г. на Международной конференции по охране человеческой жизни на море (ратифицирована постановлением Правительства СССР от 2 ноября 1979 г. № 975 и вступила в силу 25 мая 1980 г.), глава 5, правило 9 определяет, что на национальные Гидрографические службы возложены следующие обязательства:

1. Договаривающиеся правительства обязуются поощрять сбор и накопление гидрографических данных, публикацию, распространение и поддержание на уровне современности всей относящейся к мореплаванию информации, необходимой для обеспечения безопасности судоходства.

2. В частности, Договаривающиеся правительства обязуются, насколько это практически возможно, сотрудничать в проведении следующих мероприятий по организации навигационно-гидрографического обеспечения мореплавания:

2.1. обеспечение выполнения гидрографических съемок, насколько это практически возможно в соответствии с требованиями, предъявляемыми к безопасности судоходства;

2.2. подготовка и издание морских навигационных карт, лоций, огней и знаков, таблиц приливов и других пособий для плавания;

2.3. распространение извещений мореплавателям, необходимых для поддержания морских навигационных карт и пособий на уровне современности;

2.4. принятие мер, обеспечивающих нормальное выполнение этих услуг.

3. Договаривающиеся правительства обязуются обеспечивать, по возможности, наибольшую унификацию карт и пособий для плавания и принимать во внимание, когда возможно, соответствующие международные резолюции и рекомендации.

4. Договаривающиеся правительства обязуются в максимально возможной степени координировать свою деятельность, с тем, чтобы обеспечивать во всемирном

масштабе, насколько это возможно, своевременный доступ к достоверной гидрографической и навигационной информации [1].

Исходя из положений Конвенции, ответственность за распространение официальных электронных навигационных карт (далее – ЭНК) и корректур к ним возложена на национальные Гидрографические службы.

История данного вопроса начинается в 1992 г., когда Международная Морская организация (далее – ИМО, англ. International Maritime Organization) сформировала Комитет по созданию Мировой коллекции данных навигационных карт (далее – WEND, англ. World wide Electronic Navigational Chart Database) для решения вопросов, связанных с административными, техническими, финансовыми и юридическими аспектами распространения и корректуры ЭНК. Вышеуказанный комитет разработал основные принципы и концептуальную модель сбора, производства, корректуры и распространения ЭНК. Эта модель предусматривает создание по всему миру Региональных координационных центров ЭНК (далее – RENC, англ. Regional ENC Coordinating Center), которые должны нести ответственность за сбор данных для ЭНК от национальных Гидрографических служб, интегрирование всей информации, а также распространение ЭНК и корректур к ним. Согласно разработанной концепции, мореплаватели должны иметь возможность получать ЭНК и корректуры к ним в любом месте земного шара через сеть, связанную со всеми Региональными центрами. Однако воплощение этой модели в жизнь затянулось, так как многие национальные Гидрографические службы из-за слабости своих ресурсов (административных, финансовых и политических) оказались не в состоянии выполнять предусмотренную комитетом WEND работу, в том числе и в силу того, что ЭНК являются гораздо более сложным объектно-ориентированным продуктом по сравнению с обычными бумажными морскими навигационными картами.

Национальные Гидрографические службы имеют право производить морские навигационные карты лишь на морские зоны национальной юрисдикции, и отображаемые на ЭНК данные не должны распространяться дальше границы зоны национальной юрисдикции. Поскольку в рамках стандартной нарезки навигационные морские карты могут «пересекать» национальную границу, то в этом случае национальная Гидрографическая служба должна заключить соглашение с соседними национальными Гидрографическими службами об использовании и обмене данными для производства полного комплекта ЭНК.

Для преодоления этого положения и содействия в продвижении создания и распространения ЭНК, создаваемых национальными Гидрографическими службами, Международной гидрографической организацией (далее – МГО, англ. International Hydrographic Organization) было предложено создать ряд региональных координационных центров электронных карт RENC, в которые каждая Гидрографическая служба региона должна представлять свои данные.

Во исполнение данного решения WEND в 2002 г. был создан региональный центр – International Center for Electronic Navigational Charts (далее – IC-ENC) в г. Тонтон (Великобритания). Штаб-квартира IC-ENC, расположенная на территории Гидрографического управления Великобритании в г. Тонтон, является главным офисом. Штаб-квартира IC-ENC управляется командой из 17 сотрудников, которые разделены на управленческую команду из восьми человек, группу проверки из восьми человек и одного помощника. Структура IC-ENC приведена на рисунке.



Рис. Структура IC-ENC

IC-ENC является кооперацией Гидрографических служб, основной целью которых является ускорение и упрощение процесса распространения официальных векторных карт. На конец 2003 г. его база данных включала ЭНК Англии, Бельгии, Германии, Голландии, Египта, Индии, Испании, Португалии, Шри-Ланки, Южной Африки. В настоящее время RENC IC-ENC сотрудничает с 48 странами [2], которые поставляют свои ЭНК (в том числе Российская Федерация). Коллекция распространяемых ЭНК в марте 2023 г. достигла 10000 ячеек [3].

IC-ENC – это малозатратная некоммерческая организация, финансируемая за счет продаж ENC. Затраты IC-ENC возмещаются за счет удержания «фиксированного вознаграждения» за продажу каждой подписки ENC. Сумма «фиксированного вознаграждения» определяется Руководящим комитетом на основе затрат и прогнозов продаж. Как только «фиксированное вознаграждение» установлено на год вперед, каждый член IC-ENC может установить свою собственную оптовую цену ENC. Таким образом, члены IC-ENC точно знают, какой доход они получают за каждую проданную подписку ENC. «Фиксированное вознаграждение» в настоящее время составляет 0,50 доллара США за подписку на 12 месяцев, которая уменьшается пропорционально для более коротких периодов, например, подписка на 3 месяца стоит 0,15 доллара США [4]. По информации из открытых источников стоимость в RENC PRIMAR1 ЭНК на воды юрисдикции Российской Федерации в 2017 году составляла от 13 (на Черное,

Каспийское моря и моря Тихого океана) до 22 \$ США (на Балтийское море и Арктический регион).

Практически одновременно с Великобританией идеей создания RENC заинтересовались и в Королевстве Норвегия. И в апреле 2002 г. в Европе при Норвежской гидрографической службе начал функционировать еще один центр сотрудничества национальных Гидрографических служб по распространению ЭНК – PRIMAR, расположенный в г. Ставангер (Королевство Норвегия). На тот момент PRIMAR имел официальную базу ЭНК, изготавливаемых в девяти странах Европы: Дании, Латвии, Норвегии, Польше, России, Финляндии, Франции, Швеции, Эстонии. Эта база содержала более 400 файлов карт, выпускаемых в России на акватории Балтийского, Баренцева и Черного морей. В настоящее время RENC PRIMAR сотрудничает с 65 странами (в том числе с Российской Федерацией), и коллекция карт в январе 2023 года составляла 18603 ячейки, что обеспечивает практически полное покрытие Мирового океана официальными ЭНК [5].

Обратиться в центры PRIMAR и IC-ENC можно через их вебсайты. Карты, хранящиеся в базах данных этих центров, можно получить и через уполномоченных дистрибьюторов гидрографических организаций ряда европейских стран.

Идея, лежащая в основе сервиса региональных центров распространения ЭНК (RENC), проста: собрать все электронные навигационные карты на основе договоров с национальными гидрографическими службами прибрежных государств в единую базу данных и сделать единый распределительный центр, который будет доступен всем заинтересованным пользователям. Данный подход позволил осуществить практически полное покрытие Мирового океана официальными электронными навигационными картами. Качество всех карт проверяется в соответствии со стандартами МГО: осуществляется многоступенчатый контроль от производителя, через национальную гидрографическую службу до собственной службы качества.

Основными достоинствами RENCPRIMAR являются:

1. Доступность и простота использования каталога карт PRIMAR. Любой потенциальный пользователь сможет легко и быстро освоить работу с каталогом, воспользовавшись широким выбором удобных инструментов для подбора карт и формирования заявки.

2. Эффективная, безопасная и надежная дистрибуция электронных карт. Пользователь может самостоятельно выбрать один из многих способов получения требуемых данных: на CD/DVD, путем загрузки медиа с ftp-сервера или онлайн доставку индивидуальной судовой коллекции.

3. Круглосуточная доступность сервиса. Заказ новых карт может быть реализован в течение одного часа.

4. Регулярное еженедельное бесплатное обновление электронных карт. Пользователь при желании может еженедельно получать самые современные (откорректированные) карты.

5. Система управления обучением является учебным центром для участников, возможности онлайн-обучения, технические конференции, форумы участников, а также различные другие ресурсы и ссылки.

Большинство стран, сотрудничающих с PRIMAR, включает временные и предварительные извещения, которые считаются основным элементом поддержания навигационных карт в актуальном состоянии, в свои ЭНК. Поэтому их карты всегда

актуальны, и нет никакой необходимости в каком-либо слое с дополнительной информацией.

Для контроля пользователя над своей собственной коллекцией электронных карт используются ключи доступа или ключ-дешифратор (пермиты).

Мгновенная доставка ключей доступа (пермитов) в любую точку Мирового океана осуществляется посредством электронной почты или через онлайн генератор.

Часть услуг PRIMAR предоставляется зарегистрированным пользователям через веб-портал, который работает в рамках сайта PRIMAR. Пользователи могут просмотреть все детали электронной карты, включая и полный набор атрибутов любого объекта карты, а также увидеть все корректуры, которые были внесены в карту с момента ее создания. Генератор сертификатов обеспечит пользователя сертификатом PRIMAR, который подтверждает официальный статус карт и легальность их приобретения.

В существующих RENC команда опытных валидаторов (от англ. Validator – компьютерные специалисты, которые проверяют соответствие какого-либо документа, потока данных, или фрагмента кода определённому формату, проверяет синтаксическую корректность документа или файла – т. е. производят валидацию), используя различные программные средства, осуществляет анализ каждой ЭНК в соответствии с правилами и методами кодирования, изложенными в стандартах МГО S-57 и S-58, а также в методиках RENC, которые основаны на реальном и практическом опыте пользователей. По результатам каждой проверки готовится подробный отчет, который дает общую картину качества каждой ЭНК и пригодности ее для выпуска, а также предлагаются рекомендации по устранению любых выявленных проблем и рекомендуемых действий по улучшению качества.

Официальные ЭНК в России издаются Управлением навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации (далее – УНиО МО РФ). По состоянию на декабрь 2023 г. коллекция ЭНК в формате S-57, издаваемых УНиО МО РФ, составляет 2466 ячеек на воды национальной юрисдикции Российской Федерации и воды Мирового океана.

Предоставление права использования государственных морских навигационных карт осуществляется путем заключения лицензионного договора между Министерством обороны Российской Федерации (далее – МО РФ) (подведомственной организацией) и заявителем. Министерством обороны определено, что лицензионные договоры имеет право заключать ФКУ «280 Центральное картографическое производство ВМФ» (далее – 280 ЦКП ВМФ). В лицензионном договоре указываются срок, на который предлагается заключить лицензионный договор, и условия использования государственных морских навигационных карт. К таким условиям относятся:

а) изготовление одного и более экземпляров (копий) государственной морской навигационной карты или ее части в любой материальной форме без права передачи третьим лицам;

б) изготовление одного и более экземпляров (копий) государственной морской навигационной карты или ее части в любой материальной форме с правом передачи третьим лицам (без права копирования и создания производного);

в) переработка (создание производного) государственной морской навигационной карты или ее части в любой материальной форме без права передачи третьим лицам;

г) переработка (создание производного) государственной морской навигационной карты или ее части в любой материальной форме с правом передачи третьим лицам (без права копирования и создания производного);

д) предоставление третьим лицам государственной морской навигационной карты, ее части или их копий в любой материальной форме (без права копирования и создания производного) [6].

На основании Постановления Правительства Российской Федерации от 20 августа 2015 г. N 868 «Об утверждении правил предоставления права использования от имени Российской Федерации государственных морских навигационных карт и определения размера вознаграждения за их использование (в ред. Постановления Правительства РФ от 21.12.2016 N 1418) государственные морские навигационные карты предоставляются физическим и (или) юридическим лицам за вознаграждение, размер которого (P_B) определяется в зависимости от условий использования государственных морских навигационных карт, предусматриваемых в лицензионном договоре, по формуле:

$$P_B = B \times K_э \times K_и \times K_в,$$

где B – стоимость базовой расчетной единицы;

$K_э$ – количество использованных базовых расчетных единиц;

$K_и$ – коэффициент использования информации, зависящий от необходимого заявителю объема информации, содержащейся в базовой расчетной единице ($K_и = 1$) или ее части ($K_и < 1$);

$K_в$ – коэффициент вознаграждения.

Базовой расчетной единицей является издательский оригинал государственной морской навигационной карты, ее эквивалент в цифровой форме или ее копии.

Стоимость базовой расчетной единицы и значения коэффициента вознаграждения определяются Министерством обороны Российской Федерации.

Главкомандующим Военно-Морским Флотом в июле 2023 года утверждена стоимость базовой расчетной единицы:

1) Стоимость базовой расчетной единицы по изготовлению одного и более экземпляров (копий) государственной морской навигационной карты, или ее части в любой материальной форме с правом передачи третьим лицам (без права копирования и создания производного), в соответствии с пунктом «б» [6] – 1717,38 руб.;

2) Стоимость базовой расчетной единицы тиражного оттиска государственной морской карты, полученного полиграфическим способом, в соответствии с пунктом «д» [6] – для карт новых, нового издания и дополнительного тиража – 1015,16 руб., для карт с клапаном – 1042,22 руб.;

3) Стоимость базовой расчетной единицы государственной морской навигационной карты в электронном виде, в соответствии с пунктом «д» [6] – 13,5 \$;

4) Стоимость базовой расчетной единицы издательского оригинала, его эквивалента в цифровой форме государственной морской навигационной карты, для подпунктов «а», «в», «г» [6] – 310042,56 руб.;

5) Стоимость базовой расчетной единицы на использование одной государственной морской карты в электронном виде (ячейки) в стандартах Международной гидрографической организации, для подпунктов «а», «в», «г» [6] – 294174,24 руб.

УНиО МО РФ издает и распространяет электронные навигационные карты (стандарт S-57) в соответствии с требованиями защиты от несанкционированного доступа и копирования (стандарт S-63) на воды юрисдикции Российской Федерации и воды Мирового океана, не входящие в пределы юрисдикции иностранных государств, через официальных представителей.

По информации, объявленной в Извещениях мореплавателям № 1-28 от 7 января 2023 г., распространителями ЭНК издания УНиО МО РФ в соответствии с требованиями защиты данных от несанкционированного доступа и копирования являются:

- АО «Центр картографических технологий (далее – АО «ЦКТ»);
- АО «Ситроникс КТ»;
- ООО «Транзас Навигатор»;
- Федеральное государственное унитарное гидрографическое предприятие (ФГУП «Гидрографическое предприятие»).

АО «ЦКТ» также является авторизованным дистрибьютором официальных векторных электронных навигационных карт от RENC PRIMAR.

Структурное подразделение УНиО МО РФ – 280 ЦКП ВМФ, отвечающее за производство и корректуру МНК и ЭНК по итогам 2022 г. от продажи навигационных морских карт (бумажных и электронных) в рамках заключенных лицензионных договоров, а также от продажи пособий для мореплавателей перечислило в бюджет Российской Федерации около 70 млн руб. При этом ЭНК, издаваемые УНиО МО, продавались только через RENC.

Вопрос создания Российского координационного картографического центра (далее – РККЦ) по распространению электронных навигационных карт по типу международных RENC необходимо оценивать, исходя не только из геополитической, но и экономической целесообразности.

С экономической точки зрения создание РККЦ потребует затраты на: разработку отечественного специализированного программного обеспечения для осуществления контроля качества (валидации) распространяемых ЭНК; создание официального сайта РККЦ, выполняющего функцию геопортала, в целях непрерывного обеспечения потребителей ЭНК (в том числе корректуры к ним); формирование организационно-штатной структуры РККЦ, в том числе с включением следующих специалистов: картографов, программистов, экономистов и юристов по вопросам международного права.

С правовой точки зрения для создания РККЦ России потребуется разработка нормативно-правового акта Российской Федерации на основании положений законодательного акта более высокого порядка или решения Президента Российской Федерации, Правительства РФ или уполномоченного федерального органа исполнительной власти. Учитывая, что в Гидрографической службе Военно-Морского Флота существует 280 ЦКП ВМФ, которое обладает специалистами соответствующего уровня и отечественными программными наработками в области морской картографии, формирование РККЦ было бы целесообразно осуществить в рамках Министерства обороны. Однако главным критерием эффективной деятельности РККЦ будет оперативность обеспечения потребителей ЭНК и корректурой к ним. Добиться этого в рамках Министерства обороны будет проблематично из-за установленного юридического статуса 280 ЦКП ВМФ и вытекающих из этого длительных процедурных вопросов согласования и принятия решения.

Оценочно, на создание РККЦ России потребуется не менее 2 лет (при ритмичном финансировании), объем затрат составит не менее 200 млн. руб. в ценах 2023 г. (разработка и поддержка специализированного программного обеспечения и сайта, закупка оргтехники, разработка и согласование нормативно-правового акта, заработная плата и пр.). Ежегодная прибыль от продажи ЭНК составит не более 20 млн. руб. Принимая во внимание то, что в ГС ВМФ отсутствует опыт деятельности в данной области, создание РККЦ России окупится не ранее, чем через 10 лет. Учитывая более чем 20-летний опыт распространения ЭНК региональными центрами «IC-ENC» и «PRIMAR», политическую конъюнктуру и значительные финансовые вложения, авторы считают, что создание РККЦ России с экономической точки зрения в настоящий момент не будет оправдано.

Вместе с тем, введенные Европейским Союзом и рядом других государств санкции в отношении Российской Федерации прямо указывают на то, что необходимо иметь собственную структуру обеспечения ЭНК отечественных мореплавателей, независимую от деятельности международных центров (RENC). Кроме этого, гидрографические службы многих государств в настоящий момент находятся на этапе внедрения геоинформационных продуктов серии S-100 и поэтапного перехода от ЭНК, создаваемых по стандарту S-57, к предоставлению конечным пользователям согласованного пакета услуг по стандартам серии S-100 [7]. Учитывая опыт создания европейских RENC, формирование отечественного РККЦ целесообразно осуществить при УНиО МО РФ.

Принимая во внимание современную структуру 280 ЦКП ВМФ и уровень компетенций специалистов производства, целесообразно совместно с научными подразделениями ВУНЦ ВМФ «ВМА», АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» и специалистами УНиО МО РФ начать проработку создания и внедрения в Российской Федерации геоинформационных продуктов серии S-100. Данное направление является перспективным и активно прорабатывается гидрографическими службами ведущих морских государств и международными мореведческими организациями. Уже в настоящее время в Министерстве обороны Российской Федерации необходимо определить структуру, на которую будут возложены функции по руководству и осуществлению валидации (контроля качества) государственных геоинформационных продуктов, разрабатываемых как по стандарту S-57, так и по стандартам серии S-100.

Подводя итоги, следует отметить, что в целях обеспечения потребителей современными геоинформационными продуктами, выполнения задач по сбору пространственных данных и управлению ими, крайне важно возложить на 280 ЦКП ВМФ функцию оператора геоинформационных ресурсов на Мировой океан. По мнению авторов, данная структура, являющаяся подразделением Министерства обороны, при проведении серьезной инфраструктурной и кадровой модернизации, повышения уровня заработной платы, создания объектно-ориентированной базы данных и ее наполнения, будет способна гарантированно выполнять все возложенные на нее функции по обеспечению сил и средств Министерства обороны и других субъектов национальной морской деятельности объектно-ориентированными моделями и данными на воды национальной юрисдикции и на весь Мировой океан. Реализация данного проекта позволит расширить возможности ВМФ, будет способствовать повышению обеспечения обороны и безопасности государства, укреплению его суверенитета, социально-экономического развития, а также

существенно повысит эффективность принятия управленческих решений на всех уровнях при планировании и осуществлении морской деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года СОЛАС 74 <https://docs.cntd.ru/document/901765675>.
2. Сайт IC-ENC. URL: <https://www.ic-enc.org/members>.
3. «IC-ENC достигает рубежа в 10 000 ENC». URL: <https://www.ic-enc.org/news/ic-enc-reaches-10000-enc-milestone>.
4. Сайт IC-ENC. URL: <https://www.ic-enc.org/revenue-management>
5. «PRIMAR NEWSLETTER 1-2023». URL: [https://primarweb-uploads.s3-eu-west-1.amazonaws.com/public/eNewsletter 1-2023.pdf](https://primarweb-uploads.s3-eu-west-1.amazonaws.com/public/eNewsletter%201-2023.pdf).
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 20 августа 2015 г. N 868 «Об утверждении правил предоставления права использования от имени Российской Федерации государственных морских навигационных карт и определения размера вознаграждения за их использование (в ред. Постановления Правительства РФ от 21.12.2016 N 1418).
7. S-100 Universal Hydrographic Data Model. URL: <https://iho.int/en/s-100-universal-hydrographic-data-model>.

DISTRIBUTION OF STATE MARINE ELECTRONIC NAVIGATION CHARTS IN RUSSIA AND ABROAD

O. D. Osipov (“GNINGI” JSC), **S. V. Travin** (Russian Geographical Society)

The issues of electronic navigational nautical charts distribution through international regional coordination centers and the possibility of forming a Russian center for ENC distribution are considered.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.463/.468

РАЗВИТИЕ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНЫХ МОРСКИХ ПРОГНОЗОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

**Г. К. КОРОТАЕВ, А. И. МИЗЮК,
А. Л. ХОЛОД (ФГБУН ФИЦ МГИ),
А. Г. ЗАЦЕПИН, А. Г. ОСТРОВСКИЙ (ИО РАН),
Е. Г. ЛУНЕВ (ООО «МАРЛИН-ЮГ»)**

Для решения различного рода прикладных задач в работе представлена концепция создания региональной системы оперативного прогноза Баренцева моря, основанная на национальных источниках входной информации.

Введение. Общая характеристика систем оперативного прогноза, реализованных в РФ

Современное развитие технических и программных средств позволяет выполнять непрерывный мониторинг состояния океана от поверхности до дна в любых его акваториях. Он основан на получении в реальном времени данных контактных и спутниковых измерений и их усвоении в численных моделях [1]. Так, в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Морской гидрофизический институт РАН» (ФГБУН ФИЦ МГИ) функционирует Черноморский центр морских прогнозов. Разработка, эксплуатация и развитие центра и его компонент осуществлялась последние 20 лет в рамках ряда проектов рамочных программ Европейского союза, таких как ARENA, ECOOP, MyOcean, MyOcean2 и др. [2–4]. С 2017 по 2020 гг. при реализации проекта РНФ № 17-77-30001 «Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна» во взаимодействии с институтом вычислительной математики им. Г. И. Марчука Российской академии наук, институтом океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук и государственным океанографическим институтом имени Н. Н. Зубова создан макет многокомпонентной системы диагноза и прогноза состояния Мирового океана, Арктического бассейна и Азово-Черноморского региона [5]. Для качественной работы оперативных систем морских прогнозов необходимы данные атмосферного форсинга, данные спутниковых измерений температуры морской поверхности, спутниковых альтиметрических измерений, данные о ледовой обстановке и данные натуральных измерений. В настоящее время все эти данные предоставляются западными организациями. В частности, атмосферный форсинг предоставляется системой GFS (Global Forecasting System), функционирующей в метеорологическом центре NCEP/NOAA, данные оперативных спутниковых измерений – морской службой Copernicus, данные натуральных измерений профилей температуры и солености

измеряются буйами-профилемерами ARGO и передаются через центры обработки данных в Монтеррее (США) и в Тулузе (Франция).

Накопленный опыт прогнозирования морской среды позволяет создавать региональные системы оперативных морских прогнозов повышенного разрешения в морях России или критически важных районах Мирового океана, адаптируя их под доступные системы наблюдений, в том числе и для решения специальных прикладных задач. Однако для реализации полностью отечественной системы регионального прогноза необходимо опираться на национальные данные атмосферного прогноза и оперативных гидрологических наблюдений. В настоящей статье для решения прикладных задач развивается концепция создания региональной системы прогноза Баренцева моря, основанной на национальных источниках входных данных.

Атмосферный прогноз

Основной национальной моделью глобального среднесрочного прогноза погоды в России с 2010 г. является глобальная полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ (ПолуЛагранжева, основанная на уравнении Абсолютной завихренности) [6]. Блок решения уравнений динамики атмосферы разработан в Институте вычислительной математики РАН и Гидрометцентре России. Современные вычислительные ресурсы позволяют инкорпорировать ее в региональную систему морских прогнозов для производства регионального атмосферного прогноза с повышенным пространственным разрешением.

Система оперативных наблюдений Баренцева моря

На основе анализа результатов накопленных оперативных прогнозов в Арктическом бассейне удалось выделить следующие основные процессы, неверное воспроизведение которых приводит к повышенным погрешностям в воспроизведении полей Баренцева моря.

1. Субдукция вод из верхнего квазиоднородного слоя в толщу моря, связанная с особым атмосферным режимом и положением поверхностных фронтов;
2. Распространение теплых атлантических вод из Северной Атлантики Норвежским течением.

Повышение точности прогнозов достигается контролем отмеченных выше процессов посредством организации непрерывных оперативных наблюдений. Отечественные разработки аппаратных комплексов для проведения оперативных наблюдений распределений температуры и солености морской воды, такие как автономные поверхностные дрейфующие буи с термохалокосами (с длиной косы до 100 метров) и автономные зондирующие буй-профилемеры, позволяют развернуть в Баренцевом море наблюдательную сеть для решения поставленной выше задачи.

Автономный поверхностный дрейфующий буй (дрифтер) с термохалокосой разработан в ООО «Марлин-Юг». Он основан на использовании универсальной измерительной платформы, обладающей цифровой термопрофилирующей линией с глубиной профилирования до 100 м и позволяющей проводить высокочастотные оперативные измерения температуры верхнего деятельного слоя океана. Возможна интеграция в термолинию от 1 до 3 датчиков солености на основе измерения скорости звука так, как это сделано в дрифтере-солемере [7]. Ведется также проработка подключения автономных поверхностных дрейфующих буюв с термохалокосой к системе связи Гонец для передачи данных измерений. Высокочастотные оперативные

измерения температуры и солености верхнего деятельного слоя океана позволят повысить точность прогнозов его состояния и в частности, процесса субдукции вод.

Автономный зондирующий буй-профилемер для оперативных измерений профилей температуры и солености морской воды разработан в Институте океанологии РАН. Он оснащен балластной системой переменного объема, позволяющей проводить измерения температуры и солености морской воды при погружении, а также при всплытии на поверхность моря для передачи данных в центр управления. При погружении буй достигает морского дна и остается на нем вплоть до следующего всплытия по расписанию. Такой позиционный буй-профилемер (ПБП) является свободно-дрейфующим только в короткие промежутки времени и поэтому будет находиться в заданной акватории значительно дольше, чем свободно-дрейфующий буй программы ARGO, который непрерывно перемещается под воздействием течения. Это дает возможность развертывания компактной группировки ПБП, которая может автономно функционировать в заданном регионе в течение многих месяцев с незначительным риском попадания под лед. Планируется разработка постановки ПБП с помощью вертолета, что позволит решить задачу оперативного развертывания региональной группировки. ПБП в составе группировки будут периодически всплывать к поверхности моря, проводя синхронные измерения вертикальных распределений температуры и скорости звука в воде. Изделие оснащено гидрофизическими датчиками (давления, температуры воды и скорости звука) российского производства. Данные измерений будут передаваться после всплытия ПБП по каналу спутниковой связи Гонец. На этапе обработки в центре управления и приема данных по данным измерений температуры воды, давления и скорости звука будут вычисляться значения солености и плотности воды. Применение ПБП позволит решить задачу долговременного получения оперативных данных о подводной среде в акватории Баренцева моря восточнее 20° в. д. и южнее 74° с. ш. В данной акватории целесообразно использовать ПБП с относительно небольшой рабочей глубиной погружения (350 м), что существенно упростит ее разработку и удешевляет изготовление серии ПБП. Достоинством ПБП является возможность непрерывного контроля распределений температуры и солености в толще вод Баренцева моря, что позволит, в частности, более точно воспроизводить распространение Атлантических вод.

На рис. 1 представлена модель предлагаемой наблюдательной системы.

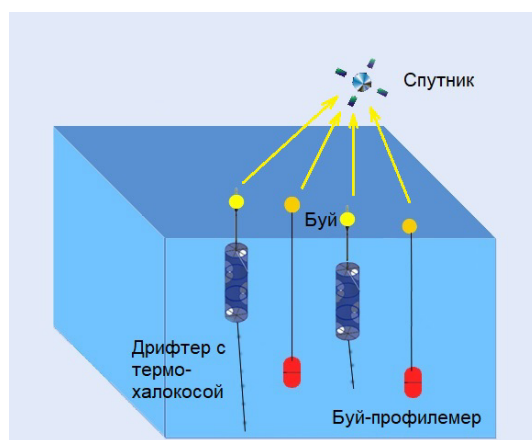


Рис. 1. Модель наблюдательной системы

Предварительные оценки, сделанные на основе опыта прогнозов полей Арктического бассейна, показывают, что для достижения точности прогнозов полей на уровне данных центра морских прогнозов программы Коперник [8] будет достаточно поддерживать наблюдательную сеть из распределенных специальным образом пяти – шести дрейфтеров с термохалокосами и такого же количества буюе-профилемеров.

Модели Арктического бассейна

В качестве моделей Арктического бассейна могут быть использованы следующие численные модели, уже апробированные при производстве оперативных морских прогнозов с ассимиляцией наблюдений.

– Модель INMIO, основанная на оригинальной вихререзающей модели океанической циркуляции, являющейся совместной разработкой Института вычислительной математики РАН и Института океанологии РАН. При выполнении исследований в рамках проекта РНФ № 17-77-30001 «Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна» модель INMIO была базовой для прогноза полей Мирового океана, однако она также подготовлена для осуществления прогнозов в Арктике.

– Модель INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model), основанная на модели общей циркуляции океана. В основе численной реализации и отдельных параметризаций INMOM лежат оригинальные современные методы, разработанные и реализованные в ИВМ РАН, которые позволяют применять модель INMOM, использующую по вертикали так называемую сигма-координату, для вихререзающего воспроизведения циркуляции Мирового океана и его отдельных акваторий. В рамках проекта РНФ № 17-77-30001 «Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна» модель INMIO была базовой для прогноза полей Арктического бассейна.

Комплекс численного моделирования состояния океана NEMO

Опыт, полученный ранее при развитии системы центра морских прогнозов для дальнейшей работы в рамках службы Copernicus, показал перспективность применения междисциплинарного модельного комплекса NEMO [9] для решения задач прогноза полей Мирового океана и окраинных морей России. Комплекс активно используется для решения различных фундаментальных и прикладных задач в ФГБУН ФИЦ МГИ [10, 11] в Российской Федерации [12], а также является одним из наиболее развитых за счет большого сообщества разработчиков и поддержки европейских центров морских прогнозов, занимающих лидирующие позиции в области оперативной океанографии как по Мировому Океану [13], так в отдельных его районах, например, шельфовых морях севера Европы [14], акваториях с узкими проливами (Гибралтар [15], Каттегат и Скагеррак в Балтийском море [16]) и т. д. Отметим, что в ФГБУН ФИЦ МГИ для NEMO разработаны конфигурации, адаптированные к акватории Мирового океана, Арктического бассейна и морей Эвксинского каскада (Азовского, Черного, Мраморного и Эгейского морей). Расчет гидрофизических параметров в комплексе осуществляется на основе уравнений термогидродинамики океана со свободной поверхностью в приближении Буссинеска, гидростатики и несжимаемости жидкости в криволинейных координатах, что дает возможность использовать произвольную горизонтальную сетку. Кроме того,

реализованы два типа вертикальных координат и их гибридные комбинации. Такие особенности дают возможность использования комплекса для решения прикладных задач в ограниченных акваториях прибрежной зоны с открытой границей. Кроме того, NEMO включает модули расчета термодинамики морского льда с учетом его дрейфа.

Характеристика базовой системы прогноза полей Баренцева моря

Предлагаемая базовая система оперативного прогноза полей Баренцева моря ориентирована на использование отечественных наблюдений, однако в ней возможно также усвоение всей доступной оперативной информации из любых источников. Она основана на использовании входных данных атмосферного воздействия, получаемых из модели ПЛАВ, данных оперативных измерений профилей температуры и солености, принимаемых с группировки автономных поверхностных дрейфующих буев с термохалокосами и автономных зондирующих буев-профилимеров, которые передают информацию через систему спутниковой связи Гонец в центр обработки данных, а также, при наличии возможности, данных обработки наблюдений отечественных искусственных спутников Земли (ИСЗ), осуществляемых в научно-исследовательском центре космической гидрометеорологии «Планета». Перечисленные выше входные данные должны поступать в оперативном режиме на расчетный кластер, где запускается модель Баренцева моря. В состав системы должен входить модуль ассимиляции данных спутниковых и натурных наблюдений. Система ассимиляции должна работать таким образом, чтобы корректировать граничные условия, которые могут быть заданы априори на основе использования климатических полей температуры и солености морской воды. Как уже отмечалось выше, для достижения с отечественными моделями уже имеющихся точностей прогноза сеть наблюдений должна включать пять – шесть специальным образом распределенных дрейфтеров с термохалокосами и буев-профилимеров.

На рис. 2 представлена структурная схема прототипа предлагаемой автономной системы оперативных морских прогнозов Баренцева моря, основанной на национальных источниках входной информации.

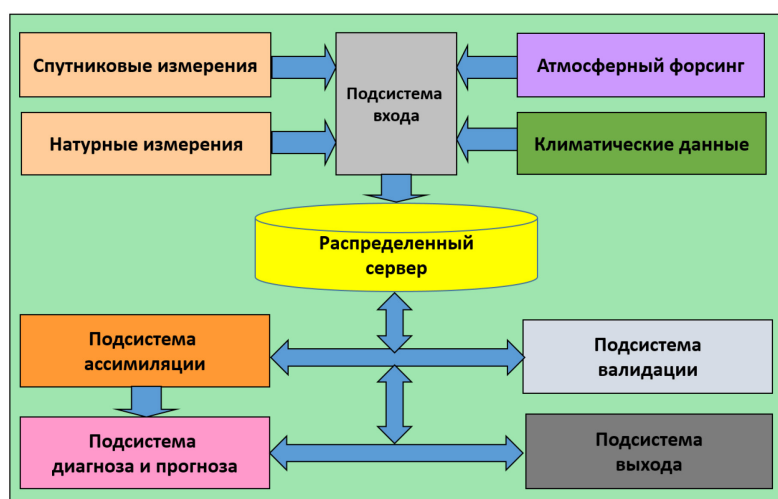


Рис. 2. Структурная схема прототипа автономной системы оперативных морских прогнозов Баренцева моря

При построении системы используется модульный подход, что позволяет использовать не только одну из перечисленных выше моделей циркуляции вод Баренцева моря, но и вновь создаваемые модели, если они позволят повысить точность оперативных прогнозов.

Выводы

Накопленный в стране опыт реализации систем морского прогноза современного уровня позволяет приступить к развитию системы прогнозов полей Баренцева моря, основанной на национальных источниках информации. При ее реализации целесообразно использование отечественной модели ПЛАВ для расчета атмосферных прогнозов, необходимых для постановки граничных условий на поверхности моря. Необходимо также развертывание системы оперативных наблюдений Баренцева моря, в основу которых могут быть положены дрейфтеры с термохалокосами и отечественная разработка буев-профилемеров, измеряющих вертикальные распределения температуры и солености морской воды. Опыт прогнозирования полей Арктического бассейна показывает, что для достижения точности прогнозов полей на уровне данных центра морских прогнозов программы Коперник будет достаточно поддерживать наблюдательную сеть из распределенных специальным образом пяти – шести дрейфтеров с термохалокосами и такого же количества буев-профилемеров. Желательно также усвоение в системе прогнозов Баренцева моря данных спутниковых наблюдений температуры поверхности моря и границ ледового покрова, построенных по данным наблюдений с отечественных ИСЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коротаев Г. К. Оперативная океанография – новая ветвь современной океанологической науки // Вестник РАН. – 2018. – Т. 88. – № 7. – С. 579–588. doi: 10.31857/S086958730000081-7
2. Коротаев Г. К., Ратнер Ю. Б., Иванчик М. В., Холод А. Л., Иванчик А. М. Оперативная система диагноза и прогноза гидрофизических характеристик Черного моря // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2016. – Т. 52. – № 5. – С. 609–617.
3. Холод А. Л., Ратнер Ю. Б., Мамчур Н. Л. и др. Автоматическая система мониторинга морской среды Севастопольского региона Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2015. – № 4 (184). – С. 75–87.
4. Ратнер Ю. Б., Фомин В. В., Иванчик А. М. и др. Система оперативного прогноза ветрового волнения Черноморского центра морских прогнозов // Морской гидрофизический журнал. – 2017. – № 5 (197). – С. 56–66.
5. Коротаев Г. К., Холод А. Л., Мизюк А. И., Ратнер Ю. Б. Прототип отечественной системы непрерывного анализа и прогноза полей Мирового океана, Арктического и Азово-Черноморского бассейнов // Межотраслевой корпоративный научно-технический журнал: Морские информационно-управляющие системы. АО Концерн «Моринформсистема-Агат». – 2020. – № 1 (17). – С. 40–47.
6. Толстых М. А. Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. – М., Обнинск: ОАО ФООП, 2010. – 111 стр.
7. Коротаев Г. К., Толстошеев А. П., Лунев Е. Г. и др. Долговременные автономные наблюдения солености морской воды по измерениям температуры и скорости звука в поверхностном слое Черного моря // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2022. – Т. 503, – № 2. – С. 166–171.
8. Сайт службы мониторинга морской среды Европейского союза Copernicus Marine Service. URL: <https://marine.copernicus.eu>. Дата обращения 15.12.2023.
9. Madec G. and NEMO System Team NEMO ocean engine // Scientific Notes of Climate Modelling Center. Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL). – 2016. – Iss. 27. – P. 412.

10. Мизюк А. И., Сендеров М. В., Коротаев Г. К., Саркисян А. С. Особенности горизонтальной изменчивости температуры поверхности в западной части Черного моря по результатам моделирования с высоким пространственным разрешением // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2016. – Т. 52. – № 5. – С. 639–648.
11. Мизюк А. И., Коротаев Г. К., Григорьев А. В., Пузина О. С., Лишаев П. Н. Долгопериодная изменчивость термохалинных характеристик Азовского моря на основе численной вихререзающей модели // Морской гидрофизический журнал. – 2019. – № 5. – С. 496–510.
12. Stepanov V. N., Resnyanskii Yu. D., Strukov B. S., Zelenko A. A. Large-scale Ocean Circulation and Sea Ice Characteristics Derived from Numerical Experiments with the NEMO Model // Russian Meteorology and Hydrology. – 2019. – Vol. 44. – № 1. – P. 33–44.
13. Gasparin F., Rémy E., Greiner E., Legalloudec O., Drévilion M., Traon P. L., Lellouche J. M., Bourdallé-Badie R., Garric G., Drillet Y. A large-scale view of oceanic variability from 2007 to 2015 in the global high resolution monitoring and forecasting system at Mercator Océan // J. of Marine Systems. – 2018. – Vol. 187. – P. 260–276.
14. Graham J. A., O’Dea E., Holt J., Polton J., Hewitt H. T., Furner R., Guihou K., Breerton A., Arnold A., Wakelin S., Castillo Sanchez J. M., Mayorga Adame C. G. AMM15: a new high-resolution NEMO configuration for operational simulation of the European north-west shelf // Geosci. Model Dev. – 2018. – Vol. 11. – P. 681–696.
15. Rainaud R., Aouf L., Dalphiné A., Garcia Sotillo M., Alvarez-Fanjul E., Reffray G., Levier B., Law-Chune S., Lorente P., Toledano C. Impact of wave physics on ocean–wave coupling in CMEMS-IBI Part B: Validation study // Ocean Science Discussions. – 2019. – Vol. 12. – P. 1–35.
16. Hordoír R., Axell L., Höglund A., Dieterich C. et al. Nemo-Nordic 1.0: a NEMO-based ocean model for the Baltic and North seas – research and operational applications // Geoscientific Model Development. – 2019. – Vol. 12. – P. 383–386.

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS SYSTEM OF OPERATIONAL MARINE FORECASTS OF THE BARENTS SEA BASED ON NATIONAL OCEANOLOGICAL OBSERVATIONS

G. K. Korotaev, A. I. Mizyuk, A. L. Kholod (FSBIS of the FRC “Marine Hydrophysical Institute RAS”), **A. G. Zatsepin, A. G. Ostrovskiy** (FSBIS “Institute of Oceanology named after P. P. Shirshov RAS”), **E. G. Lunev** (“Marlin-Yug” LLC)

The paper presents the concept of developing the regional operational forecast system for the Barents Sea based on national sources of input information to solve various kinds of applied problems.

**ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА С ПОМОЩЬЮ
ПОДВОДНОГО ГИДРОЛОКАТОРА «ТРЕЗУБЕЦ» В АРКТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

**Ю. А. ТИТЧЕНКО, В. Ю. КАРАЕВ,
Е. М. МЕШКОВ (ИПФ РАН),
С. М. КОВАЛЕВ, И. А. КУШЕВЕРСКИЙ,
С. В. ХОТЧЕНКОВ (ФГБУ «АНИИ»)**

Работа посвящена описанию длительных измерений с подводным гидролокатором «Трезубец» на полярной станции «Мыс Баранова» АНИИ. Целью работы является развитие гидроакустических методов измерения параметров ледяного покрова.¹

Введение

В настоящее время основным источником информации о параметрах приповерхностного слоя Мирового океана стали орбитальные радиолокаторы. Это обусловлено возможностью оперативного получения актуальной информации о водной поверхности по всему Мировому океану независимо от атмосферных условий или освещенности. Однако эта информация может использоваться только после проведения подспутниковых измерений и последующей валидации алгоритмов тематической обработки радиолокационных данных, поэтому разработка новой измерительной аппаратуры для проведения подспутниковых измерений морского волнения является актуальной задачей и должна вестись параллельно с разработкой радиолокационной аппаратуры. Прорывом в решении задач подспутниковых измерений и наземной калибровки будет применение методов подводной гидроакустики. Это позволит проводить измерения в любом месте Мирового океана без использования стационарных платформ, не возмущая измеряемую поверхность. Кроме того, подводная акустика может работать в любых условиях, например, при сильных штормах и во время осадков, в Северном Ледовитом океане, а также в замерзающих внутренних водоемах. Измерение основных параметров поверхностного волнения и характеристик ледяного покрова с помощью подводных гидроакустических систем впервые позволит проводить валидацию всей тематической информации, которая будет извлекаться из спутниковых данных перспективных российских и иностранных космических аппаратов.

Кроме того, во внутренних водоемах подводная гидроакустика впервые сможет обеспечить постоянный мониторинг процессов образования и разрушения ледяных покровов, а также информировать об изменении уровня воды в водоеме.

При работах на ледяном покрове важнейшее значение имеет знание его толщины, что необходимо для обеспечения безопасности работ на льду [1] и оценки его физико-механических характеристик [2]. Толщина льда является важнейшим фактором для расчета несущей способности, ледовых нагрузок на суда и инженерные

¹ По теме данной статьи был сделан доклад на конференции «Технические средства океанографии. Настоящее и будущее», 11–13 октября 2023 года, УНиО МО РФ, Санкт-Петербург.

сооружения, а также является важным фактором, определяющим климат Земли. Контактные методы определения толщины льда трудоемки, требуют значительного времени, измерения выполняются в отдельных точках.

Информация о толщине ледяного покрова предоставляется космическими и самолетными лазерными [3] и радио [4] альтиметрами. Толщина льда вычисляется по изменению дистанции до верхней границы ледяного покрова, по сравнению с расстоянием до чистой воды.

Существует ряд приборов, например, георадар Пикор-лед, разработанный компанией ООО «ФПК «Экстра» [5], для бесконтактного надледного измерения толщины льда. Этот прибор хорошо работает на льдах, образующихся в пресной или распреснённой (соленостью до 24,7 промилле) воде.

Дистанционные измерения толщины льда из-под воды имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными контактными и дистанционными сверху. Во-первых, не требуется измерения высоты снежного покрова, что является отдельной непростой задачей для дистанционных методов. Во-вторых, при установке прибора на подводный дрон трещины, разводья и гряды торосов не являются препятствием, радиус применения ограничен только возможностями самого дрона. Таким образом можно составлять подробные карты толщин, что очень важно для мест, где толщина льда меняется значительно, например, вблизи ледяных образований или инженерных сооружений.

Известны и активно применяются методы гидроакустического определения толщины льда из-под воды [6–9], в которых для анализа используют время прихода отраженного импульса от нижней кромки льда в сочетании с датчиком гидростатического давления.

В работе [10] представлены возможности подводного акустического волнографа по измерению толщины пресноводного льда по отражениям от нижней и верхней границы ледяного покрова. В разрабатываемом новом подходе для определения толщины ледяного покрова будут анализироваться времена приходов отраженного импульса от нижней и верхней кромок ледяного покрова, т. е. используется другой принцип, что позволит сравнивать измерения для оценки их точности. Подобный подход наблюдения нижней и верхней границы ледяного покрова с помощью широкополосного ультразвукового сигнала в лабораторном эксперименте рассматривается в работе [11].

Сочетание такого подхода определения толщины льда с классическим методом позволит получить новую информацию, например, о скорости звука во льду или о градиенте температуры внутри ледяного покрова (разность температур верхней и нижней границ льда).

Благодаря подводному размещению и управлению/передаче данных по кабелю впервые можно будет получить массив данных от начала формирования ледяного покрова и до момента его таяния, т. е. и для тех состояний, когда выход на тонкий или рыхлый лед является опасным и грозит потерей измерительной аппаратуры, которая размещается сверху. Это позволит проанализировать зависимость свойств льда от стадии формирования до стадии разрушения ледяного покрова. В отличие от притопленных буйковых станций [9, 12], работающих в автономном режиме, передача данных по кабелю позволяет получать информацию о ледовой обстановке практически в реальном времени и управлять работой прибора дистанционно.

Использование импульсного канала с высокой частотой повторения (до 100 Гц) позволит отслеживать колебания ледяного покрова на ранних стадиях формирования. Такие колебания могут быть связаны, например, с волнами зыби.

До формирования сплошного ледяного покрова доплеровский и импульсный каналы позволят измерять параметры морских волн в присутствии ледяного сала, шуги и блинчатого льда.

Данная работа посвящена описанию долговременных экспериментов с подводными гидролокаторами «Трезубец» и «Трезубец-2» на полярной станции «Мыс Баранова» Арктического и Антарктического научно-исследовательского института, проведенных с января по апрель 2020 и 2021 гг. Целью работы является исследование особенностей отражения акустических сигналов на частотах 43 кГц и 200 кГц при зондировании ледяного покрова из-под воды. Также важной задачей работы является проверка долговременной работоспособности прибора и оценка возможностей подводного гидролокатора проводить непрерывные дистанционные измерения толщины ледяного покрова и уровня воды.

Описание эксперимента

Подводные гидролокаторы «Трезубец» и «Трезубец-2» устанавливались на дно пролива Шокальского в бухте Амба на глубине 25 м. «Трезубец» был установлен 20 января 2020 г., «Трезубец-2» – 12 февраля 2021 г. Место установки на карте Архипелага Северная Земля показано на рис. 1.

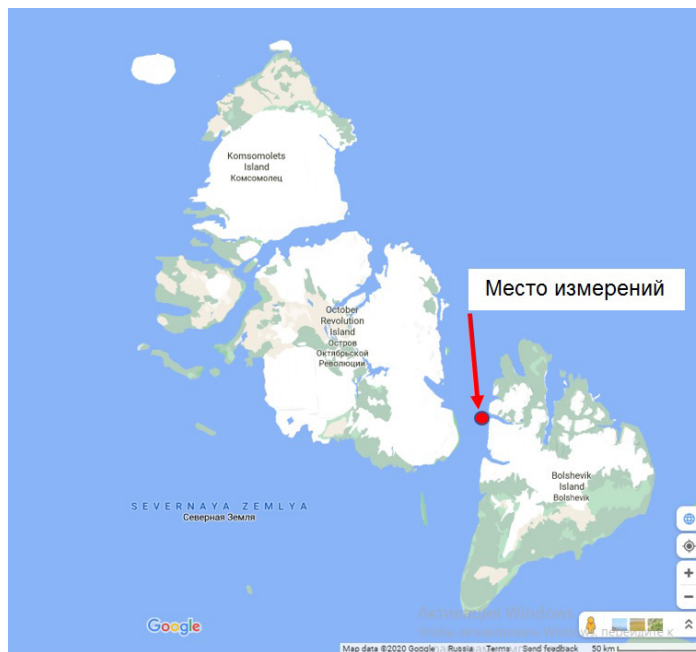


Рис. 1. Архипелаг Северная Земля и место установки подводных гидролокаторов

На рис. 2 приведены фотографии внешнего вида подводных гидролокаторов перед установкой.



Рис. 2. Фотографии подводных гидролокаторов «Трезубец» (слева) и «Трезубец-2» (справа) перед установкой

На рис. 3 приведено место установки волнографа надо льдом относительно берега. Здесь видно кабель на опорах, который тянется от акустического волнографа «Трезубец-2» до места регистрации данных.



Рис. 3. Место погружения акустического волнографа относительно берега

Подводные гидролокаторы «Трезубец» и «Трезубец-2» изготовлены в ИПФ РАН, г. Нижний Новгород. Основной частью приборов является импульсный

гидролокатор, причем импульсный гидролокатор «Трезубца» работает только на одной частоте 200 кГц, а «Трезубец-2» может излучать импульсы на несущей частоте 200 кГц и 43 кГц. Помимо импульсного канала, «Трезубец» оснащен доплеровским каналом, позволяющим измерять доплеровский спектр отраженного сигнала. Доплеровский канал оборудован одной непрерывно передающей и одной непрерывно приемной антеннами с диаграммой направленности 15° , такой же, как и для импульсной части. Излучаемая частота – 200 кГц, прием также происходит вблизи этой частоты. Доплеровский спектр формируется движением отражающих объектов. Этот канал предназначен для измерения скорости дрейфа ледяного покрова, но его работа здесь рассматриваться не будет.

Антенный блок содержит антенны с симметричными диаграммами направленности, раскрыв которых на уровне половинной мощности равен 45° (для 43 кГц) и 15° (для 200 кГц у обоих приборов). Приемно-передающие антенны импульсных гидролокаторов ориентированы вертикально вверх на морскую поверхность. Рабочие частоты генератора гидролокаторов составляют 200 кГц (длина излученной волны в воде – 7,5 мм) и 43 кГц (длина излученной волны в воде – 3,5 см). Длительность излученного импульса может составлять 1, 2, 4 и 8 периодов генератора, т. е. меняется от 5 до 40 мкс для 200 кГц и от 23 до 185 мкс для 43 кГц. Длительность импульса регулируется независимо для каждого гидролокатора. Частота следования импульсов может составлять 5 Гц, 10 Гц, 40 Гц и 100 Гц.

В качестве вспомогательного оборудования гидролокаторы оснащены двухосевыми инклинометрами, измеряющими отклонение антенны импульсного канала от вертикали, а также датчиком температуры. «Трезубец» оснащен датчиком гидростатического давления.

Приборы соединяются с компьютером на берегу 600-метровым кабелем, который проложен на поверхности льда с помощью специальных опор (рис. 3).

Целями работы с гидролокаторами на полярной станции, были:

- 1) проверка возможности детектирования нижней и верхней границы ледяного покрова в морских условиях подводным гидролокатором с излучаемой длиной акустической волны 7,5 мм и 3,5 см;
- 2) исследование суточных колебаний уровня воды с помощью гидролокаторов с частотами 43 кГц и 200 кГц;
- 3) проверка долговременной работоспособности устройства в арктических условиях.

Особенности отражения акустических импульсов

Рассмотрим записи импульсных гидролокаторов (43 кГц и 200 кГц) акустического волнографа «Трезубец-2», произведенные 3 и 4 марта 2021 г. в течение 600 секунд каждым (рис. 4).

На рис. 4 видно, что близко к гидролокатору находятся сильные отражатели на частоте 43 кГц, отражательная способность которых значительно ниже на 200 кГц.

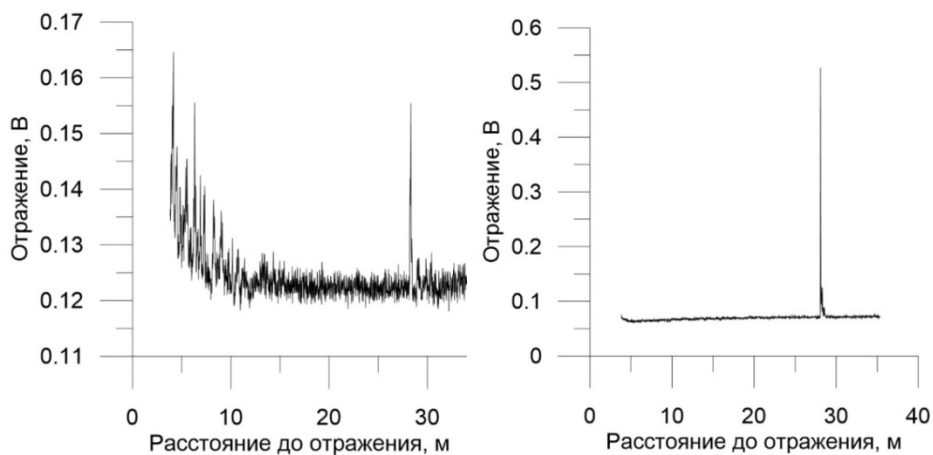


Рис. 4. Записи отражений на всей глубине от дна до поверхности воды, измеренные гидролокатором 43 кГц 3 марта (слева) и гидролокатором 200 кГц 4 марта (справа)

На рис. 5 приведена фотография вблизи установленного на место измерений подводного акустического волнографа «Трезубец-2», выполненная 1 марта с помощью подводного фотоаппарата.



Рис. 5. Фотография вблизи установленного на место измерений подводного акустического волнографа «Трезубец-2»

На этой фотографии видно наличие ледяной взвеси, которая образуется и падает с нижней поверхности ледяного покрова. Возможно, именно с ней связано значительное отражение вблизи гидролокатора «Трезубца-2» на 43 кГц. Дополнительно получаем, что на частоте 43 кГц можно оценить распределение по глубине концентрации ледяной взвеси.

На рис. 6 приведены примеры отраженных импульсов, измеренных гидролокатором на 43 кГц с 3 марта по 6 мая 2021 г., полученных с оптимальными настройками акустического волнографа для данной частоты повторения импульсов (5 Гц), а именно при максимальной излученной мощности и при максимально возможном усилении на прием и накопленные за 600 секунд. На рис. 6 показаны отражения только вблизи ледяного покрова.

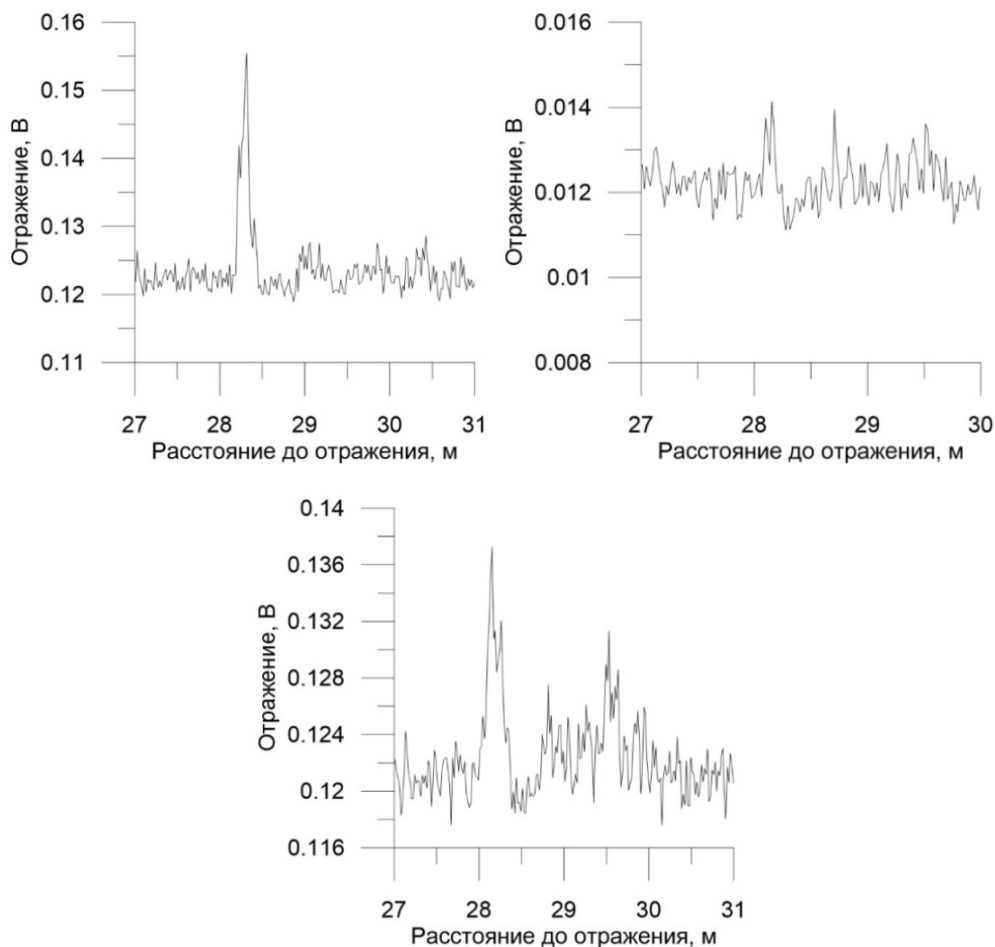


Рис. 6. Примеры отраженных импульсов, измеренных гидролокатором на 43 кГц

На рис. 7 приведен пример отраженного импульса, измеренного одночастотным гидролокатором «Трезубец» на 200 кГц, накопленный за 12 секунд (60 импульсов) в марте 2020 года.

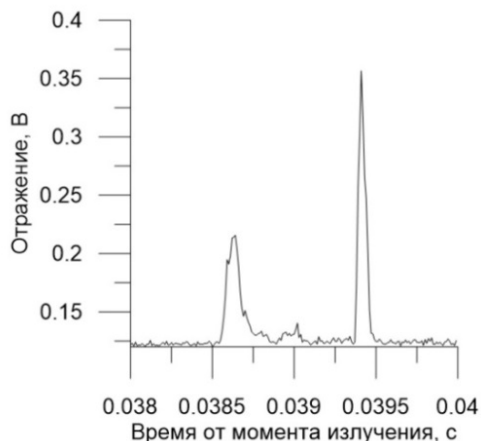


Рис. 7. Отраженный импульс (200 кГц) в результате усреднения 67 импульсов за 12 с

Первый максимум на рис. 8 соответствует 29 метрам, что вполне соответствует расстоянию от излучателя до нижней границы вода – лед в марте 2020 г. Второй максимум похож на отражение от верхней границы лед – воздух, поскольку из теоретических соображений (соотношений акустических импедансов) отражение от верхней границы должно быть энергетически больше, чем от нижней. Однако этот вывод требует подтверждения в сравнении с контактными измерениями, которые будут проведены в дальнейших работах.

Результаты измерений

По импульсам, измеренным 3 марта гидролокатором 43 кГц, можно отследить время задержки импульса до первого и второго максимума, как на рис. 8.

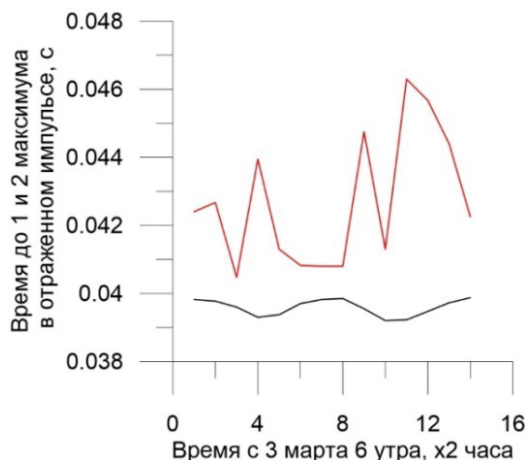


Рис. 8. Время задержки до первого (черный) и второго максимума (красный) в отраженном импульсе

По рис. 8 видно, что разница времени задержки импульса между первым и вторым максимумом меняется за 28 часов, что не должно было бы произойти, если эта

разница связана с толщиной ледяного покрова. Таким образом, в дальнейшем следует усовершенствовать алгоритм оценки верхней границы ледяного покрова.

Рассмотрим записи импульсного канала, сделанные за 20 часов 3 и 6 марта 2020 г. гидролокатором 200 кГц (рис. 9).

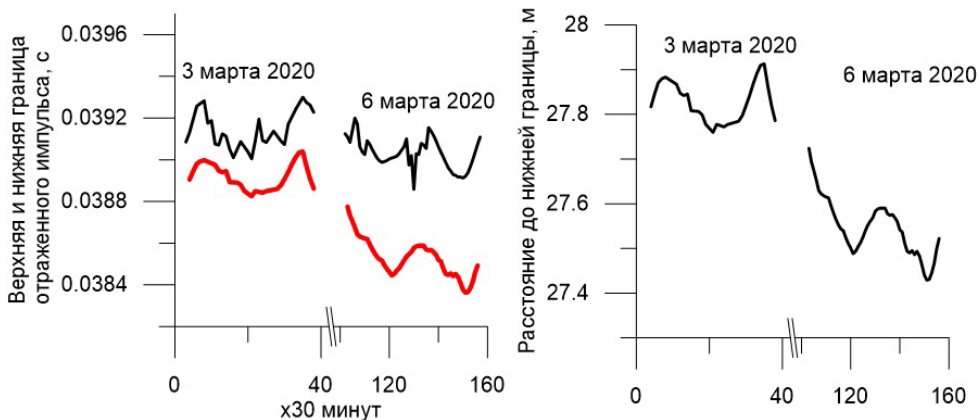


Рис. 9. Слева – время задержки до первого отражения (красный) и второго отражения (черный). Справа – расстояние от «Трезубца» до нижней границы ледяного покрова в метрах

На рисунке слева показано время задержки до первого отражения (красный) и второго отражения (черный) за 20 часов 3 марта и за 20 часов 6 марта (каждая точка представляет собой усреднение значения за 100 секунд с интервалом 30 минут). На правом графике приведен пересчет задержки до нижней границы в метрах. В результате график иллюстрирует суточные колебания нижней кромки ледяного покрова за 3 и 6 марта, вызванные суточными колебаниями уровня воды. Записи 3 и 6 марта начинаются с 18:00 по московскому времени.

Далее рассмотрим записи импульсных гидролокаторов, выполненные за 56 часов с 6 утра 3 марта 2021 года на рис. 10.

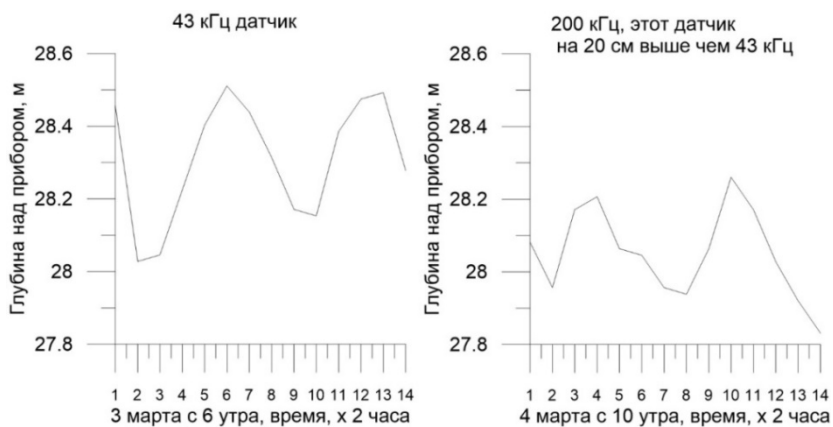


Рис. 10. Временная изменчивость дальности до максимального отражения измеренные гидролокаторами на частотах 43 кГц и 200 кГц

На рис. 10 приведен пересчет задержки до максимального отражения в метры. В результате графики иллюстрируют двухсуточные колебания нижней кромки ледяного покрова за 3 и 4 марта, вызванные приливными колебаниями уровня воды.

Выводы

В результате выполненных работ получен уникальный массив данных измерений гидролокаторов «Трезубец» и «Трезубец-2» в арктических условиях. Работоспособность устройств была продемонстрирована в многомесячных экспериментах в арктических условиях на глубине около 30 м. Подтверждена возможность наблюдения нижней и верхней границы ледяного покрова с помощью подводного гидролокатора с длиной излучаемой волны 7,5 мм (200 кГц) и 3,5 см (43 кГц). В дальнейшем эта информация будет использоваться для определения толщины ледяного покрова.

Гидролокатор, излучающий на частоте 43 кГц, оказался чувствительным к ледяной взвеси, спускающейся с нижней поверхности ледяного покрова. Это может быть использовано для оценки глубинного профиля концентрации ледяной взвеси. Однако потери при отражении от ледяной взвеси на 43 кГц могут вызвать проблемы при использовании предлагаемого алгоритма определения толщины ледяного покрова по двум отражениям в импульсе.

Выполнено измерение суточных колебаний уровня воды с помощью гидролокаторов на двух частотах 43 кГц и 200 кГц.

В дальнейшем требуется провести сравнение данных измерений с независимыми измерениями толщины льда, а также колебаний ледяного покрова и уровня воды, выполненных в тот же период на станции «Мыс Баранова».

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-10064, <https://rscf.ru/project/23-77-10064/>

ЛИТЕРАТУРА

1. Скутин А. А., Бузин И. В., Воскресенский К. С., Головин Н. В., Гудошников Ю. П., Замарин Г. А., Кубышкин Н., Смирнов К. Г., Соболюк Д. И. Обеспечение безопасности работ на припайных льдах в Арктике / Сборник докладов Международной выставки-конференции по судостроению и разработке высокотехнологичного оборудования для освоения континентального шельфа OMR, 13–16 сентября 2022 г. – Санкт-Петербург. – С. 198–203.
2. Kovalev S. M., Smirnov V. N., Borodkin V. A., Shushlebin A. I., Kolabutin N. V., Kornishin K. A., Efimov Y. O., Tarasov P. A., Volodin D. A. Physical and Mechanical Characteristics of Sea Ice in the Kara and Laptev Seas / Proceedings of the Twenty-ninth (2019) International Ocean and Polar Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, USA. – 2019, June 16–21. – Pp. 2535–2539.
3. Abdalati, W., Zwally H. J., Bindschadler R., et al. The ICESat-2 Laser Altimetry Mission // Proc. IEEE, – 2010. – 98(5). – Pp. 735–751. doi: 10.1109/JPROC.2009.2034765
4. Kaleschke L., Tian-Kunze X., Maaß N., Ricker R., Hendricks S. and Drusch M. Improved retrieval of sea ice thickness from SMOS and CryoSat-2 // 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). – Milan. – 2015. – Pp. 5232–5235. doi: 10.1109/IGARSS.2015.7327014
5. Ничипоренко Н. Т., Сиваченко Б. Н., Зеркаль А. Д. Измерение толщины льда на акватории морского порта с помощью прибора «ПИКОР-ЛЕД» // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2020. – № 2(3). С. 576–582. doi.org/10.21821/2309-5180-2020-12-3-576-582
6. Hudson R. Annual measurement of sea ice thickness using an upward looking sonar// Nature. – 1990. – Vol. 3(44). – No. 62. – Pp. 135–137.

7. Magnell B., Ivanov L., Siegel E. Measurements of ice parameters in the Beaufort Sea using the Nortek AWAC acoustic Doppler current profiler // OCEANS 2010 MTS/IEEE SEATTLE. – Seattle, WA, 2010. – Pp. 1–8.
8. Marko J. R., Fissel D. B., Jasek M. Recent developments in ice and water column profiling technology // IAHR Symposium on River Ice, Sapporo Japan, Aug. 28 – Sept. 1, 2006. – Pp. 37–44.
9. Birch R., Fissel D. B., Melling H., Vaudrey K., Schaudt K., Heideman J., Lamb W. // Ice Profiling Sonar: Upward Looking Sonar Provides Over-Winter Records of Ice Thickness and Ice Keel Depths off Sakhalin Island, Russia. Sea Technology, 2002. – 8 pp.
10. Titchenko Y., Karaev V., Ryabkova M., Panfilova M., Meshkov E., Yablokov A. // Experimental study of the possibility of using an underwater acoustic wave gauge in freezing waters to measure the thickness of the ice cover. Conference Paper. – OCEANS 2019. – Marseille, France, 2019. – Pp. 1–5. doi: 10.1109/OCEANSE.2019.8867337.
11. Bassett Ch., Lavery A. C., Lyons A. P. et al. Direct inference of first-year sea ice thickness using broadband acoustic backscattering // J. Acoust. Soc. Am. – 1 February 2020. – 147 (2). – Pp. 824–838. doi.org/10.1121/10.0000619
12. Ji X., Zhao H. Travel-time correction and preliminary results for ocean acoustic tomography in South China Sea // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 283. – P. 04003.

MEASUREMENT OF ICE COVER PARAMETERS USING THE UNDERWATER SONAR "TREZUBETS" IN ARCTIC CONDITIONS: FIRST RESULTS

Yu. A. Titchenko, V. Yu. Karaev, E. M. Meshkov (FSBIS FRC “Institute of Applied Physics named after A. V. Gaponov-Grekhov RAS”), **S. M. Kovalev, I. A. Kusheverskiy, S. V. Khotchenkov** (Arctic and Antarctic Research Institute).

The article is devoted to the description of long-term measurements with the underwater sonar "Trezubets" at the polar station "Cape Baranova" of the AARI. The aim of the work is to develop hydroacoustic methods for measuring ice cover parameters.

УДК 551.591/.515

СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТУМАНОВ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

И. В. ЛАВРОВА (ФГБОУ ВО «РГГМУ», АО «ГНИНГИ»),
Е. В. МАЛЬКОВА (ФГБОУ ВО «РГГМУ»)

В работе проанализированы пространственное распределение туманов над акваторией Баренцева моря и гидрометеорологические условия, при которых они наблюдаются. Наиболее распространенные типы туманов – адвентивные, туманы испарения и фронтальные туманы. Также рассмотрены синоптические ситуации, при которых они возникают.

Несмотря на оснащенность большинства судов современными радиолокационными системами, туманы над водой и в настоящее время представляют опасность для судоходства. При плохой видимости во время тумана приходится соблюдать особую осторожность при сложной навигационной обстановке – в узкостях, в прибрежных районах, вблизи островов, отмели, а также при выполнении маневра на расхождение со встречными судами. Поэтому изучение туманов над

морскими акваториями представляет собой актуальную задачу. В данной работе выполнено исследование пространственно-временного распределения туманов над незамерзающими районами Баренцева моря, гидрометеорологических факторов, влияющих на их образование и анализ синоптических ситуаций.

В районе Баренцева моря формируется нескольких типов туманов: туманы испарения, адвективные туманы охлаждения, туманы на теплых фронтах. При этом у каждого типа своя физика формирования, поэтому условия, при которых они возникают, сильно отличаются. Туманы испарения образуются над незамерзающей поверхностью моря за счет повышения влажности воздуха при адвекции воздушной массы холоднее воды. В результате интенсивного испарения воды с поверхности, влажность воздуха увеличивается, образуется туман. Такие туманы в основном характерны для холодного периода – с октября по март. Адвективные туманы, напротив, формируются в результате понижения температуры воздуха, когда на относительно холодную поверхность воды поступает более теплый воздух. Воздушная масса охлаждается, состояние насыщения наступает при понижении температуры воздуха до точки росы. Сами по себе адвективные туманы могут образовываться в любое время дня и в любой сезон, могут занимать большие площади и продолжаться до нескольких дней, а также тянуться до высоты нескольких сотен метров. Фронтальные туманы образуются главным образом в холодной воздушной массе при выпадении слабого дождя или мороси перед медленно движущимся теплым фронтом (или фронтом окклюзии по типу теплого) в результате испарения более теплых капель дождя или мороси. Туманы над акваторией могут наблюдаться и в результате опускания слоистых облаков. Также довольно часто фиксируются так называемые выносные туманы, когда ветер пригоняет туманную массу из другого района [1].

Исследования гидрометеорологических условий образований туманов в арктических морях осложняется слабой сетью наблюдений. Единственные доступные данные по явлениям погоды – это разовые нерегулярные судовые наблюдения. В настоящей работе использован массив судовых гидрометеорологических наблюдений Национального Климатического Центра Данных (NCDC) США с 1950 по 2021 гг., которые представляют собой архив фактических наблюдений с буёв, морских платформ и судов [2].

Повторяемость туманов в Баренцевом море по всей акватории имеет ярко выраженный годовой ход с летним максимумом (июль – август) и зимним минимумом (ноябрь – январь).

На рис. 1 показано распределение повторяемости туманов на акватории Баренцева моря по сезонам. Так, в зимний период туманы фиксируются преимущественно в северо-западной части моря вдоль кромки льда с повторяемостью до 5–10 % (рис. 1а). В целом по акватории зимой повторяемость туманов не превышает 1 %.

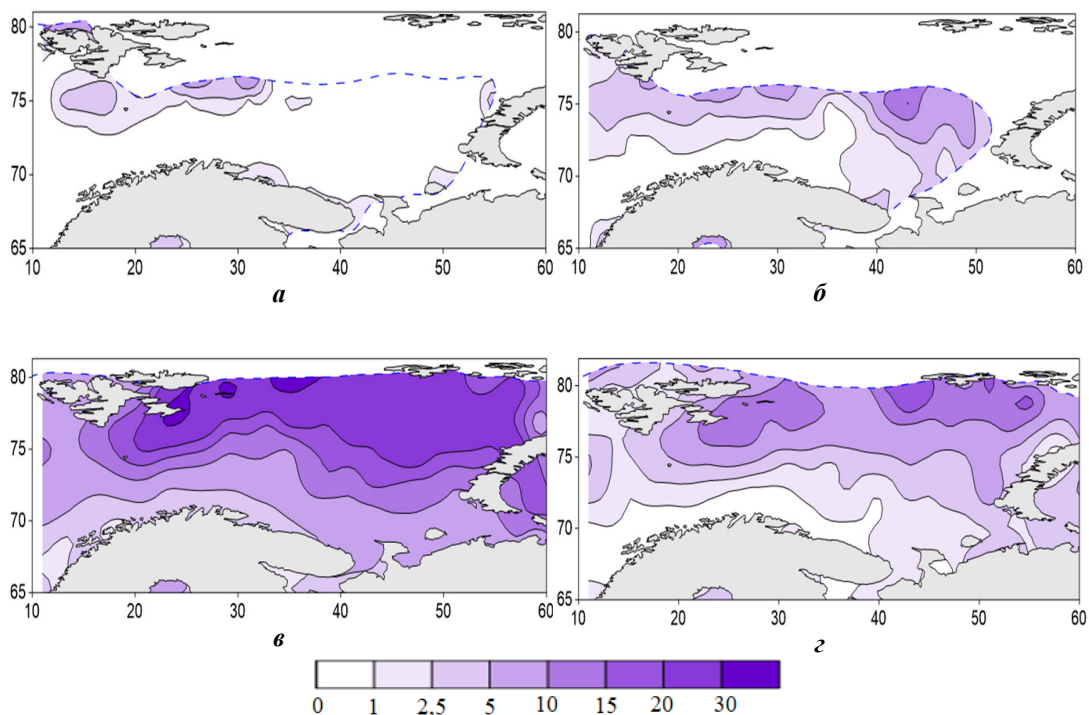


Рис. 1. Повторяемость туманов в зимний (а), весенний (б), летний (в) и осенний (г) периоды

Весной количество туманов увеличивается. Наибольшая повторяемость по-прежнему в северной части моря с максимумом у кромки льда до 10–15% (рис. 1б).

В летний сезон количество случаев с туманами значительно возрастает (рис. 1в). Такое увеличение количества туманов связано с интенсивным испарением за счет увеличения инсоляции в это время года. В центральной и северной части акватории повторяемость составляет более 20 %. Максимум также отмечается у берегов Шпицбергена, достигая 30 %. В этой части моря создаются наиболее благоприятные условия для образования тумана, здесь проходят холодные течения за счет чего контрасты температур вода – воздух максимальные. Реже всего туманы можно встретить в юго-западной части моря у северного побережья Скандинавии (менее 2,5 %), в этом районе под влиянием теплого течения контрасты температур между водой и воздухом наименьшие [3].

Осенью повторяемость туманов снижается, но их количество все равно больше, чем весной, так как океан хорошо прогрет (рис. 1г).

Распределение повторяемости туманов по срокам (см. таблицу) в целом в течение года почти не меняется, небольшие максимумы для зимнего периода можно видеть в середине дня, а в летний период – в утренние часы.

Повторяемость тумана по срокам, %

Срок наблюдения	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	21,3	16,7	14,3	16,7	23,2	24,8	25,6	23,6	19,7	19,5	16,7	19,0
6	23,1	29,7	35,3	32,8	26,7	26,5	26,4	26,6	28,8	28,9	28,6	26,0
12	32,9	31,3	23,1	22,9	25,2	23,1	23,4	24,2	25,4	29,4	34,7	30,3
18	22,7	22,3	27,3	27,6	24,9	25,6	24,6	25,6	26,1	22,2	20,0	24,7

Для характеристики интенсивности тумана на рис. 2 представлена повторяемость видимости 500 м, 200 м, 50 м и менее 50 м при туманах по месяцам. Наиболее интенсивные туманы приходятся на период с конца весны по начало осени (с мая по сентябрь). Менее интенсивные – на зимний период. В основном, видимость в туманах составляет 500 м, реже – 200 м. Зимой видимость до 500 м наблюдаются в более чем 50 % случаев с максимумом 70 % в феврале и около 40–45 % летом. Интенсивные туманы с видимостью менее 50 м в течение года встречаются одинаково часто и составляют около 5 %.

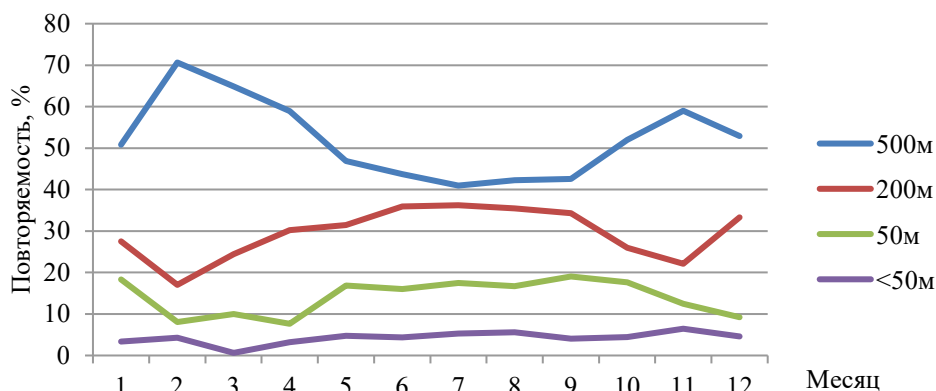


Рис. 2. Повторяемость туманов при различной видимости, %

Над Баренцевым морем наблюдаются туманы при высокой относительной влажности (90 % и выше) в 87 % случаях, поскольку, благодаря адвекции влаги с Атлантики, интенсивному испарению с поверхности воды и относительно невысокой температуре воздуха, в течение всего года над акваторией моря сохраняется высокая влажность воздуха [4–6]. Только зимой при температурах меньше – 15 °С туманы чаще формируются при более низкой влажности – 80–90 %, поскольку в это время года увеличивается вторжения сухих арктических воздушных масс.

Одним из главных факторов образования туманов в Баренцевом море является адвекция, поэтому большое значение имеет направление ветра. Интенсивное повышение температуры обеспечивается западным и юго-западным переносом в результате адвекции теплых и влажных воздушных масс с Атлантики зимой, в летний период – с побережья. Адвекция холода происходит в результате вторжения холодного

арктического воздуха и зимой и летом из центральной Арктики, а в зимний период также со стороны материка и Карского моря [3].

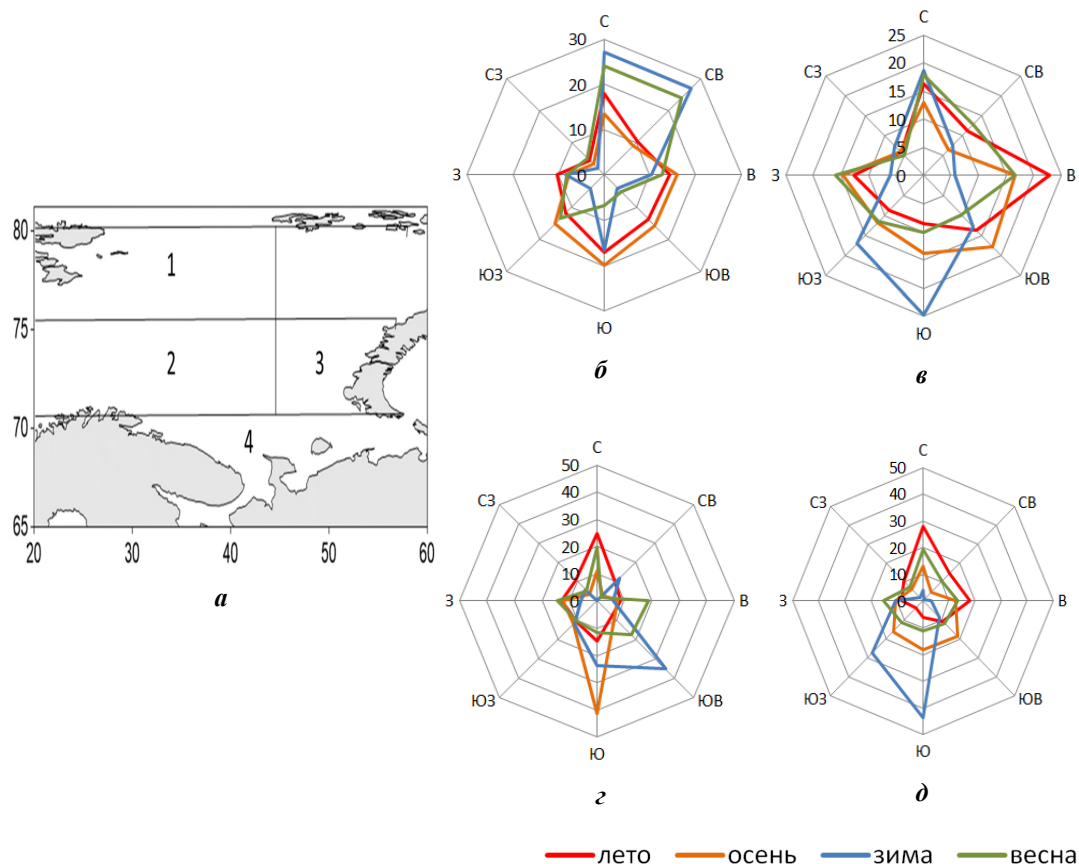


Рис. 3. Расположение районов для анализа направления ветра (а). Розы ветров при туманах для первого (б), второго (в), третьего (з) и четвертого (д) районов

Проанализируем направления ветров, при которых отмечается образование туманов в Баренцевом море по районам. Районы определены с учетом распределения туманов по акватории и особенностей ветрового режима [7] (рис. 3). Первый район – это северо-западная часть моря вблизи Шпицбергена. Второй район – его центральная и западная части. Третий район – восточная у Новой Земли. Четвертый район занимает южную часть акватории вдоль береговой линия материка. Розы ветров построены по каждому сезону для всех четырех районов.

В летне-осенний период по всей акватории повторяемость ветров при туманах по направлениям распределена довольно равномерно. Небольшое преобладание ветров южных и восточных четвертей приводят к более частой адвекции теплых воздушных масс. Зимой направления ветров различаются по районам. В первом районе при туманах чаще всего наблюдается ветер северного и северо-восточных направлений. В это время года ветра обусловлены положением ложбины Исландской депрессии. Первый район оказывается на северной ее периферии, здесь преобладает адвекция холодных воздушных масс. Второй и четвертый районы приходится на

южную периферию ложбины, преобладают ветра южных четвертей, чаще всего холодная воздушная масса поступает с побережья. Восточная периферия ложбины обосновывает юго-восточные ветра в третьем районе, преобладает также адвекция холодного воздуха с материка.

Особенностями барического поля также объясняется увеличение средней скорости ветра при переходе от теплого полугодия к холодному. Зимой и весной горизонтальные барические градиенты значительно больше за счет высоких температурных контрастов между теплой поверхностью океана и холодными воздушными массами над сушей и льдами. Таким образом, высокие градиенты температур и давления способствуют сильным ветрам в холодный период года. Зимой преобладающие скорости ветра составляют 8–10 м/с. Весной, летом и осенью значительно ниже – 4–6 м/с (рис. 4). Повторяемость туманов в летний период при слабых ветрах (менее 2 м/с) в три раза больше, чем зимой и составляет около 15 %. Как видно, в Баренцевом море скорости ветра при туманах изменяются в широких пределах и наблюдается даже при штормовых ветрах.

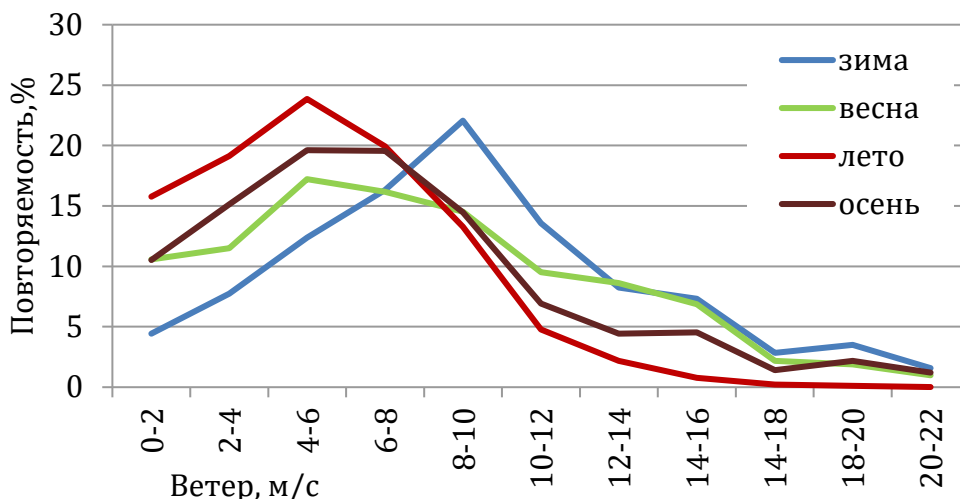


Рис. 4. Повторяемость туманов по градациям скорости ветра по сезонам

Тем не менее определить тип тумана только по адвекции тепла или холода довольно сложно. Так, адвективные туманы могут образовываться как при теплой, так и при холодной адвекции воздушных масс. Поэтому большее значение здесь имеет разница между температурой подстилающей поверхности (поверхностного слоя воды) и воздуха. В большинстве случаев эта разница близка к 0 °С. На градацию от –2 °С до +2 °С приходится 64 % случаев (рис. 5). Дело в том, что в пограничном слое наблюдается довольно быстрое выравнивание температур. По мере протекания воздушной массы над морем его температура начинает приближаться к температуре поверхности воды, которая почти не меняется. В редких случаях возможно и обратное явление, а именно сравнительно быстрое изменение температуры моря при почти не меняющейся температуре воздуха, например, при постоянном ветре, непрерывно приносящем к морю новые массы воздуха одинаковой температуры [8]. На градации от –2 °С до –4 °С и от +2 °С до +4 °С уже приходится по 12,2 % и 10,3 % соответственно. Значительную разность температур можно наблюдать только вблизи

берега или льдов. Эти сведения полезно использовать для уточнения типа тумана. При отрицательной разнице температур формируются адвективные туманы охлаждения, при положительных (при разнице больше 10 °С) – туманы испарения.

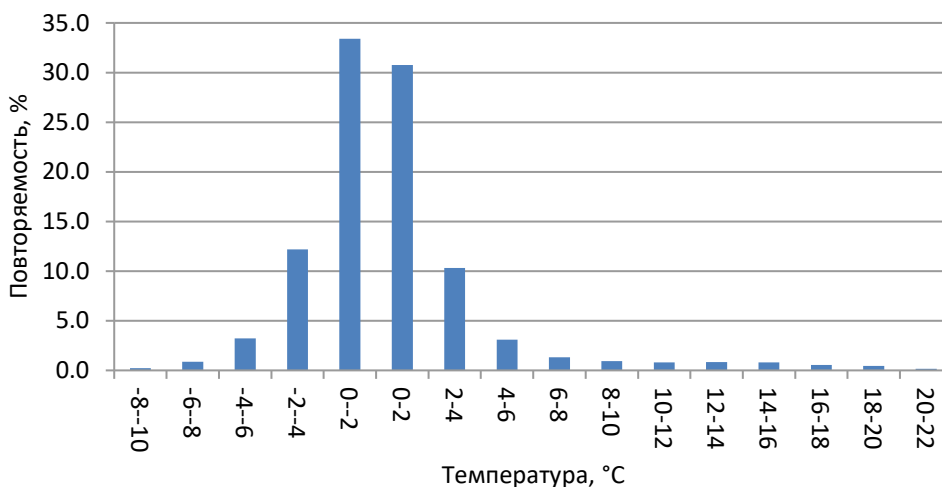


Рис. 5. Повторяемость разности температур вода – воздух по градациям

Кроме того, для определения типа тумана помимо вышеперечисленных факторов необходимо анализировать и синоптическую ситуацию, при которой они возникают. В качестве примера рассмотрены приземные карты погоды [9] при различных типах тумана в районе Баренцева моря.

На рис. 6а представлена приземная карта за 8 ноября 1995 г. 18:00 ВСВ. В районе северо-восточной части Гренландии расположен центр антициклона, который образует гребень в сторону Баренцева моря. Гребень возник еще в 06:00 ВСВ и продолжал усиливаться до 9 ноября 00:00 ВСВ. В момент, когда гребень был наиболее выражен, на его оси образовался туман. Он относится к категории тумана испарения. В этот срок разность температуры воды и воздуха составляет 14,5 °С, ветер северо-восточный, скорость 9 м/с, холодная арктическая воздушная масса приходит на относительно теплую поверхность воды.

Также туманы испарения можно наблюдать в малоградиентных полях, когда разность вода – воздух больше 10 °С. В районе теплого Нордкапского течения в малоградиентном поле наблюдаются слабые скорости ветра, что благоприятно влияет на образование туманов. Пример такой синоптической ситуации приведен на рис. 6б. На приземной карте за 16 февраля 2007 г. 06 ВСВ центр антициклона расположен над Архангельской областью с давлением в центре 1035гПа. Температура воздуха -14 °С, температура воды +4 °С, ветер южный, скорость ветра 4 м/с.

Такого типа туманы над Баренцевым морем, как правило, возникают в холодные сезоны года при следующих характерных синоптических ситуациях: в барических гребнях, чуть реже – в малоградиентных полях, а также в ложбинах и седловинах.

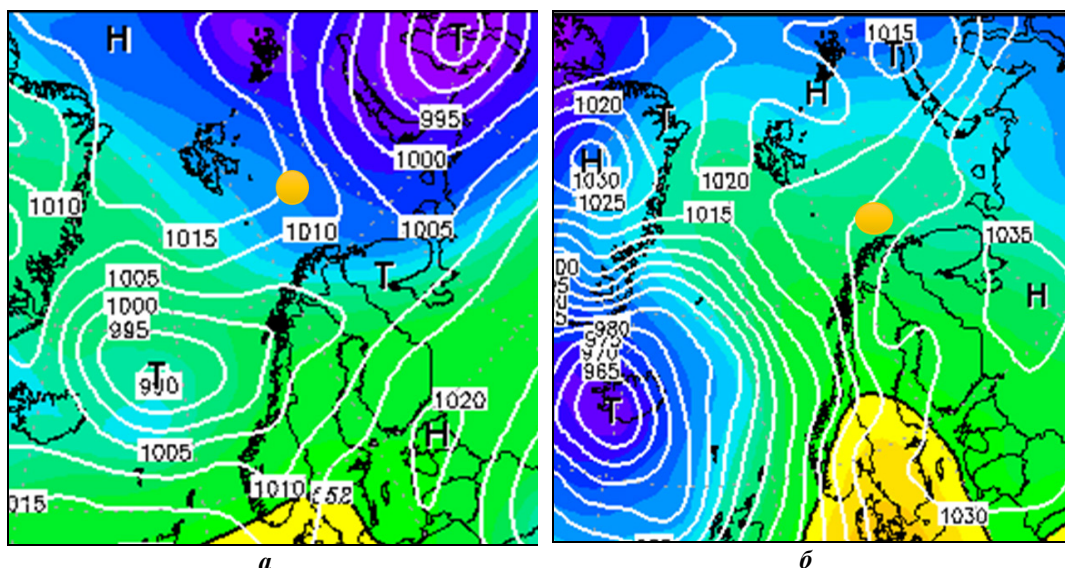


Рис. 6. Синоптическая ситуация при тумане испарения: *a* – приземная карта и АТ500 за 8 ноября 1995 г. 18 ВСВ, реанализ CFSR; *б* – приземная карта и АТ500 за 16 февраля 2007 г. 06 ВСВ, реанализ CFSR. Желтые точки – области тумана

Частые и резкие колебания температуры воздуха, связанные с развитием атмосферных фронтов, являются причиной образования туманов, которые наблюдаются перед теплыми фронтами. Рассмотрим синоптическую ситуацию с фронтальным туманом 12 марта 2015 г. 00 ВСВ (рис. 7*a*). Фронтальная система относится к циклону с центром над северной частью Гренландского моря. В 06 ВСВ теплый фронт проходит в северо-западной части Баренцева моря. Туман образовался у кромки льда вблизи берегов о. Западный Шпицберген. Температура воздуха -1°C , ветер юго-восточный, скорость ветра 7 м/с.

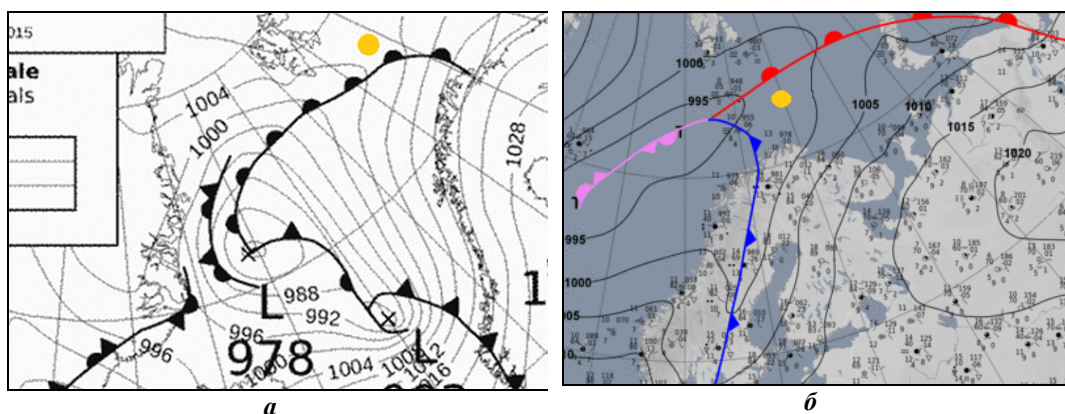


Рис. 7. Синоптические ситуации при фронтальном (*a*) и адвективном (*б*) туманах: *a* – приземная карта с фронтальным анализом за 12 марта 2015 г. 00 ВСВ, анализ УКМО; *б* – приземная карта за 12 июня 2021 г. 06 ВСВ, анализ DWD. Желтые точки – области тумана.

Адвективные туманы над Баренцевым морем чаще всего зимой появляются при установившемся потоке воздушных масс с Атлантики и при разных синоптических условиях. Благоприятные условия летом – перемещение теплового воздуха с суши на относительно холодную поверхность воды.

Одним из таких условий является теплый сектор циклона, где барический градиент имеет достаточную величину для адвекции теплого и влажного воздуха. Пример такой ситуации показан на рис. 7б. На приземной карте за 12 июня 2021 г. 06 ВСВ большая часть Баренцева моря находится в теплом секторе циклона с центром в районе Норвежского моря, поток воздушных масс направлен с материка на море. В это время высоким температурам над северной частью ЕТР способствует гребень обширного антициклона. В итоге за теплым фронтом образуется туман достаточно большой площади. В этом районе температура воздуха 6,9 °С, температура воды 2,4 °С, ветер южный, скорость ветра 4 м/с.

В результате анализа синоптических материалов за рассматриваемый период отмечено, что туманы испарения, адвективные туманы и туманы на теплых фронтах над открытой акваторией Баренцева моря встречаются примерно с одинаковой вероятностью. Синоптические ситуации при опускании слоистообразной облачности или при перемещении туманов из других районов в работе не рассматривались.

Таким образом, выполнен анализ гидрометеорологических и синоптических условий формирования туманов в районе Баренцева моря по современным данным. К сожалению, из-за отсутствия данных зондирования над открытой водой нет возможности оценить вертикальную мощность туманов, а из-за нерегулярности наблюдений – их продолжительность. Для получения более подробных сведений необходимо расширять сеть наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев В. И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 616 с.
2. Национальные центры экологической информации. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/data/marine/icoads3.0/enhanced-trim/>
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 1. Баренцево море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 280 с.
4. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Том 6. Баренцево море. Вып. 1, 2. / Под ред. Б. Х. Глуховского, Б. Л. Лагутина, Г. В. Ржеплинского. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 264 с.
5. Лоция Баренцева моря. Часть 1. Адм. № 1111. – Л.: ГУН и О, 2001. – 264 с.
6. Комплексный гидрометеорологический справочник Баренцева и Белого морей / Глав. упр. Гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Науч.-исслед. ин-т аэроклиматологии. Под ред. А. И. Сачковой. – Л.: Гидрометеоздат, 1965. – 251 с.
7. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные. / Под ред. И. Н. Давидана, Л. И. Лопатухина, В. А. Рожкова. – Л.: Транспорт, 1974. – 359 с.
8. Зубов Н. Н. Льды Арктики. – М.: Изд-во Главсевморпути, 1945. – 360 с.
9. Wetterzentrale. [Электронный ресурс] / URL: <https://www.wetterzentrale.de/>

SYNOPTIC CONDITIONS OF FOG FORMATION IN THE BARENTS SEA

I.V. Lavrova (RSHU, “GNINGI” JSC), E.V. Malkova (RSHU)

The paper analyzes the spatial distribution of fogs over the Barents Sea and the hydrometeorological conditions under which they are observed. The most common types of fogs are advective fogs, evaporative fogs and frontal fogs. The synoptic situations under which they occur are also considered.

**К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА В РАЗВИТИИ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ**

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

Рассмотрены возможности внедрения технологий искусственного интеллекта в океанологию в целом и в развитие системы оперативной океанологии. Приведены примеры возможности использования в океанологии и в смежных областях науки таких технологий искусственного интеллекта, как нейронные сети, большие данные, машинное обучение, глубокое обучение, интернет вещей, цифровой двойник.

Оценить пространственно-временную изменчивость состояния океанической среды в оперативно важных районах Мирового океана призвана разрабатываемая в настоящее время в ВМФ система оперативной океанологии (СООк). Суть её заключается в том, что, помимо производства систематических измерений состояния морей, океанов и атмосферы, в системе появляется глобальная и региональные модели Мирового океана, которые обрабатывают, усваивают результаты наблюдений для оперативной оценки текущего и прогнозирования ожидаемого состояния океана.

Объединение наблюдений (которых всегда мало) и моделей геофизической гидродинамики посредством процедур взаимной подгонки (названных ассимиляцией) данных и моделей позволяет получить принципиально новый продукт в виде обновляемого во времени трехмерного представления свойств изменчивой по пространству и времени океанической среды. Это новое качество касается и прикладных аспектов океанологии, и фундаментальных исследований. Подобно оперативным системам анализа и прогноза атмосферы оно позволяет прогнозировать «погоду океана» – состояние гидрофизических полей в диапазоне синоптической и мезомасштабной изменчивости – от сотен метров до сотен километров и от часов до нескольких суток.

Модели после усвоения близлежащих данных наблюдения смогут уточнить свой анализ на требуемый район и рассчитать прогностические поля гидрофизических параметров с установленным шагом в узлах регулярной сетки. При этом потребитель не будет ожидать очередного сеанса связи с измерительным бумом, чтобы по обновлённым данным принять решение, а в любой момент времени может получить как фактическую, так и прогностическую информацию по интересующему району на необходимый момент времени.

Разрабатываемый программный комплекс по технологическому назначению является системой высокопроизводительных вычислений, оперирующей большими объемам данных в распределенной среде таким образом, чтобы обеспечить гарантированное получение результатов прогноза с заданной заблаговременностью.

Для задач моделирования крупномасштабной и синоптической изменчивости океана применяется упрощенная система уравнений геофизической гидродинамики,

получаемая с использованием ряда физически обоснованных приближений и допущений [1].

Проблема в том, что даже с учетом этих приближений и допущений вычисления получаются слишком сложными и громоздкими, так как специалистам приходилось учитывать множество природных процессов, влияющих на конечный результат. Объем входных данных для моделирования процессов в Мировом океане в настоящее время составляет около 35 Гб ежедневно, что требует применение суперкомпьютерных технологий. Несоответствие результатов оценок моделирования и истинного состояния среды приводит к требованию повышения точности моделирования и разрешающих способностей моделей, что приводит к кратному увеличению объема вычисления и времени расчета, а также увеличению вычислительных мощностей, которые очень ограничены.

Выходом из создавшего положения может быть использование технологии искусственного интеллекта как перспективного способа моделирования сложных океанических явлений и обхода трудностей, с которыми сталкиваются традиционные числовые модели.

Многие иностранные государства также развивают у себя системы оперативной океанологии. Лидером в их списке является США. В ВМС США исходные данные для прогнозирования гидрофизических параметров морской среды (ГФП МС) получают по каналам радиосвязи из океанологических центров ВМС. Эти данные содержат текущее состояние и прогноз ГФП МС на обширной территории в районе плавания. Они формируются путем обработки гидрологических замеров, транслируемых в реальном масштабе времени автономными гидрологическими датчиками, которыми оборудованы оперативно важные районы Мирового океана. Эти замеры являются исходными данными для моделирования и прогнозирования океанологических параметров с помощью модульной системы ассимиляции океанических данных MODAS (Modular Ocean Data Assimilation System). Данная модель рассчитывается в подразделении Океанографического управления ВМС США NAVO [2].

Основу организационных структур СООк составляет иерархический принцип разномасштабных моделей и систем (глобальных, региональных, локальных). Общей основой такого принципа является представление об океане и происходящих в нем процессах как о единой, природной, связанной с атмосферой системе, не имеющей национальных границ. Процессы разных масштабов в такой системе связаны между собой. Значимость прибрежных (литоральных) систем определяется их ролью в сферах экономики и обороны [3]. Для глобальных систем характерно относительно грубое воспроизведение океанических процессов, для региональных – более точное и для локальных систем – максимально точное. Применяется так называемый принцип матрешки, когда глобальная модель выдает граничные условия для региональной, которая в свою очередь выдает начальные условия моделирования для локальной модели.

Исходя из современных представлений о процессах на суше, в океане, атмосфере, ближнем космосе, криосфере (лед) как о единой природной системе, в последнее время предпринимаются значительные усилия по совершенствованию моделирования этой единой системы и на этой основе – по улучшению представлений о подсистемах рассматриваемых уровней (глобальном, региональном и локальном). То же касается соответствующих средств наблюдений. Развитие вычислительных средств

и связи также рассматривается с этой точки зрения. Рис. 1 из работы [4] иллюстрирует эволюционное развитие СООк ВМС США как общую тенденцию.

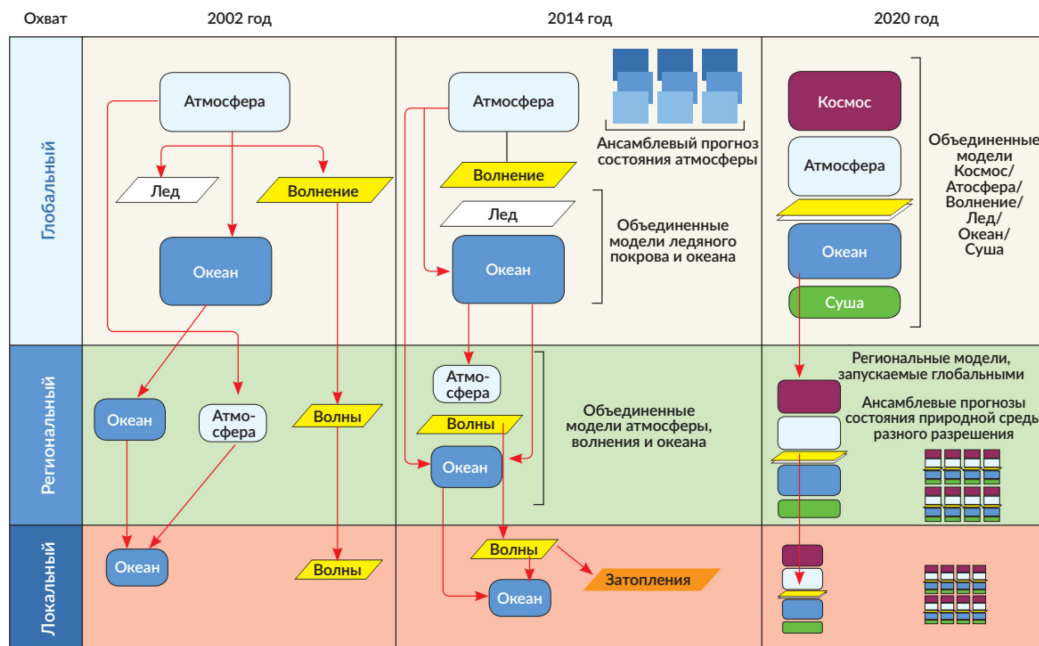


Рис. 1. Эволюция развития схемы прогнозирования природной среды, включая состояние Мирового океана в ВМС США [4]

Переход от отдельных, не связанных между собой прогностических моделей разных параметров к ансамблевым прогнозам взаимосвязанного состояния природной среды разного уровня и разрешения осуществляется с использованием таких технологий искусственного интеллекта (ИИ) как большие данные (Big Data), машинное обучение (Machine Learning, ML), нейронной сети и т. д.

Приведем примеры возможности использования в океанологии и в смежных областях науки некоторых технологий искусственного интеллекта.

Технология использования искусственной нейронной сети, представляет собой математическую модель, а также ее программную и аппаратную реализации, построенные по образу сети нервных клеток человеческого мозга. Хотя существующие нейронные сети устроены значительно проще, чем нервная система человека, тем не менее они способны применять алгоритмы самообучения, позволяющие им решать определенные задачи с учетом предыдущего опыта и минимальным числом ошибок. Применительно к оперативной океанологии эта технология позволит рассчитать изменчивость каждого гидрофизического параметра во времени во всех узлах регулярной сетки модели.

Технология работы с большими данными (Big Data), которая подразумевает работу с информацией огромного объема и разнообразного состава, весьма часто обновляемую и находящуюся в разных источниках с целью увеличения эффективности ее, создания новых продуктов и повышения конкурентоспособности. В нашем случае это постоянно обновляемый поток информации об измерениях

атмосферы, гидросферы, обмена теплом, стоке рек, ледовых условиях и многое другое, что является исходными данными для моделирования процессов в океане.

Технология машинного обучения (Machine Learning) позволяет компьютеру учиться решать задачи на основе множества примеров с использованием соответствующих алгоритмов, получая ценную информацию, а затем применять полученные знания к другим сценариям или новым наборам данных. В нашем случае выявленная в процессе обучения закономерность изменчивости полей будет апробирована на новых наборах данных, откорректирована, оптимизирована и снова проверена на следующих наборах данных.

Технология глубокого обучения (Deep Learning) основана на сочетании всех трех вышеперечисленных технологий искусственного интеллекта: машинного обучения, искусственных нейронных сетей и больших данных, что позволило совершить прорыв в развитии искусственного интеллекта.

Технология глубокого обучения – подраздел машинного обучения, позволяющий обнаруживать закономерности в огромных массивах информации (Big Data). Обработкой данных в технологии глубокого обучения занимаются искусственные нейронные сети, созданные по аналогии с биологическими нейронными сетями и предназначенные для моделирования и обработки нелинейных отношений между входными и выходными сигналами [5]. В частности, в мире используют технологию глубокого обучения для прогнозирования различных атмосферных процессов, некоторых параметров океана, таких как волнение, осадки, количество морского льда, высоты поверхности моря, поверхностные течения и т. д.

Модель глубокого обучения прогнозирования гидрофизических полей основана на получении для обучения данных реанализа фактических наблюдений за длительный период. Для реанализа гидрофизических полей может использоваться информация, поступающая от нескольких источников, например, спутниковые данные, судовые наблюдения, дрейфующие буи и т. д. Происходят многократные итерации обучения по данным реанализа, когда модель каждый раз анализирует изменчивость гидрофизических полей и пытается определить закономерности этих изменений. Полученные закономерности могут выявить ранее неизвестные, нетривиальные и скрытые взаимосвязи, которые не учитывались математическими моделями геофизической гидродинамики, а их учет позволит улучшить точность прогнозов. Чем больше обучающая выборка, тем больше выявляется связей и точнее рассчитывается прогноз.

Таким образом, мы не приближаем решения математических зависимостей к реальным условиям путем их усложнения и добавления все новых и новых элементов параметризации, а после продолжительного обучения получаем некие эмпирические закономерности в развитии процессов, минуя математический аппарат.

«На этапе разработки и эксплуатации возможно сочетание новой технологии глубокого обучения и старого числового метода. Модели на основе искусственного интеллекта, статистические и традиционные числовые могут дополнять друг друга и обеспечивать новую перспективу для изучения сложных океанических процессов» – отметил профессор Ли Сяофэн, руководитель исследовательской группы Института океанологии Китайской академии наук (IOCAS) [6].

Эта исследовательская группа изучила штормы и крупные волны Тихого океана с помощью искусственного интеллекта (ИИ). Они создали спутниковую модель глубокого обучения, прогнозирующую изменения температуры поверхности воды

(SST), которая связана с появлением высоких волн и штормов. Результаты опубликованы в журнале *Science Advances* [6].

Технология искусственного интеллекта – перспективный способ моделирования сложных океанических явлений и обхода трудностей, с которыми сталкиваются традиционные числовые модели. Модель глубокого обучения использует спутниковые данные для работы. На них она изучает, что предшествовало повышению температуры, и что обычно идет за ним, после чего делает прогноз. В течение девяти лет испытаний (2010–2019 гг.) модель точно и эффективно предсказывала изменения температуры поверхности Тихого океана и следующие за ними явления (рис. 2) [6]. Работа модели основана на данных фактических наблюдений, она делает точные прогнозы, используя информацию спутниковых данных температуры поверхности моря (SST). Разработчики считают, что ее можно будет модифицировать: модель будет использовать разные данные и подойдет для прогнозирования других природных явлений.

Тропическая волна неустойчивости (TIW) является одним из существенных и сложных океанических явлений, получающим энергию от нелинейных и хаотических гидродинамических неустойчивостей и распространяющимся с искажениями и деформациями большой формы. Связанное с TIW поле SST неразрывно взаимодействует с различными океаническими, воздушно-морскими, биофизическими, климатическими изменениями и процессами [6].

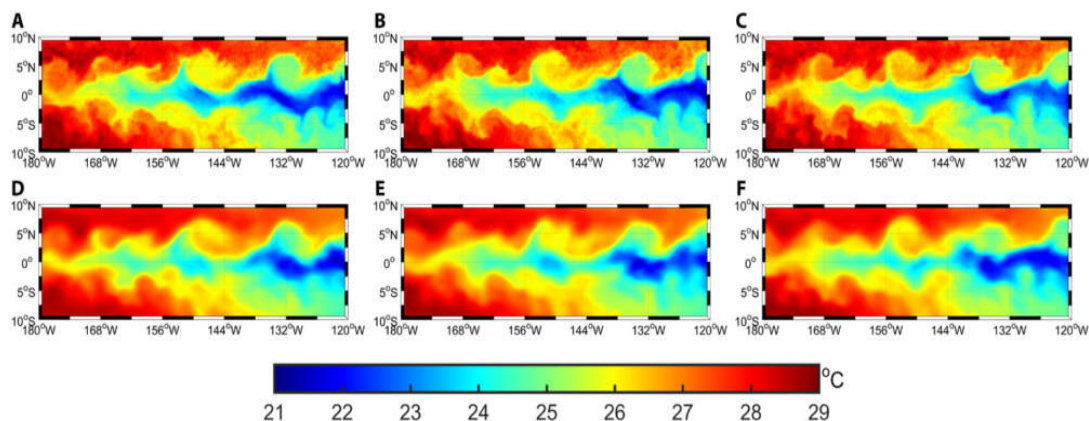


Рис. 2. Спутниковые (А, В, С) и прогнозируемые ИИ (D, E, F) карты на трех последовательных временных шагах с интервалом в 5 дней [6]

Таким образом, технология глубокого обучения – критический фактор при изучении TIW и многих других соответствующих явлений. Численное моделирование на основе физических уравнений для TIW требует не только высокого пространственного разрешения, но и реалистичной параметризации сложных процессов. В результате возникают существенные трудности при реалистичном моделировании TIW. Однако правила, лежащие в основе сложных океанических явлений, глубоко скрыты во временных рядах самих данных наблюдений, и их необходимо выяснить. Таким образом, тенденция быстрого увеличения объемов больших данных спутникового дистанционного зондирования и мощная технология

глубокого обучения предлагают многообещающую альтернативу для моделирования сложных океанических явлений.

Основанные на машинном обучении модели для прогнозирования океанических явлений привлекли внимание других специалистов. В литературе отмечены разработки нескольких статистических моделей и моделей искусственного интеллекта для прогнозирования различных параметров океана: волн, осадков, полярного морского льда, высоты поверхности моря, распределения температуры и солености и т. д. [7–9]. Одновременно с ними появились похожие разработки, изучающие атмосферные процессы. Авторы исследования считают, что в будущем, с улучшением архитектуры сети, сложные явления, например, тропические циклоны или океанские вихри можно будет предсказывать быстро и с высокой точностью.

Еще одна технология искусственного интеллекта, применимая в океанологии – это «*интернет вещей*», или его океанологическая интерпретация – «океан вещей».

Интернет вещей (Internet of Things, IoT) – это глобальная вычислительная сеть, объединяющая в себе различного рода физические объекты, способные взаимодействовать между собой и внешним миром.

Ключевая особенность интернета вещей – в сети будут участвовать не только компьютеры, смартфоны и иные достаточно мощные вычислительные устройства, а практически любые вещи. В 2020 году число «умных вещей» приблизилось к 50 миллиардам, и в их числе светильники, микроволновки, холодильники, кондиционеры и не только.

Название проекта «океан вещей» – это игра слов по аналогии «интернет вещей», цель которого состоит в том, чтобы добиться постоянного освещения значительных пространств океанов с помощью тысяч интеллектуальных плавучих платформ.

По всему миру существует сеть из почти 4000 научных поплавков Argo, которые собирают данные о температуре и солености океана. Однако руководитель проекта Агентства перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (DARPA) Джон Уотерсон хочет видеть гораздо более крупные массивы недорогих поплавков с большим количеством датчиков автономностью до года.

В конечном счете, исследователи DARPA предполагают, что область интеллектуальных датчиков, размещенных на 50 000 поплавках стоимостью около 500 долларов каждый охватит обширные океанские территории площадью до миллиона квадратных километров.

Вторая, техническая область проекта «океан вещей», посвящена аналитической части проекта, в котором будут разработаны аналитические методы для извлечения интересующей информации по заданным параметрам из потока кратких сообщений с этих интеллектуальных поплавков или буев [10].

Развитие этой технологии дало толчок развитию другим технологиям искусственного интеллекта, одним из которых является *технология цифрового двойника*.

Понятие «цифровой двойник» (Digital Twins) в рамках научных дискуссий возникло относительно недавно, с появлением автоматизированных систем непрерывного контроля и развитием технологии «интернета вещей», особенно популярно оно среди европейских и американских исследователей. При этом рассматриваются два уровня этого понятия – прикладной (технологический) и концептуальный.

В простейшем случае, цифровой двойник процесса – это его математическая модель, связанная с реальным процессом непрерывным цифровым потоком данных. Именно эта связь отличает технологию «цифрового двойника» от традиционного моделирования систем. Если на прикладном уровне предлагаемые решения Digital Twins принимаются и широко используются во многих научных областях, то концептуальный уровень вызывает множество дискуссий и теоретических вариаций.

На прикладном уровне «цифровым двойником» обозначается процесс или объект, динамика состояния которого полностью смоделирована математически, а все важные его показатели оцифрованы, и построены соответствующие модели, которые просчитывают все возможные состояния объекта. Эти виртуальные состояния сопоставляются с состоянием реального процесса или объекта, при необходимости модель корректируется (дообучается). Таким образом, реальный объект и его виртуальная модель наблюдаются одновременно, но в любой момент, на любом этапе развития процесса можно заглянуть в будущее цифрового двойника и получить представление о перспективах реального объекта. Считается, что такой прогноз, сделанный с помощью цифрового двойника, значительно более точный, чем прогноз, полученный традиционными методами.

На концептуальном уровне вызывает вопросы сама возможность получения цифрового двойника в отрыве от реального прототипа. В частности, не вполне ясно, какой должна быть степень детализации информации об объекте, чтобы считать оставшуюся неопределенность достаточно малой для того, чтобы модель функционировала в качестве двойника даже при относительно краткосрочном разрыве связи с прототипом. Концепция «цифровых двойников» предусматривает построение виртуальной копии реального объекта (процесса), информация о котором теоретически может содержаться в бесконечном числе переменных, и даже в этом случае невозможно достоверно оценить, достаточно ли точно модель воспроизводит реальный объект. На практике эти проблемы решают, используя хоть и большое, но ограниченное (достаточное) число основных переменных, объединяемых необходимым числом сравнительно простых математических описаний. Однако при этом значения используемых переменных непрерывно обновляются за счет новых данных о состоянии реального объекта.

Чаще всего в качестве парадигмы такой модели используется многослойный перцептрон (кибернетическая модель мозга), на основе которого структурируются нейронные сети, которые, в свою очередь, могут структурироваться в нейросетевые каскады. Таким образом, ключевой особенностью «цифровых двойников» является использование больших данных и неразрывная связь со своими реальными прототипами. «Цифровой двойник» постоянно корректирует и уточняет свое состояние (обучается) за счет непрерывно обновляемой информации, обеспечивая актуальный статус модели [11].

Несмотря на неоднозначность результатов использования технологии «цифровой двойник» на концептуальном уровне, Европейский совет (ЕС) в январе 2022 года выделил 17 миллионов евро на запуск инновационного цифрового двойника океана консорциуму IIAD, в который входят 56 международных партнеров из 18 разных стран Европы, Ближнего Востока и Северной Африки.

Проект IIAD разработает виртуальные представления о морях, которые объединят и расширят существующие в ЕС системы наблюдения Земли, моделирования цифровых инфраструктур и вычислительных средств для обеспечения

высокоточных прогнозов будущего развития. IAD также разработает виртуальные модели, предназначенные для точного отражения изменений и процессов, происходящих в океане. IAD будет использовать взрывное увеличение новых данных, предоставляемых множеством различных источников на Земле, современную вычислительную инфраструктуру, включая «интернет вещей», социальные сети, большие данные, облачные вычисления и многое другое. Консорциум IAD будет сочетать моделирование высокого разрешения с измерениями параметров океана в реальном времени, усовершенствованными алгоритмами прогнозирования пространственно-временных событий и распознавания образов. Виртуальные представления будут состоять из нескольких цифровых копий океана в режиме реального времени или почти в режиме реального времени [12].

Институт Мирового океана Дальневосточного федерального университета (ДВФУ) также создает лабораторию для разработки «цифровых двойников» морей Дальнего Востока России. Эти данные предполагается использовать в рыбном промысле и транспортном судоходстве. Проект реализуется в рамках программы «Приоритет 2030» совместно с Тихоокеанским океанологическим институтом имени В. И. Ильичева ДВО РАН. Ученые обоих институтов будут составлять прогнозы климатических изменений и создавать модели динамики морской среды. Одной из главных задач лаборатории станет разработка уникальной модели океанических процессов. Сотрудничать с университетом готово Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. В Примгидромете уже используется качественная модель циркуляции атмосферы на Дальнем Востоке. Предполагается, что ее возможности значительно расширятся после объединения с математическими моделями динамики океана, которые сейчас разрабатываются.

«В океане происходит множество процессов: меняются температуры, течения, различные слои, которые влияют на климат, и атмосферные параметры. Зная динамику изменения этих процессов, можно создать симуляционную и прогностическую модель того, что происходит в океане, аналогично прогнозированию погоды. Мы сможем предсказывать, какие течения в какое время и в каком регионе будут ожидать, какая температура будет у поверхности воды и т. д. Все это можно симулировать на компьютере в виде спектральной диаграммы Японского моря», – рассказал директор Института Мирового океана Кирилл Винников [13].

Конечно, здесь приведен не исчерпывающий перечень технологий искусственного интеллекта, которые можно использовать в океанологии, но даже этот короткий перечень показывает нам перспективы её развития в будущем. По всей вероятности, мы стоим на пороге больших технологических изменений как в организации наблюдений за Мировым океаном, так и в развитии моделирования происходящих в нем процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленко А. А. Оперативная океанология: моделирование, мониторинг и прогнозирование гидрофизических полей Мирового океана. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – URL: https://meteoinfo.ru/images/misc/sovnet/zelenko/avtoreferat_zelenko.pdf. Дата обращения 25.11.2023.
2. Fox D., Barron C., Carnes M. The modular ocean data assimilation system // *Oceanography*. – 2022. – No. 15 (1). – P. 22–28. URL: https://tos.org/oceanography/assets/docs/15-1_fox.pdf

3. Коваленко В. В., Мاستрюков С. И., Телегин В. А. Концептуальные представления и ключевые проблемы создания систем оперативной океанографии // Морские информационно-управляющие системы, АО «Концерн «Моринформсистема-Агат». – 2020. – № 1 (17). – С. 22–39.
4. Burnett W., Harper S., Preller R., Jacobs G., LaCroix K. Overview of operational ocean forecasting in the US Navy: Past, present, and future // Oceanography. – 2014. – No. 27 (3). – P. 24–31.
5. Сайт GeekBrains. Технологии искусственного интеллекта: что умеют, где используются. // URL: <https://gb.ru/blog/tekhnologii-iskusstvennogo-intellekta/> (дата обращения 23.11.2023 г.)
6. Сайт National library of medicine. Gang Zheng, Xiaofeng Li, Rong-Hua Zhang, Bin Liu. Purely satellite data-driven deep learning forecast of complicated tropical instability waves // Science Advances. – 15 Jul. 2020. – Vol. 6. – Issue 29. DOI: 10.1126/sciadv.aba1482. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32832620/> (дата обращения 23.11.2023 г.)
7. Patil K., Deo M. C. Basin-scale prediction of sea surface temperature with artificial neural networks // J. Atmos. Ocean. Technol. – 2018. – No. 35. – Pp. 1441–1455.
8. Zhang Q., Wang H., Dong J., Zhong G., Sun X. Prediction of sea surface temperature using long short-term memory // IEEE Geosci. Remote Sens. – 2017. – Lett. 14. Pp. 1745–1749.
9. Aparna S. G., D'Souza S., Arjun N. B. Prediction of daily sea surface temperature using artificial neural networks // Int. J. Remote Sens. – 2018. – No. 39. – Pp. 4214–4231.
10. Сайт Forbs. DARPA Progress With «Ocean Of Things» All-Seeing Eye On The High Seas; URL: <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2020/08/13/darpas-ocean-of-things-is-an-all-seeing-eye-on-the-high-seas/?sh=11821121f2709> (дата обращения 23.11.2023 г.)
11. Валиев В. С., Иванов Д. В., Шамаев Д. Е., Хасанов Р. Р. Создание «цифровых двойников» в рамках цифровой трансформации экологического мониторинга // Российский журнал прикладной экологии. – 2022. – № 3. – С. 29–33.
12. Сайт Foundation for research and technology- Hellas. EU Awards €17 million to ILIAD Project to Launch an Innovative Digital Twin of The Ocean // All Science News. 11.02.2022. URL: <https://www.forth.gr/en/news/show/&tid=2107> (дата обращения 23.11.2023 г.)
13. «Цифровых двойников» разработают для морей Дальнего Востока // Магаданская правда, 04.03.2023 г. URL: <https://magadanpravda.ru/lenta-novostej/nauka/tsifrovyykh-dvoynikov-razrabotayut-dlya-morej-dalnego-vostoka>

ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF OPERATIONAL OCEANOLOGY SYSTEM

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

The possibilities of introducing artificial intelligence technologies in oceanology in general and in the development of operational oceanology system are considered. Examples of artificial intelligence technologies such as neural networks, big data, machine learning, deep learning, internet of things, digital twin are given.

КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ АРКТИКИ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА МЕТОДОМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

И. В. ЛАВРОВА (ФГБОУ ВО «РГГМУ», АО «ГНИНГИ»)

В работе выполнено районирование акватории Арктики с помощью метода кластерного анализа k -средних по температуре воздуха по теплому и холодному полугодиям. Проанализирована изменчивость температуры воздуха за период с 1948 по 2023 гг. по четырем районам методом разностных интегральных кривых и по значениям линейного тренда.

В настоящее время большое внимание уделено изменению климата, которое затрагивает многие регионы [1–3]. Этот процесс особенно заметен в полярных арктических широтах. Для анализа температурного режима, как правило, рассматриваются отдельные гидрометеорологические станции, отражающие изменения над небольшими областями [4–6]. В данной работе исследована многолетняя динамика изменения температуры воздуха в целом для всей полярной области по однородным районам. Для разделения на однородные районы использован метод кластерного анализа k -средних. Этот метод довольно широко используется для районирования территорий. В том числе есть работы, где метод применялся и для акватории Арктики, но по другим параметрам [7].

Для анализа режима температуры воздуха выполнено районирование Арктического региона выше 70° с. ш. на 3, 4 и 5 районов. Также построены графики многолетнего хода температуры воздуха для каждого района. Анализ выполнен по полугодиям – теплому и холодному. В теплое полугодие вошли месяцы с мая по октябрь; в холодное полугодие – с ноября по апрель.

Исходные данные

В качестве исходных данных выбран глобальный массив реанализа NCEP/NCAR Reanalysis I [7], содержащий среднемесячные значения температуры воздуха в узлах регулярной сетки $5^\circ \times 5^\circ$ за период 1948–2023 гг. Набор данных поддерживается в актуальном состоянии и в настоящее время находится в открытом доступе.

Кластерный анализ, метод k -средних

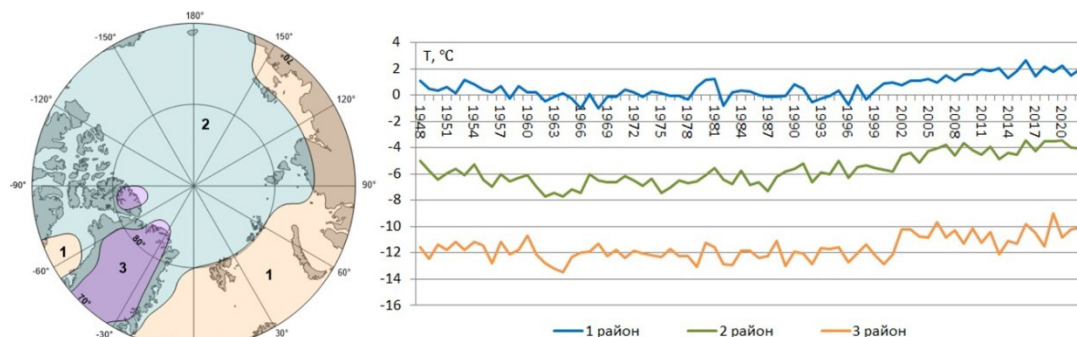
Метод k -средних из всех методов кластерного анализа используется наиболее часто. Он относится к группе так называемых эталонных, где число кластеров k задаётся пользователем. При этом каждое наблюдение относится к тому кластеру, к центру которого оно ближе всего. В качестве меры близости в данном случае использовано Евклидово расстояние [8].

Достоинство кластерного анализа состоит в том, что он работает даже тогда, когда данных мало или не выполняются требования нормальности распределений случайных величин и другие требования классических методов статистического анализа. Преимущества алгоритма: он хорошо справляется с задачей кластеризации в случае, когда кластеры линейно разделимы и представляют собой отдельные

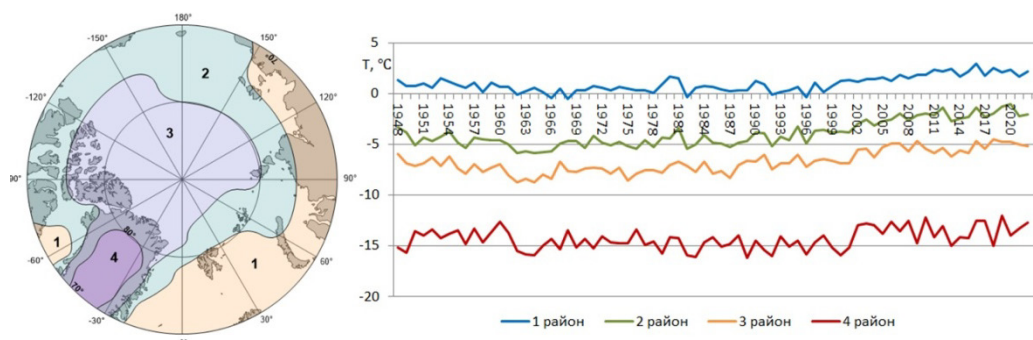
скопления точек; быстрая работа алгоритма. Недостатки: результат зависит от выбора исходных центров кластеров, их оптимальный выбор неизвестен; число кластеров желательно знать заранее [9].

Результаты районирования для теплого полугодия

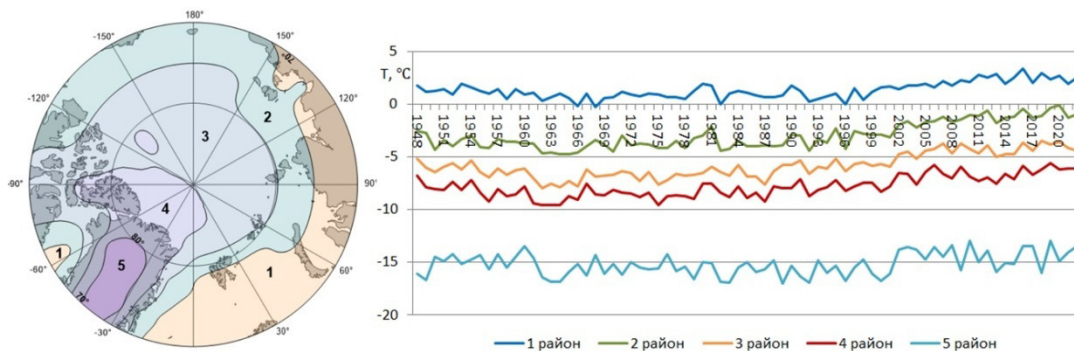
На рис. 1а представлены результаты районирования Арктики при делении на три района для теплого полугодия и график многолетнего хода средней температуры воздуха для каждого района. Район № 1 охватывает территорию повышенной циклонической активности. Он включает в себя Атлантико-Европейскую область Арктики и почти все российское побережье, поскольку летом с разрушением Сибирского антициклона и значительным прогревом суши увеличиваются контрасты температур между Арктикой и континентом, таким образом, циклоны проходят далеко на восток, некоторые формируются над российскими арктическими морями. Сюда входит также Девисов пролив. Остров Гренландия выделен в отдельный район № 3, где в течение всего года преобладает антициклонический характер циркуляции (Гренландский антициклон) и сохраняется устойчивая холодная воздушная масса. Остальная большая часть акватории относится к району № 2. На графиках видно, что за последние годы для всех районов наблюдается заметная тенденция увеличения температуры воздуха, которая будет подробнее проанализирована в дальнейшем.



а



б



6

Рис. 1. Районирование акватории Арктики по средней температуре воздуха для теплого полугодия (май – октябрь) для районов № 3 (а), № 4 (б) и № 5 (в). Графики изменчивости средней температуры воздуха

При увеличении количества районов до четырех (рис. 1б) в целом границы района № 1 остаются неизменными. Территория Гренландии также выделена в отдельный район № 4. Район № 2 по предыдущей классификации разбивается на два: выделяется центральная Арктика, Канадский архипелаг и побережье Гренландии в отдельный район № 3, в него входит акватория, покрытая многолетними льдами (льды здесь сохраняются и в теплый период года), и остальная часть – район № 2 (летом эта часть Арктики освобождается ото льда). На графике многолетних изменений температуры видно, что кривые для районов № 1 и № 4 наиболее отличные. Районы № 2 и № 3 имеют более согласованный ход.

При увеличении числа районов до пяти (рис. 1в) из района № 3 по предыдущей классификации выделяется область, в которую входят приполюсные районы западной Арктики, Канадский архипелаг и побережье Гренландии в отдельный район № 4. Районы № 1 и № 2 практически не меняются. Центральная Гренландия также выделяется в отдельный район, – здесь он под № 5. Распределение температур за рассматриваемый период в районах № 3 и № 4 практически совпадает, отличия состоят только в значениях примерно на 2 °С: средняя температура по району № 3 – -5,8 °С, по району № 4 – -7,8 °С.

Для дальнейшего анализа будем считать целесообразным разделение Арктики на четыре района. При делении их на большее число годовой ход температур в районах центральной Арктики отличается по значениям и одинаков по своему ходу.

Результаты районирования для холодного полугодия

Для холодного периода при делении на три района район № 1, который находится под влиянием Атлантики, по размеру гораздо меньше, чем в теплом периоде, и включает в себя только Норвежское, Гренландское и Баренцево моря. В это время отмечается наиболее активная циклоническая циркуляция, связанная с интенсивной Исландской депрессией, но далеко на восток ее влияние не распространяется и ограничивается Баренцевым морем. Район № 3 – центральная Арктика, Гренландия и Канадские острова. Вся остальная акватория – район № 2. Из графиков многолетнего хода температур можно отметить, что в районах № 2 и № 3 они меняются практически синхронно.

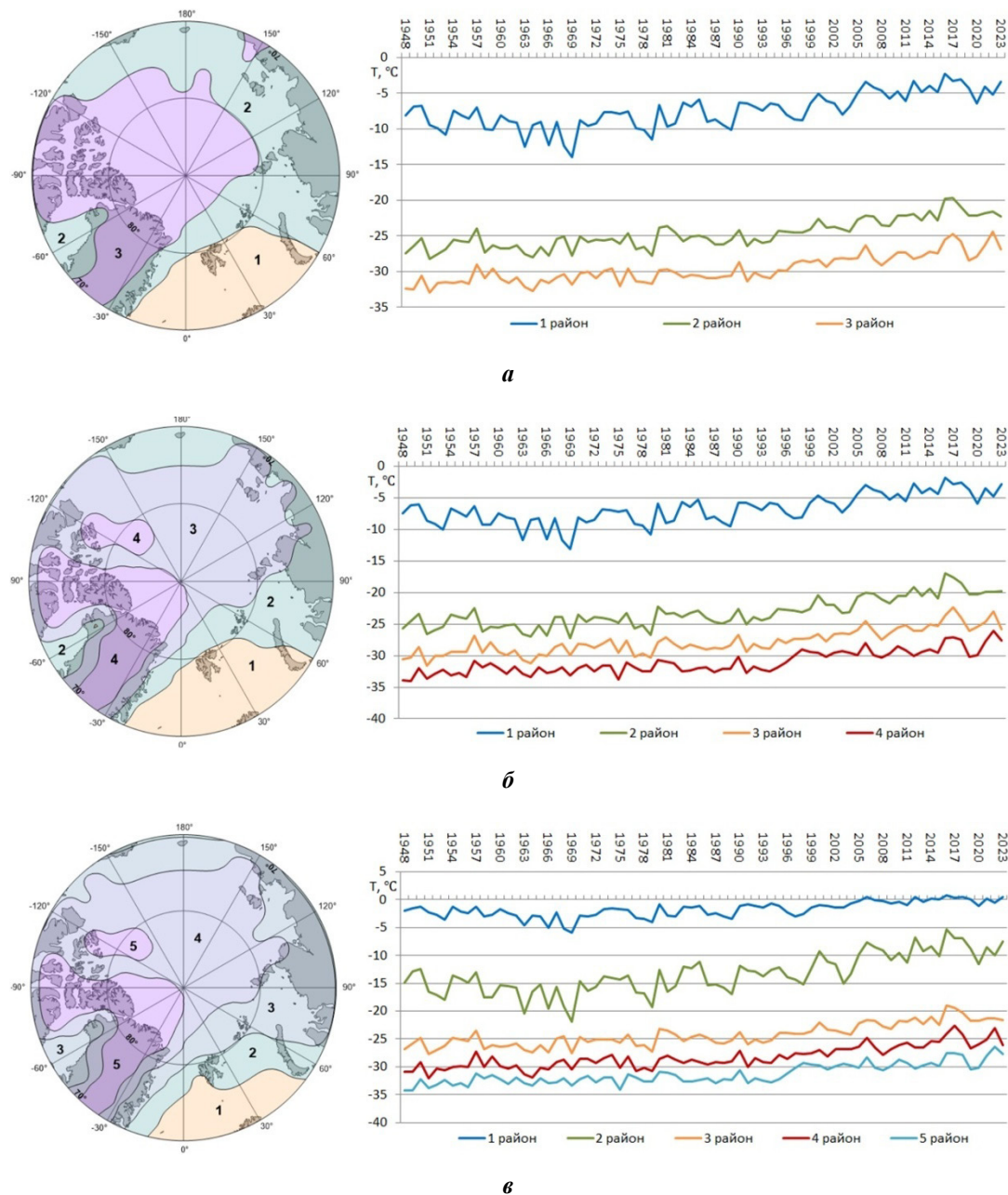


Рис. 2. Районирование акватории Арктики по средней температуре воздуха для районов № 3 (а), № 4 (б), № 5 (в) для холодного полугодия (ноябрь – апрель) и графики изменчивости средней температуры воздуха по каждому району

На рис. 2б представлено районирование средней температуры воздуха за холодный период для четырех районов. По сравнению с делением на три района для данного периода отдельно выделяется территория о. Гренландии. Температуры здесь самые низкие со средним значением $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. По графику изменчивости средней температуры по годам видно, что район № 1, находящийся под влиянием Атлантики,

имеет ровный ход и является наиболее теплым, его средняя температура воздуха составляет $-0,5$ °С. В районе № 2 влияние циклонов также ощущается, но значительно меньше. Это акватории Карского моря и Девисов пролив, а со стороны Тихого океана – Чукотское море, куда циклоны, как правило, не проникают, но могут задевать своей северной частью. Район № 3 включает в себя зону, вытянутую к побережью Канады и северному побережью Сибири, под влиянием области высокого давления. Кривые многолетнего хода температуры для районов № 1, № 2 и № 3 имеют весьма согласованный ход.

На рис. 2в представлено районирование средней температуры воздуха за холодный период для пяти районов. Здесь районы № 2 и № 3 по предыдущей классификации делятся на три отдельных района. При этом ход температуры практически не меняется, отличия больше в значениях.

Поэтому, как и с теплым периодом, остановимся на разделении акватории на четыре района.

Далее проанализировано многолетнее изменение температуры воздуха за рассматриваемый период методом интегральных кривых.

Метод разностной интегральной кривой

Для вычисления разностной интегральной кривой в начале для данного ряда наблюдений находится минимальное значение, после чего рассчитывается отклонения каждого значения ряда от минимального. Интегральная кривая строится путем последовательного суммирования этих отклонений по формуле:

$$\sum_{1}^{i} (M_i - M_{\min}) = f(t)$$

где M_i – значение ряда, M_{\min} – минимальное значение ряда.

Из выражения следует, что разностная интегральная кривая представляет собой нарастающую сумму отклонений значений данного ряда от минимального многолетнего значения ряда на конец каждого M_i года.

Положительные значения отклонений при суммировании за рассматриваемый период дают наклон разностной интегральной кривой вверх относительно горизонтальной оси, а отрицательные значения – наклон кривой вниз [9].

Анализ многолетней изменчивости температуры воздуха для четырех районов

Ниже представлены графики разностных интегральных кривых, полученные для теплого полугодия при делении акватории Арктики на четыре района (рис. 3).

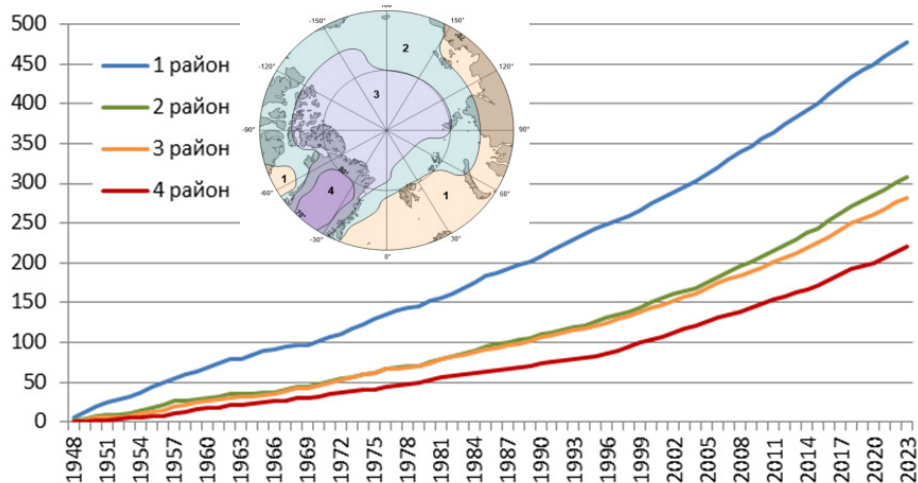


Рис. 3. Разностные интегральные кривые средней температуры воздуха для четырех районов за теплый период и расположение районов

В теплый период в начале 1960-х гг. для всех районов отмечается небольшое понижение температуры воздуха. Для района № 4 оно наиболее заметно с 1961 по 1965 гг. Далее температура начинает расти. В районе № 4 (Гренландия и Канадский архипелаг) хорошо выражены периоды похолодания и потепления – до и после 2001 г. В остальных районах повышение температуры происходит постепенно. Наиболее значительные изменения температуры воздуха отмечаются в районах № 2 и № 3 – это центральная Арктика и прилегающие моря. В наименьшей степени температурные изменения затронули район № 1 (атлантический).

На рис. 4 представлены графики интегральных кривых средней температуры воздуха за холодный период года. Распределение кривых дает возможность оценить знак и интенсивность изменения температуры за период выборки.

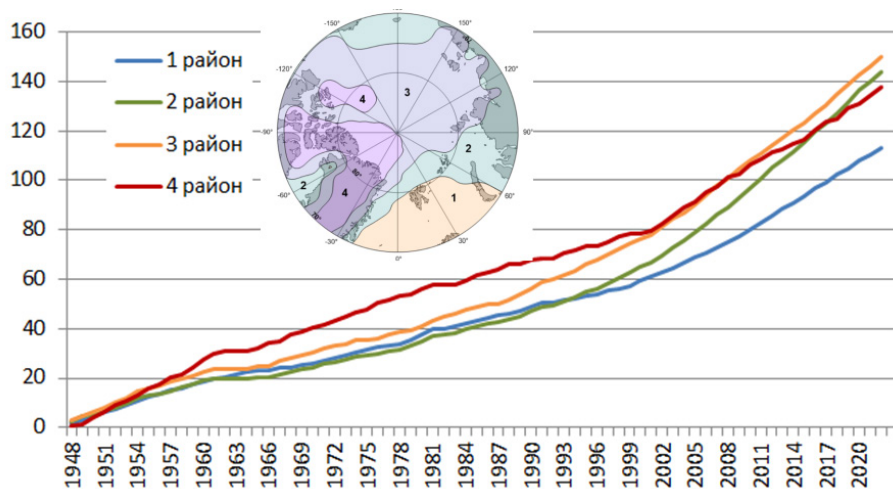


Рис. 4. Разностные интегральные кривые средней температуры воздуха за холодный период для четырех районов и расположение районов

В холодное полугодие отмечается постепенное повышение температуры воздуха во всех четырех районах Арктики, нет четкой даты перехода к периоду потепления. Наиболее значительные изменения отмечаются в районе № 1. В районе № 2 и № 3 повышение температуры происходит практически синхронно. Наименее интенсивное повышение температуры отмечается над территорией Гренландии и Канадским архипелагом – в районе № 4 кривая находится ниже остальных.

Значения линейных трендов (°C/10 лет) по четырем районам для холодного (ноябрь – апрель) и теплого (май – октябрь) полугодий

	Теплый период	Холодный период
Район № 1	0,21	0,76
Район № 2	0,45	0,86
Район № 3	0,35	0,74
Район № 4	0,12	0,68

За рассматриваемый период для теплого и холодного полугодий для четырех районов также рассчитаны значения линейных трендов (см. таблицу). Все тренды проверены на значимость по критерию Фишера и значимы на уровне 0,05.

Из анализа таблицы видно, что изменение температуры в холодный период происходит быстрее, чем в теплый. Значения линейных трендов здесь примерно в 2–3 раза больше, чем за теплое полугодие. При этом в теплый период наиболее интенсивные изменения происходили в районах центральной Арктики и прилегающих морях (районы № 2 и № 3) – на 0,35–0,45 °C/10 лет. Наименьшие изменения коснулись Гренландии (район № 4), температура здесь повышалась на 0,12 °C/10 лет. А в холодный период примерно с одинаковой скоростью менялась температура во всей Арктике на 0,74–0,86 °C/10 лет (районы с № 1 по № 3), в Гренландии чуть меньше 0,68 °C/10 лет (район № 4).

Выводы

По итогам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. По температурному режиму Арктики можно выделить четыре однородных района, которые в зависимости от сезона меняют свои размеры и форму. Последние обусловлены преобладающими здесь синоптическими процессами, воздушными массами и влиянием подстилающей поверхности. Выделяются: Атлантико-Европейская область с высокой циклонической циркуляцией – в теплый период зона вытягивается далеко на восток вдоль арктического российского побережья; следующая за ней зона – с менее выраженным влиянием циклонов; далее – центральная Арктика; Гренландия, которая в холодный период объединяется в одну зону с Канадским архипелагом.

2. Повышения температуры воздуха происходят в целом постепенно, без ярко выраженных периодов потепления и похолодания. Наибольшие интенсивные потепления наблюдались в холодный период года для всех четырех районов. Изменения коснулись главным образом центральных районов Арктики и в меньшей степени Гренландии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мاستрюков С. И., Лаврова И. В. Система гидрометеорологического обеспечения в условиях изменения климата в Арктике: причины изменений // Навигация и гидрография. – 2018. – № 54. – С. 83–92.
2. Шерстюков Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. – Обнинск: Изд. ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2008. – 246 с.
3. Нигматулин Р. И. Заметки о глобальном климате и океанских течениях // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 48. – № 1. – С. 1–8.
4. Топтунова О. Н., Иванова И. А., Анискина О. Г., Моцаков М. А., Лаврова И. В., Шишкина Т. Р. Изменчивость приземной температуры воздуха на Арктической территории России и ее связь с изменениями циркуляции атмосферы // Навигация и гидрография. – 2023. – № 72. – С. 87–97.
5. Ростов И. Д., Дмитриева Е. В., Рудых Н. И., Воронцов А. А. Климатические изменения термических условий Карского моря за последние 40 лет // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2019. – Том 65. – № 2. – С. 125–147.
6. Бредихин А. В., Еременко Е. А., Харченко С. В., Беляев Ю. Р., Романенко Ф. А., Большов С. И., Фузеина Ю. Н. Районирование российской Арктики по типам антропогенного освоения и сопутствующей трансформации рельефа на основе кластерного анализа // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2020. – № 1. – С. 42–56.
7. Национальное управление океанических и атмосферных исследований (NOAA). [Электронный ресурс] / URL: NCEP-NCAR Reanalysis 1: NOAA Physical Sciences Laboratory NCEP-NCAR Reanalysis 1.
8. Стукач О. В. Программный комплекс Statistica в решении задач управления качеством: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 163 с.
9. Дубровская Л. И., Князев Г. Б. Компьютерная обработка естественнонаучных данных методами многомерной прикладной статистики: Учебное пособие. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2011. – 120 с.

CLIMATIC ZONING OF THE ARCTIC BY AIR TEMPERATURE USING THE CLUSTER ANALYSIS METHOD

I. V. Lavrova (RSHU, “GNINGI” JSC)

In this work, the Arctic water area is zoned using the method of k-means cluster analysis of air temperature by warm and cold half-years. The variability of air temperature for the period from 1948 to 2023 was analyzed for four regions using the method of difference integral curves and linear trend values.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ГЛЕБОВ Виктор Борисович,
ведущий научный сотрудник
ФГБУ «ВНИИ «Океангеология».
Тел: 8(921)863-20-74

ДЕМИНА Ирина Михайловна,
ведущий научный сотрудник, СПб филиал
ФГБУН Института земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн им.
Н. В. Пушкова РАН, кандидат физ.-мат. н.
E-mail: dim@izmiran.spb.ru

ЕРЫШЕВ Алексей Владимирович,
старший научный сотрудник Научно-
исследовательского центра радиоэлектронного
вооружения и формирования информационных
ресурсов ВМФ НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ
«Военно-морская академия».
E-mail: vunc-vmf-4fil@mail.ru

ЖИЛЬЦОВ Николай Николаевич,
старший научный сотрудник АО «ГНИНГИ».
E-mail: nik12345n1k@yandex.ru

ЗАЦЕПИН Андрей Георгиевич,
главный научный сотрудник, заведующий
лабораторией экспериментальной физики океана
ФГБУН «Институт океанологии им.
П. П. Ширшова РАН», доктор физ.-мат. н.,
E-mail: zatsepin@ocean.ru

ИВАНОВ Сергей Алексеевич,
ведущий научный сотрудник, СПб филиал
ФГБУН Института земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн им.
Н.В. Пушкова РАН, канд. физ.-мат. н.,
E-mail: sergei.a.ivanov@mail.ru

КАРАЕВ Владимир Юрьевич,
заведующий лабораторией анализа и
моделирования спутниковых данных, ФГБНУ
ФИЦ «Институт прикладной физики им.
А.В. Гапонова-Грехова Российской академии
наук, канд. физ.-мат. н.
E-mail: volody@ipfran.ru

КОВАЛЕВ Сергей Михайлович,
заведующий лабораторией физики льда,
Арктический и антарктический научно-
исследовательский институт.
E-mail: skovalev@aari.ru

Viktor B. GLEBOV,
Leading Researcher, FSBI “VNIIOkeangeologia”.
Тел: 8(921)863-20-74

Irina M. DEMINA,
Leading researcher, Pushkov Institute of
Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio
Wave Propagation of the Russian Academy of
Sciences St.-Petersburg Filial, CandSc.
E-mail: dim@izmiran.spb.ru

Aleksey V. ERY SHEV,
Senior researcher of the Research center for
electronic weapons of Navy, Naval Academy.
E-mail: vunc-vmf-4fil@mail.ru

Nikolay N. ZHILTSOV,
Senior researcher of “GNINGI” JSC.
E-mail: nik12345n1k@yandex.ru

Andrey G. ZATSEPIN,
Chief Researcher, Head of the Laboratory of
Experimental Ocean Physics of the FSBIS
“Institute of Oceanology named after
P. P. Shirshov RAS”, DSc.
E-mail: zatsepin@ocean.ru

Sergei A. IVANOV,
Leading researcher, Pushkov Institute of
Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio
Wave Propagation of the Russian Academy of
Sciences St.-Petersburg Filial, CandSc.
E-mail: sergei.a.ivanov@mail.ru

Vladimir Yu. KARAEV,
Head of the Laboratory for Analysis and
Modeling of Satellite Data, FSBIS FRC “Institute
of Applied Physics named after. A.V. Gaponov-
Grekhov RAS”, CandSc.
E-mail: volody@ipfran.ru

Sergey M. KOVALEV,
Head of the Laboratory of Ice Physics, Arctic and
Antarctic Research Institute.
E-mail: skovalev@aari.ru

КОРОТАЕВ Геннадий Константинович,
научный руководитель ФГБУН ФИЦ «Морской
гидрофизический институт РАН», доктор физ.-
мат. н., профессор, член-корреспондент РАН.
E-mail: korotaevgren@mail.ru

КУШЕВЕРСКИЙ Игорь Александрович,
ведущий инженер лаборатории физики льда
отдела ледового режима и прогнозов ФГБУ
«Арктический и Антарктический научно-
исследовательский институт».
E-mail: iakusheversky@aari.ru

ЛАВРОВА Ирина Викторовна,
доцент кафедры метеорологических прогнозов
ФГБОУ ВО «Российский государственный
гидрометеорологический университет», ведущий
научный сотрудник НИОЦ АО «ГНИНГИ», канд.
геогр. н.
E-mail: livspb@yandex.ru

ЛУНЁВ Евгений Геннадьевич,
заместитель директора ООО «Марлин-Юг», канд.
техн. н.
E-mail: lunev@marlin-yug.com

МАЛЬКОВА Екатерина Витальевна,
студентка ФГБОУ ВО «Российский
государственный гидрометеорологический
университет».
E-mail: malk0vaek@yandex.ru

МЕРКУРЬЕВ Сергей Александрович,
ведущий научный сотрудник СПб филиал
ФГБУН Института земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн им.
Н.В. Пушкова РАН, Санкт-Петербургский
государственный университет, канд. физ.-мат. н.
E-mail: sam_hg@hotmail.com

МЕШКОВ Евгений Михайлович,
младший научный сотрудник лаборатории
радиолокационных методов, ФГБНУ ФИЦ
«Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-
Грехова Российской академии наук».
E-mail: meshkov@ipfran.ru

МИЗИЮК Артем Игоревич,
старший научный сотрудник ФГБУН ФИЦ
«Морской гидрофизический институт РАН»,
канд. физ.-мат. н.
E-mail: artem.mizyuk@mhi-ras.ru

Gennadiy K. KOROTAEV,
Scientific Director of the FSBIS of the FRC
“Marine Hydrophysical Institute RAS”, Doctor of
Physics and Mathematics, Professor,
Corresponding Member of the Russian Academy
of Sciences.
E-mail: korotaevgren@mail.ru

Igor A. KUSHEVERSKIY,
Leading engineer of the Ice Physics Laboratory, Ice
Regime and Forecasts Department, Arctic and
Antarctic Research Institute.
E-mail: iakusheversky@aari.ru

Irina V. LAVROVA,
Associate professor of the Department of
Meteorological forecasts RSHU, leading
researcher of the Research Oceanographic Center,
“GNINGI” JSC, CandSc.
E-mail: livspb@yandex.ru

Evgeniy G. LUNEV,
Deputy Director of Marlin-Yug LLC, CandSc
E-mail: lunev@marlin-yug.com

Ekaterina V. MALKOVA,
Student of the Russian State Hydrometeorological
University (RSHU).
E-mail: malk0vaek@yandex.ru

Sergey A. MERKURYEV,
Leading researcher, Pushkov Institute of
Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio
Wave Propagation of the Russian Academy of
Sciences St.-Petersburg Filial, S-Petersburg State
University, CandSc.
E-mail: sam_hg@hotmail.com

Evgeniy M. MESHKOV,
Junior researcher at the Laboratory of Radar
Methods, FSBIS FRC “Institute of Applied
Physics named after. A.V. Gaponov-Grekhov
RAS”.
E-mail: meshkov@ipfran.ru

Artem I. MIZYUK,
senior researcher at the FSBIS of the FRC
“Marine Hydrophysical Institute RAS”, CandSc.
E-mail: artem.mizyuk@mhi-ras.ru

МИЛЯКОВ Денис Федорович,
инженер 1 категории АО «Научный центр
прикладной электродинамики», канд. техн. н.
E-mail: denism@navis.ru

НЕПОМИЛУЕВ Геннадий Николаевич,
заместитель начальника Управления навигации и
океанографии МО РФ, капитан 1 ранга.
E-mail: unio@mil.ru

ОНИЩЕНКО Олег Леонидович,
генеральный директор
ООО «Навгеоком ДифСервис Групп».
E-mail: seadgps@mail.ru

ОСИПОВ Олег Дмитриевич,
ведущий научный сотрудник АО «ГНИНГИ»,
канд. воен. н.
E-mail: osipov.o.66@mail.ru

ОСТРОВСКИЙ Александр Григорьевич,
ведущий научный сотрудник, и.о. заместителя
директора по научной работе направления
Морская техника, руководитель лаборатории
акустики океана ФГБУН «Институт океанологии
им. П.П. Ширшова РАН», канд. геогр. н.
E-mail: osasha@ocean.ru

РЕШЕТНЯК Сергей Витальевич,
главный научный сотрудник – советник
генерального директора АО «ГНИНГИ»,
докт. техн. н.
E-mail: svr@gningi.ru

СМОЛИН Владимир Максимович,
генеральный директор АО «ГНИНГИ»,
канд. техн. н.
E-mail: mail@gningi.ru

СОКОЛОВ Николай Сергеевич,
ведущий научный сотрудник АО «ГНИНГИ»,
канд. техн. н.
E-mail: sokolovns@mail.ru

СТАРОТИТОРОВ Сергей Станиславович,
начальник океанографического отдела
Управления навигации и океанографии МО РФ,
капитан 2 ранга.
E-mail: unio@mil.ru

Denis F. MILYAKOV,
1st category engineer, Scientific Center of Applied
Electrodynamics, JSC, CandSc.
E-mail: denism@navis.ru

Gennadiy N. NEPOMILUEV,
Deputy Head of Navigation and Oceanography
Department of the Ministry of Defense of the
Russian Federation, Captain 1st rank.
E-mail: unio@mil.ru

Oleg L. ONISHCHENKO,
Director General, Navgeocom DifService Group
LLC.
E-mail: seadgps@mail.ru

Oleg D. OSIPOV,
Senior researcher of “GNINGI” JSC, CandSc.
E-mail: osipov.o.66@mail.ru

Alexander G. OSTROVSKY,
leading researcher, acting deputy director for
scientific work of the Marine Engineering
direction, head of the ocean acoustics laboratory
of the FSBIS “Institute of Oceanology named
after P. P. Shirshov RAS”, CandSc.
E-mail: osasha@ocean.ru

Sergey V. RESHETNYAK,
chief scientist –advisor to the Director General
“GNINGI” JSC, DSc.
E-mail: svr@gningi.ru

Vladimir M. SMOLIN,
Director General of “GNINGI” JSC, CandSc.
E-mail: mail@gningi.ru

Nikolay S. SOKOLOV,
Senior researcher, “GNINGI” JSC, CandSc.
E-mail: sokolovns@mail.ru

Sergey S. STAROTITOROV,
Head of Oceanographic Division, Navigation and
Oceanography Department of the Ministry of
Defense of the Russian Federation, Captain 2nd
rank.
E-mail: unio@mil.ru

ТИТЧЕНКО Юрий Андреевич,
заместитель заведующего отделом
радиофизических методов в гидрофизике, ФГБНУ
ФИЦ «Институт прикладной физики им.
А.В. Гапонова-Грехова Российской академии
наук», канд. физ.-мат. н.
E-mail: yuriy@ipfran.ru

ТРАВИН Сергей Викторович,
член Русского географического общества, канд.
техн. н.
E-mail: travin.s@mail.ru

ХОЛОД Антон Леонидович,
научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Морской
гидрофизический институт РАН», канд. тех. н.
E-mail: antonholod@mail.ru

ХОТЧЕНКОВ Степан Викторович,
научный сотрудник отдела ледового режима и
прогнозов, Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт.
E-mail: hody@aari.ru

ШАРКОВ Андрей Михайлович,
начальник управления гидрографии, геофизики
и гидрометеорологии АО «ГНИНГИ», докт. техн.
н., доцент.
E-mail: sharkov-am@mail.ru

Yuriy A. TITCHENKO,
Deputy Head of the Department of Radiophysical
Methods in Hydrophysics, FSBIS FRC “Institute of
Applied Physics named after. A. V. Gaponov-
Grekhov RAS”, CandSc.
E-mail: yuriy@ipfran.ru

Sergey V. TRAVIN,
Member of the Russian Geographical Society,
CandSc.
E-mail: travin.s@mail.ru

Anton L. KHOLOD,
researcher at the FSBIS of the FRC “Marine
Hydrophysical Institute RAS”, CandSc.
E-mail: antonholod@mail.ru

Stepan V. KHOTCHENKOV,
Researcher, Ice Regime and Forecasts Department,
Arctic and Antarctic Research Institute.
E-mail: hody@aari.ru

Andrey M. SHARKOV,
Chief of Department for Hydrography, Geophysics
and Hydrometeorology, “GNINGI” JSC, DSc,
associate professor.
E-mail: sharkov-am@mail.ru

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.056.8+528.47

Проблемы высокоточного координирования гидрографических и других морских работ в акватории Северного морского пути в условиях санкционных ограничений и пути их решения. Часть II. Российский инновационный сервис высокоточного определения координат от компании АО ГЛОНАСС. В. М. Смолин, С. В. Решетняк, Д. Ф. Миляков, О. Л. Онищенко. – Навигация и гидрография. – 2023. – № 4 (73). – С. 7–33.

В ранее опубликованной первой части статьи были рассмотрены возможности различных глобальных и региональных спутниковых систем для передачи дифференциальных корректирующих поправок и текущие проблемы высокоточного координирования гидрографических и других видов морских работ в акватории Северного морского пути в условиях санкционных ограничений. Во второй части статьи рассматриваются особенности основных вариантов метода высокоточного определения координат точки / Precise Point Positioning (PPP) и отечественная технология высокоточного определения координат, разработанная российской компанией АО «ГЛОНАСС», испытанная в акватории Северного морского пути. Приводятся результаты предварительного тестирования PPP-сервиса АО «ГЛОНАСС», позволяющего решить проблему ухода с российского рынка иностранных провайдеров аналогичных услуг.

Ключевые слова: глобальная навигационная спутниковая система, гидрографические работы, высокоточное определение координат, Северный морской путь.

УДК 528.94

Роль гидрографической службы Военно-Морского Флота в обосновании расширенного континентального шельфа Российской Федерации в Тихом и Северном Ледовитом океанах. Г. Н. Непомилуев, С. С. Старотиторов, В. Б. Глебов, А. М. Шарков. – Навигация и гидрография. – 2023. – № 4 (73). – С. 34–45.

В статье в хронологической последовательности раскрыты основные работы, организованные и выполненные специалистами ГС ВМФ, из общего комплекса мероприятий по обоснованию внешних границ континентального шельфа Российской Федерации в Тихом и Северном Ледовитом океанах.

Ключевые слова: континентальный шельф, Северный Ледовитый океан, гидрографическая служба, база батиметрических данных, Конвенция ООН по морскому праву.

УДК 355/359(094)

Правовое описание ситуации передачи отчетных материалов морских исследований иностранным компаниям. Н. С. Соколов. – Навигация и гидрография. – 2023. – № 4 (73). – С. 46–52.

В статье раскрыты правовые особенности передачи материалов морских исследований иностранным компаниям.

Ключевые слова: морские исследования, внешнеэкономическая деятельность, защита государственной тайны.

УДК 550.380

Годограф и измерение горизонтальных компонент геомагнитного поля на ферромагнитном судне. С. А. Иванов, С. А. Меркурьев, И. М. Демина. – Навигация и гидрография. – 2023. – № 4 (73). – С. 52–65.

Изучается годограф – кривая (Y, X) , где X и Y горизонтальные компоненты магнитного поля Земли, измеренные в корабельной системе координат при циркуляции корабля. Приведены примеры применения годографа к данным, полученным в экспедиции ОИС «Адмирал Владимирский» 2019–2020 гг.

Ключевые слова: магнитное поле Земли, матрица Пуассона, трехкомпонентный магнитометр, бортовые магнитные измерения.

УДК 528.9

Распространение государственных морских электронных навигационных карт в России и за рубежом. О. Д. Осипов, С. В. Травин. – Навигация и гидрография. – 2023. – № 4 (73). – С. 66–74.

Рассмотрены вопросы распространения электронных навигационных морских карт через международные региональные координационные центры и возможность формирования российского центра распространения ЭНК.

Ключевые слова: координационный центр, навигационная морская карта, гидрографическая служба.

УДК 551.463/.468

Развитие автономной системы оперативных морских прогнозов Баренцева моря на основе отечественных океанологических наблюдений. Г. К. Коротаев, А. И. Мизюк, А. Л. Холод, А. Г. Зацепин, А. Г. Островский, Е. Г. Лунев. – Навигация и гидрография. – 2023. – № 4 (73). – С. 75–81.

Для решения различного рода прикладных задач в работе представлена концепция создания региональной системы оперативного прогноза Баренцева моря, основанная на национальных источниках входной информации.

Ключевые слова: оперативные системы, Баренцево море, гидродинамика, численное моделирование, морские прогнозы, отечественные наблюдательные системы, дрейфтеры, буй-профилемеры.

УДК 551.467+681.883.41

Измерение параметров ледяного покрова с помощью подводного гидролокатора «Трезубец» в арктических условиях: первые результаты. Ю. А. Титченко, В. Ю. Карась, Е. М. Мешков, С. М. Ковалев, И. А. Кушеверский, С. В. Хотченков – Навигация и гидрография. – 2023. – № 4 (73). – С. 82–92.

Работа посвящена описанию длительных измерений с подводным гидролокатором «Трезубец» на полярной станции "Мыс Баранова" ААНИИ. Целью работы является развитие гидроакустических методов измерения параметров ледяного покрова.

Ключевые слова: гидроакустические измерения, морской ледяной покров, уровень воды, толщина льда.

УДК 551.591/.515

Синоптические условия образования туманов в Баренцевом море. И. В. Лаврова, Е. В. Малькова. – Навигация и гидрография. – 2023. – № 4 (73). – С. 92–100.

В работе проанализированы пространственное распределение туманов над акваторией Баренцева моря и гидрометеорологические условия, при которых они наблюдаются. Наиболее распространенные типы туманов – адвентивные, туманы испарения и фронтальные туманы. Также рассмотрены синоптические ситуации, при которых они возникают.

Ключевые слова: адвективные туманы, туманы испарения, туманы на теплом фронте, Баренцево море.

УДК 551.46.0

К вопросу использования технологий искусственного интеллекта в развитии системы оперативной океанологии. Н. Н. Жильцов, А. В. Ерышев. – Навигация и гидрография. – 2023. – № 4 (73). – С. 101–109.

Рассмотрены возможности внедрения технологий искусственного интеллекта в океанологию в целом и в развитие системы оперативной океанологии. Приведены примеры возможности использования в океанологии и в смежных областях науки таких технологий искусственного интеллекта, как нейронные сети, большие данные, машинное обучение, глубокое обучение, интернет вещей, цифровой двойник.

Ключевые слова: искусственный интеллект, глубокое обучение, гидрофизическое поле, нейронная сеть, машинное обучение, оперативная океанология, цифровой двойник, интернет вещей.

УДК 551.524.3 551.581.21

Климатическое районирование Арктики по температуре воздуха методом кластерного анализа.
И. В. Лаврова. – Навигация и гидрография. – 2023. – № 4 (73). – С. 110–117.

В работе выполнено районирование акватории Арктики с помощью метода кластерного анализа средних по температуре воздуха по теплomu и холодному полугодиям. Проанализирована изменчивость температуры воздуха за период с 1948 по 2023 гг. по четырем районам методом разностных интегральных кривых и по значениям линейного тренда.

Ключевые слова: климатическая зона, Арктика, кластерный анализ, температура воздуха.

ABSTRACTS

The Problems of High-Precision Positioning of Hydrographic and Other Marine Works in the NSR Waters Under Sanctions Restrictions and Ways to Solve Them. Part II. Russian Innovative Precise Point Positioning Service from GLONASS JSC. V. M. Smolin, S. V. Reshetnyak, D. F. Milyakov, O. L. Onishchenko. – Navigation and hydrography. – 2023. – No. 4 (73). – P. 7–33.

In the previously published first part of the article the capabilities of various global and regional satellite systems for transmission of differential corrections and current problems of high-precision positioning of hydrographic and other types of marine works in the waters of the Northern Sea Route under sanctions restrictions were considered. In the second part of the article the features of the main variants of the Precise Point Positioning method and the domestic technology of Precise Point Positioning (PPP) developed by the Russian company GLONASS JSC and tested in the waters of the Northern Sea Route are considered. The results of preliminary testing of PPP-service from GLONASS JSC are given, which allows to solve the problem of foreign providers of similar services leaving the Russian market.

Keywords: Global Navigation Satellite System, hydrographic works, Precise Point Positioning, Northern Sea Route.

The Role of the Hydrographic Service of the Russian Navy in Substantiating the Extended Continental Shelf of the Russian Federation in the Pacific and Arctic Oceans. G. N. Nepomiluev, S. S. Starotitorov, V. B. Glebov, A. M. Sharkov. – Navigation and hydrography. – 2023. – No. 4 (73). – P. 34–45.

The article reveals in chronological sequence the main works organized and carried out by specialists of the hydrographic service of the Russian Navy in the interests of substantiating the external boundaries of the continental shelf of the Russian Federation in the Pacific and Arctic Oceans.

Keywords: Continental shelf, Arctic Ocean, hydrographic service, bathymetric data base, United Nations Convention on the Law of the Sea.

Legal Description of the Situation of Transfer of Marine Research Reports to Foreign Companies. N. S. Sokolov. – Navigation and hydrography. – 2023. – No. 4 (73). – P. 46–52.

The article reveals legal peculiarities of transfer of marine research materials to foreign companies.

Keywords: Marine research, foreign economic activity, protection of state secrets.

Hodograph and Measurement of Horizontal Components of the Geomagnetic Field on a Ferromagnetic Vessel. S. A. Ivanov, S. A. Merkuriev, I. M. Demina. – Navigation and hydrography. – 2023. – No. 4 (73). – P. 52–65.

The hodograph is under consideration - the curve (Y,X), where X and Y are the horizontal components of the Earth's magnetic field, measured in the ship's coordinate system during the ship's circulation. Examples of the application of the hodograph to data obtained during the expedition of the RV "Admiral Vladimirsky" in 2019–2020 are given.

Keywords: Earth's magnetic field, soft iron transformation matrix, three-component magnetometer, onboard magnetic measurements.

Distribution of State Marine Electronic Navigation Charts in Russia and Abroad. O. D. Osipov, S. V. Travin. – Navigation and hydrography. – 2023. – No. 4 (73). – P. 66–74.

The issues of electronic navigational nautical charts distribution through international regional coordination centers and the possibility of forming a Russian center for ENC distribution are considered.

Keywords: Coordination center, navigational nautical chart, hydrographic service.

Development of an Autonomous System of Operational Marine Forecasts of the Barents Sea Based on National Oceanological Observations. G. K. Korotaev, A. I. Mizyuk, A. L. Kholod, A. G. Zatsepin, A. G. Ostrovskiy, E. G. Lunev. – Navigation and hydrography. – 2023. – No. 4 (73). – P. 75–81.

The paper presents the concept of developing the regional operational forecast system for the Barents Sea based on national sources of input information to solve various kinds of applied problems.

Keywords: Operating system; Barents Sea; hydrodynamics; numerical simulations; marine forecast; national observation system; drifter; profiler buoy.

Measurement of Ice Cover Parameters Using the Underwater Sonar "Trezubets" in Arctic Conditions: First Results. Yu. A. Titchenko, V. Yu. Karaev, E. M. Meshkov, S. M. Kovalev, I. A. Kusheverskiy, S. V. Khotchenkov. – Navigation and hydrography. – 2023. – No. 4 (73) – P. 82–92.

The article is devoted to the description of long-term measurements with the underwater sonar "Trezubets" at the polar station "Cape Baranova" of the AARI. The aim of the work is to develop hydroacoustic methods for measuring ice cover parameters.

Keywords: Hydroacoustic measurements, sea ice cover, water level, ice thickness.

Synoptic Conditions of Fog Formation in the Barents Sea. I. V. Lavrova, E. V. Malkova. – Navigation and hydrography. – 2023. – No. 4 (73). – P. 92–100.

The paper analyzes the spatial distribution of fogs over the Barents Sea and the hydrometeorological conditions under which they are observed. The most common types of fogs are adventitious fogs, evaporative fogs and frontal fogs. The synoptic situations under which they occur are also considered.

Keywords: Advective fogs, evaporation fogs, fogs at the warm front, Barents Sea.

On the Use of Artificial Intelligence Technologies in the Development of Operational Oceanology System. N. N. Zhiltsov, A. V. Eryshev. – Navigation and hydrography. – 2023. – No. 4 (73). – P. 101–109.

The possibilities of introducing artificial intelligence technologies in oceanology in general and in the development of operational oceanology system are considered. Examples of artificial intelligence technologies such as neural networks, big data, machine learning, deep learning, internet of things, digital twin are given.

Keywords: Artificial intelligence, deep learning, hydrophysical field, neural network, machine learning, operational oceanology, digital twin, internet of things.

Climatic Zoning of the Arctic by Air Temperature Using the Cluster Analysis Method. I. V. Lavrova. – Navigation and hydrography. – 2023. – No. 4 (73). – P. 110–117.

In this work, the Arctic water area is zoned using the method of k-means cluster analysis of air temperature by warm and cold half-years. The variability of air temperature for the period from 1948 to 2023 was analyzed for four regions using the method of difference integral curves and linear trend values.

Keywords: Climatic zoning, Arctic, cluster analysis, air temperature.

ИНФОРМАЦИЯ

Глубокоуважаемые коллеги!

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

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

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

Журнал выходит четыре раза в год и в соответствии с Федеральным законом от 29.12.1994 № 77-ФЗ «Об обязательном экземпляре документов» поступает в Российскую книжную палату, крупнейшие библиотеки России и центры научно-технической информации.

Электронные версии выпусков журнала размещаются на сайте Российской государственной библиотеки.

Полный архив журнала в формате PDF доступен на сайте АО «ГНИНГИ» www.gningi.ru.

Информация для авторов

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

Объем статьи без аннотации и списка литературы – от 15 до 30 тыс. печатных знаков, включая пробелы.

Название статьи должно в наиболее краткой форме отражать ее содержание.

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

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

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

В сведениях об авторах указываются: фамилия, имя, отчество; ученая степень; ученое звание; место работы с указанием полного наименования учреждения и должности; адрес электронной почты.

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

Для написания формул и символов следует использовать встроенный в пакет MSOffice редактор формул.

Кириллица, греческие буквы, скобки и цифры всегда набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набираются *курсивом* как в формулах, так и в тексте, кроме устойчивых форм (max, min, cos, sin, tg, log и пр.)

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

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

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

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

Адрес редакции: АО «ГНИНГИ»,
199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41
Телефон: +7(905)228-17-51
E-mail: info@gningi.ru



ДЛЯ ЗАМЕТОК

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

№ 4 (73)

Декабрь 2023

Главный редактор В. М. Смолин

Научный редактор П. И. Малеев

Редактор И. Ю. Бугрова

Технический редактор С. А. Солодухина

Учредитель и издатель – АО «ГНИНГИ».

199106, г. Санкт-Петербург, Кожевенная линия, д. 41

Телефон: +7(905)228-17-51; E-mail: mail@gningi.ru; www.gningi.ru

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

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

Электронная версия журнала размещена на сайте www.gningi.ru

Цена свободная

Подписано в печать 18.12.2023 г. Формат 84×108/16

Печать цифровая. Усл. печ. л. 13,65. Тираж 100 экз. Заказ № 174

Отпечатано 25.12.2023 г. в типографии ООО «Цифрофсет»,
199178, г. Санкт-Петербург, 5-я линия В.О., дом 70, литер А, помещение 52/52Н

АО «ГНИНГИ»
2023

ISSN 2220-0983 «Навигация и гидрография» № 4 (73) Декабрь 2023