Океанологические исследования 2017. Том 45. № 1. С. 187–195

УДК 551.46.077 DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2017.45(1).14

# СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОЛОКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДНА И ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

**Н.А. Римский-Корсаков [1,2]**

[1] *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,*
*117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36, e-mail: nrk@ocean.ru*
[2] *Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана,*
*105005, Москва, 2-я Бауманская улица, 5с 1, e-mail: nrk@ocean.ru*
Статья поступила в редакцию 15.11.2017, одобрена к печати 25.12.2017

Технология натурных исследований есть совокупность материальной и методической составляющих. Методическая часть – это научно-обоснованный способ и последовательность применения материальной части. Материальная часть технологий гидролокационных исследований включает навигационные и гидролокационные приборы, которые подразделяются на поверхностные, заглубляемые, стационарные, буксируемые, автономные, а также приборы, устанавливаемые на подводных аппаратах. В основном все рассматриваемые средства используют единый принцип действия. Их важной составляющей являются устройства отображения и сбора информации, которые включают управляющие программы и программы обработки информации. Методически, технология гидролокационного исследования дна и подводных объектов подразделяется на три этапа. На первом этапе ведется отображение и сбор информации. На втором этапе ведется подготовка информации к обработке стандартными пакетами программ. На третьем этапе ведется собственно обработка информации, целью которой является представление ее в виде, удобном для анализа потребителями. Состав и структура технологии зависит от типа обследуемых объектов, места их нахождения и задач исследования. Применение эффективной методики проведения работ дает подчас лучший результат, нежели применение дорогостоящих приборов.

**Ключевые слова:** технология, гидролокация, технические средства, методика, сбор информации, обследуемые объекты, задачи исследования, район работ, плавсредство

Технологии натурных исследований представляют собой совокупность двух составляющих: материальной и методической. Материальная часть включает технические средства, программное обеспечение, а также оборудование, обеспечивающее проведение исследований в целом. Методическая часть представляет собой научно-обоснованный способ и последовательность применения элементов материальной части.

Материальная часть технологии гидролокационных исследований дна и подводных объектов, в первую очередь, включает гидролокационные и навигационные приборы, программное обеспечение для сбора и обработки информации, а также судовое и вспомогательное оборудование, обеспечивающее проведение исследований в целом.

Рассмотрим структуру технологии исследования дна и подводных объектов с использованием следующих приборов: во-первых, гидролокаторов бокового обзора трех типов: дальнего действия с рабочей частотой 5–30 кГц, среднечастотных с

рабочей частотой 50–100 кГц и высокочастотных с рабочей частотой 200–500 кГц; во-вторых, акустических профилографов для зондирования верхней толщи рыхлых донных отложений с рабочей частотой 3–10 кГц и, в-третьих, высокочастотных эхолотов с рабочей частотой 70–500 кГц. Рассматриваемые гидролокационные средства используют единый принцип действия (Принципы..., 1982; Яковлев, Каблов, 1983; Александров и др., 2008). Электрический зондирующий сигнал, генерируемый передающим устройством, преобразуется в акустический сигнал с помощью электроакустического преобразователя и излучается в сторону объекта исследования. Эхо-сигнал от объекта принимается и преобразуется в электрический сигнал с помощью того же самого, либо отдельного электроакустического преобразователя и поступает в приемно-усилительное устройство для анализа. Анализируется во всех гидролокационных средствах время распространения и амплитуда сигнала, реже частота и фаза сигнала. Гидролокационные средства разного назначения в основном характеризуются формой характеристики направленности электроакустического преобразователя (антенны) и рабочей частотой. Вторичными параметрами являются способ формирования характеристики направленности, мощность и вид зондирующих сигналов.

Перечисленные приборы гидролокационного типа (Римский-Корсаков, Никитин, 2011) подразделяются на поверхностные и заглубляемые. Классификационная схема приведена на рис.1. Поверхностные в свою очередь бывают **стационарные** и **буксируемые**. Акустическая антенна стационарных приборов жестко крепится к борту либо днищу плавсредства (судна), а буксируемых – в специальном носителе, который буксируется за судном. Приемо-передающий блок, устройство сбора и отображения информации поверхностных приборов устанавливаются на борту судна.

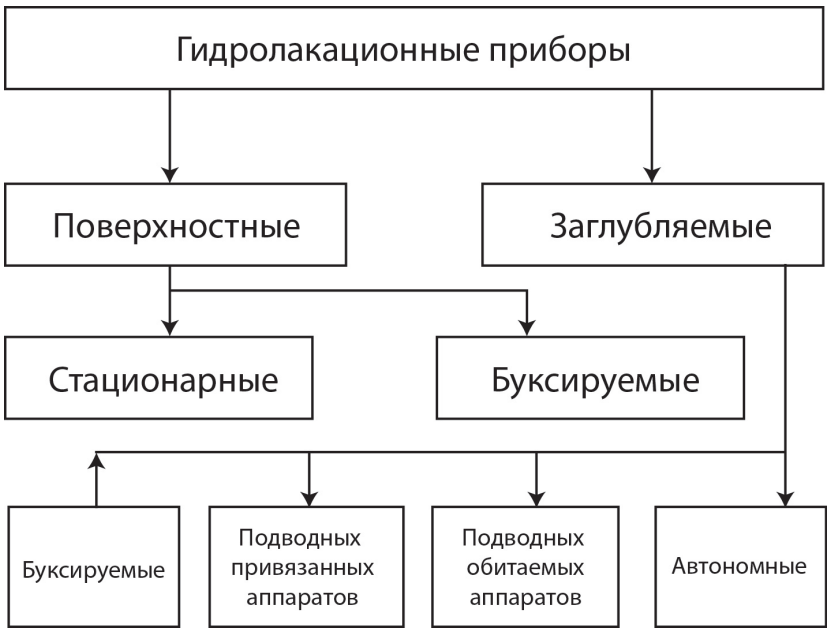


Рис.1. Схема, иллюстрирующая классификацию гидролокационных приборов.

Различают четыре типа заглубляемых гидролокационных приборов: а) буксируемые; б) приборы, установленные и входящие в состав аппаратурного комплекса подводных буксируемых аппаратов; в) приборы, установленные на подводных обитаемых и автономных аппаратах; г) автономные приборы.

**Заглубляемые буксируемые** приборы включают: а) носитель, несущий акустические антенны и электронный блок, который в зависимости от рабочих глубин прибора и длины кабельной буксирной линии может содержать устройства телеметрии, приемные или приемо-передающие блоки, б) судовую аппаратуру, включающую устройства приема, сбора и отображения информации, которая может содержать, передающие устройства и устройства телеметрии.

Отличие гидролокационных **приборов, устанавливаемых на подводных буксируемых аппаратах** (Римский-Корсаков, 2011), от заглубляемых буксируемых приборов состоит в том, что синхронизация их работы и передача данных на борт судна осуществляется с помощью систем телемеханики аппарата в соответствии с режимом работы остальных приборов.

Гидролокационные **приборы подводных обитаемых и автономных аппаратов** (Суконкин, 2011) включают антенную систему, устанавливаемую за бортом аппарата, а также приемо-передающий блок с устройством сбора и отображения информации, устанавливаемые внутри прочного корпуса аппарата.

Примером **автономного прибора** является так называемый пингер, используемый в качестве акустического профилографа.

Примеры гидролокационных средств, соответствующих классификации на рис. 1, приведены в таблице.

Из таблицы, в частности, следует, что приборы и комплексы, предназначенные для работы на разных глубинах, обладают различными конструктивными особенностями.

Важной составной частью приборов гидролокационного типа являются **устройства отображения и сбора информации** (Руссак и др., 2017; Руссак, Тихонова, 2015) в реальном времени (в настоящее время, как правило цифровые). Эти устройства могут входить в состав каждого из перечисленных гидролокационных приборов, либо быть общими для набора приборов.

Навигационные приборы – это, в первую очередь, **средства определения местоположения** гидролокационного прибора в процессе сбора информации. Желательной важной частью навигационного прибора является **устройство отображения навигационной обстановки** в реальном времени, облегчающее проводку судна с гидролокационным прибором по заданному маршруту. Часто при построении стационарных гидролокационных комплексов устройства отображения и сбора гидролокационной и навигационной информации объединяются в единую систему (Пешехонов, 2008).

Программное обеспечение включает, во-первых, **управляющие программы**, обеспечивающие функционирование электронной гидролокационной и навигационной аппаратуры и сбор информации в реальном времени под управлением ПЭВМ,

Таблица 1.

| № | Название, изготовитель | Раб.гл., м | Состав аппаратуры | Регистрация данных | Средства навигации |
|---|---|---|---|---|---|
| Глубоководные буксируемые аппараты | | | | | |
| 1 | «Звук-4» (ИОРАН) | 4000 | ГБО, АП, ЭХ, Фото | РСР+ЭХБ | Расчет |
| 2 | «Звук-Л» (ИОРАН) | 6000 | ГБО, АП, ЭХ, Фото | РСР+ЭХБ | Расчет |
| 3 | Звук-Комплек» (ИО РАН) | 6000 | ГБО,АП,ЭХ,Фото, Видео, Магнит | РСР+ЭХБ, ЭВМ+TV | КНС, ГАНС ДБ, ГАНС КБ |
| 4 | «Звук-МАФТ» (ИО РАН) | 6000 | ГБО,АП,ЭХ,Фото, Видео, Магнит | РСР+ЭХБ, ЭВМ+TV | КНС, ГАНС ДБ |
| 5 | «Звук-Л2» (ИОРАН) | 6000 | ГБО, АП | РСР+ЭТБ, ПЭВМ+HDD | КНС, Расчет |
| 6 | «Тобби» (NOI Wormley, UK) | 8000 | ГБО, АП, ЭХ | ПЭВМ+HDD | ГАНС ДБ и УКБ, КНС |
| 7 | «Deep Tow» (Вудсхолл,США) | 6000 | ГБО,АП,ЭХ,Фото, Видео, Магнит | РСР+ЭХБ, ЭВМ+TV | КНС, ГАНС ДБ |
| 8 | «Мезоскан» (ИОРАН) | 2000 | ГБО1,ГБО2, АП | ПЭВМ+HDD | КНС, ГАНС ДБ, Расчет |
| Буксируемые приборы | | | | | |
| 9 | «Микросаунд» (ИОРАН) | 100 | ГБО | ПЭВМ+HDD | КНС, Расчет |
| 10 | «Chirp-II» | 600 | АП | ПЭВМ+МОПТ | КНС, Расчет |
| 11 | «Sea King» (Tretech, UK) (Datasonics, США) | 100 | ГБО | ПЭВМ+HDD | КНС, Расчет |
| Бортовые приборы автономных плавсредств | | | | | |
| 12 | «МКС» (ИОРАН) | 20 | ГБО, ЭХ | ПЭВМ+HDD | КНС |
| 13 | «АП-5» (ИОРАН) | 20 | АП, ЭХ | ПЭВМ+HDD | КНС |
| 14 | ГИДРА (НПО»Экран») | 20 | МГБО | ПЭВМ+HDD | КНС |

В таблице введены следующие обозначения: **ГБО –** гидролокатор бокового обзора, **АП** – акустический профилограф, **ЭХ** – высокочастотный эхолот, **Магнит** – магнитометр, **Фото** – фото-система, **Видео** – телевизионная система, **CTD** – гидрофизический зонд, **РСР** – графический регистратор со строчной разверткой, **ЭХБ** – электрохимическая бумага, **ЭТБ** – электротермическая бумага, **HDD** – накопитель на жестком магнитном диске, **МОПТ** – магнитооптический дисковод, **КНС** – космическая система навигации (GPS, ГЛОНАСС и др.), **ГАНС ДБ** – гидроакустическая навигационная система с длинной базой, **КБ** – с короткой базой, **УКБ** – с ультракороткой базой, **Расчет** – способ определения местоположения буксируемого носителя расчетным путем, исходя из характеристик буксирной линии, параметров движения и ориентации судна-буксировщика.

во-вторых, **программы камеральной подготовки, обработки и представления** собранной информации в требуемом виде на ПЭВМ (Сажнева, 2013), и, в-третьих, программы **тестирования**.

К вспомогательному оборудованию (Римский-Корсаков, 2017) относятся технические средства, которые сами по себе не являются источниками информации, но обеспечивают функционирование комплексов сбора и обработки гидролокационной информации в целом. Это, во-первых, **средства доставки** гидролокационных

приборов к объекту исследования, такие как суда и другие плавсредства, подводные обитаемые и необитаемые аппараты, во-вторых **судовое такелажное оборудование**, такое как спуско-подъемные и буксировочные устройства, кабельные лебедки, устройства для жесткого крепления гидролокационных приборов к борту судна и, в-третьих, **источники электропитания.**

Методически или в информационно-временном отношении технология гидролокационного исследования рельефа дна и подводных объектов подразделяется на **три основных этапа**, характеризующихся последовательностью получения и состоянием информации об объекте исследования.

На первом этапе ведется отображение и сбор информации, состояние которой определяется гидролокационными изображениями и изображениями навигационной обстановки реального времени, представляемыми на экране видео-монитора либо бумажном носителе самописца, а также цифрами глубин и координат. На этом этапе задействована практически вся материальная часть технологии. Методика работы и характеристики приборов определяют максимальные точности и детальность исследований. Итогом работ на этом этапе являются файлы гидролокационных изображений, либо записи изображений на бумажном носителе, а также файлы с цифрами глубин и координат.

На втором этапе ведется подготовка информации к обработке стандартными пакетами программ в камеральном режиме. Итогом подготовки являются масштабированные гидролокационные изображения на твердой основе (распечатки, мозаики), файлы с массивами батиметрических данных, файлы координат контуров областей и объектов естественного и искусственного происхождения, просто координаты объектов поиска и т. п.

На третьем этапе ведется собственно обработка информации, целью которой является представление ее в виде, во-первых, удобном для анализа специалистами – океанологами, геологами, геоморфологами, геофизиками, а, во-вторых, в виде требуемом нормативными документами инженерных и инженерно-геологических изысканий, гидрографических и поисковых работ. При этом используются стандартные пакеты программ, такие как AUTOCAD, Golden Software, CORELDRAW и др.

Часто использование конкретных технических средств, а также в связи с конкретными узкими задачами исследований, этапы технологии гидролокационного обследования могут отсутствовать. Если, например, информация, собранная на первом этапе, пригодна для обработка стандартными программами, то этап подготовки не нужен. Второй этап также исключается, если для обработки используются оригинальные программы, адаптированные к форматам собранной информации. В ряде случаев, например, при поисковых работах, координаты целей могут быть определены в реальном времени по гидролокационному изображению на видеомониторе, либо на бумажном носителе самописца. В этом случае отсутствуют этапы подготовки и обработки информации. Основываясь на этих примерах, можно сделать вывод, что деление технологии гидролокационного обследования на три этапа весьма условно.

С другой стороны, деление технологии гидролокационного обследования на этапы сбора, подготовки и обработки информации позволяет детализировать принципы построения технологии и оптимизировать структуру технологии для решения конкретных задач исследований дна и подводных объектов в конкретных условиях.

Состав и структура материальной и методической частей технологий исследования рельефа дна и подводных объектов существенно варьируются в зависимости от **типа обследуемых объектов, места их нахождения и задач исследования**.

Как правило гидролокационные методы используются для исследования таких **объектов**, как:

– мезоформы рельефа дна (песчаные волны и гряды, песчаные и гравийные полосы, выходы коренных пород, места выделений газов, районы гидротермальной активности, тектонические сдвиги и их ориентация, и т. д.), структура и объекты верхней толщи осадочного покрова (от жидкого ила до песка);

– формы генерального рельефа дна океана размером от единиц до десятков километров (подводные горы, хребты, каньоны, поля ЖМК).

– места захоронений образцов оружия и боеприпасов, взрывчатых и отравляющих веществ, токсичных и радиоактивных отходов промышленности и деятельности энергоустановок;

– затонувшие суда, имеющие на борту существенное количество горюче-смазочных материалов, нефтепродуктов, токсичных веществ гражданского применения, боеприпасы, содержащие, в том числе, отравляющие вещества;

– подводные кабели, продуктопроводы, траншеи, карьеры, заграждения;

– подводные части плотин, причальных сооружений, берегоукреплений, дамб, намытых массивов и пляжей;

При исследовании перечисленных объектов решаются следующие научные и **прикладные задачи**:

• поиск объектов искусственного и естественного происхождения, определение мест их расположения, распространения и построение схем расположения (картирование);

• исследование морфологии, в т. ч. батиметрическая съемка форм рельефа; определение ориентации плановых и высотных размеров форм (статистика); исследование процессов переноса осадков; геологические и геотектонические исследования;

• археологические исследования;

• инженерно-геологические изыскания (предварительное обследование трасс подводных трубопроводов, кабелей, нефтяных и газовых терминалов, траншей),

• обследование инженерных объектов.

**Районы** распространения объектов исследований разнообразны и, в первом приближении, могут быть классифицированы по глубине места, а именно:

• глубоководные участки океанов, морей, крупных озер (более 200 м),

• морской шельф (менее 200 м),

• морское мелководье (от 0 до 10–20м),

• акватории портов и внутренние водоемы (реки, озера, водохранилища, пруды, в т. ч. технического назначения, каналы).

Таким образом, основными составляющими частями технологии исследования дна акваторий и подводных объектов гидролокационными методами являются: гидроакустические средства; средства навигационной привязки данных; вспомогательное оборудование, в том числе плавсредства, а также методика формирования аппаратурно-программных комплексов сбора и обработки информации и методика их использования для проведения исследований. Применение продуманной научно-обоснованной методики проведения работ и гибкой системы обработки получаемой информации подчас дают больший эффект, чем использование дорогостоящей аппаратуры и оборудования.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0010) при частичной поддержке РФФИ (проект № 17-05-41041) и РНФ (проект № 14-50-00095).

## Литература

*Александров Г.А., Полканов К.И., Селезнев И.А., Смирнов С.А.* Гидроакустические системы // Роль Российской науки в создании отечественного подводного флота. М.: Наука, 2008. С. 438–445.

*Пешехонов В.Г.* Проблема подводной навигации и ее решение // Роль Российской науки в создании отечественного подводного флота. М.: Наука, 2008. С. 383–390.

Принципы построения технических средств освоения океана. Под ред. профессора В.С. Ястребова. М.:, Наука, 1982. 265 с.

*Римский-Корсаков Н.А.* Создание и эксплуатация подводных аппаратов и других технических средств для океанологических исследований // Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. С. 46–63.

*Римский-Корсаков Н.А.* Технические средства для исследования дна акваторий гидролокационными методами // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 10. Ч. 2. С. 205–213.

*Римский-Корсаков Н.А., Никитин Г.А.* Гидролокационные технологии и средства исследования дна Мирового океана // Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. С. 92–101.

*Руссак Ю.С., Нафиков В.М., Тихонова Н.Ф.* Система сбора и обработки гидроакустической информации // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции МСОИ 2017. –Т. 2. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН Москва, 2017. – С. 355–357.

*Руссак Ю.С., Тихонова Н.Ф.* Универсальный модуль «RA8-USB» // Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XIV Международной научно-технической конференции МСОИ-2015. – Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН Москва, 2015. – С. 315–318.

*Сажнева А.Э.* Технологии выявления скрытой информации изображений (на основе гидролокационных исследований). М.: Научный мир, 2013. 86 с.

*Суконкин С.Я.* Технические средства для фундаментальных исследований Мирового океана // Подводные технологии и средства освоения Мирового океана. М.: Издательский дом «Оружие и технологии», 2011. С. 104–117.

*Яковлев А.Н., Каблов Г.П.* Гидролокаторы ближнего действия. // Библиотека инженера-гидроакустика. Л.: Судостроение, 1983. 200 с.

# TECHNOLOGY STRUCTURE OF BOTTOM AND SUBMARINE OBJECTS SONAR RESEARCH

**Rimsky-Korsakov N.A.** [1,2]

[1] *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,*
*36, Nakhimovskiy prospect, Moscow, 117997, Russia, e-mail: nrk@ocean.ru*
[2] *Bauman Moscow State Technical University,*
*5, build. 1, 2-nd Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russia, e-mail: nrk@ocean.ru*
Submitted 15.11.2017, accepted 25.12.2017

The technology of field studies is a combination of material and methodological components. The methodical part is a scientifically grounded method and sequence of application of the material part. The material part of the sonar research technology includes navigation and sonar devices, which are subdivided into surface and buried, stationary and towed, autonomous, recessed and installed on underwater vehicles. Basically, all considered means use a single principle of operation. Their important component are the devices for displaying and collecting information, which include control and information processing software. Technically, the technology of sonar survey of the bottom and underwater objects is divided into three stages. First stage, is the collection and real time displaying of information. At the second stage, the information is prepared for processing with standard software packages. The third stage is the actual processing of information, the purpose of which is to present it in a form convenient for analysis by consumers. The composition and structure of technology depends on the type of objects surveyed, their location and research tasks. The application of effective methods of work provides sometimes better results than the use of expensive instruments.

**Keywords:** technology, sonar, technical means, methodology, information collection, surveyed objects, research tasks, area of work, boat

## References

*Aleksandrov G.A., Polkanov K.I., Seleznev I.A., Smirnov S.A.,* Gidroakusticheskiye sistemy (Sonar systems), Rol' Rossiyskoy nauki v sozdanii otechestvennogo podvodnogo flota, Moskva: Nauka, 2008, pp. 438– 445.

*Rimskiy-Korsakov N.A., Nikitin G.A.,* Gidrolokatsionnyye tekhnologii i sredstva issledovaniya dna Mirovogo okeana (Sonar technologies of World Ocean bottom research), Podvodnyye tekhnologii i sredstva osvoyeniya Mirovogo okeana, Moskva: Izdatel'skiy dom «Oruzhiye i tekhnologii», 2011, pp. 92– 101.

*Rimskiy-Korsakov N.A.,* Sozdaniye i ekspluatatsiya podvodnykh apparatov i drugikh tekhnicheskikh sredstv dlya okeanologicheskikh issledovaniy (Creation and use of underwater vehicles and other ocean research instruments), Podvodnyye tekhnologii i sredstva osvoyeniya Mirovogo okeana, Moskva: Izdatel'skiy dom «Oruzhiye i tekhnologii», 2011, pp. 46– 63.

*Rimskiy-Korsakov N.A.,* Tekhnicheskiye sredstva dlya issledovaniya dna akvatoriy gidrolokatsionnymi metodami (Technical means for water bottom studying by sonar), Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy, 2017, No. 10, Ch. 2, pp. 205–21.

*Russak YuS., Nafikov V.M., Tikhonova N.F.,* Sistema sbora i obrabotki gidroakusticheskoy informatsii (Sonar data processing system). Sovremennyye metody i sredstva okeanologicheskikh

issledovaniy: mater. XV Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Moskva, 2017, Vol. 2, pp. 355–357.

*Russak YU.S., Tikhonova N.F.,* Universal'nyy modul' «RA8-USB» (Universal electronic device "RA8-USB"), Sovremennyye metody i sredstva okeanologicheskikh issledovaniy: Materiali XIV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Moskva, 2015, pp. 315–318.

*Peshekhonov V.G.,* Problema podvodnoy navigatsii i yeye resheniye (The problem of underwater navigation and its solution), Rol' Rossiyskoy nauki v sozdanii otechestvennogo podvodnogo flota, Moskva: Nauka, 2008, pp. 383–390.

Printsipy postroyeniya tekhnicheskikh sredstv osvoyeniya okeana. Design principles of ocean research technology, Ed. Professora V.S.Yastrebova, Moskva, Nauka, 1982, 265 p.

*Sazhneva A.E.,* Tekhnologii vyyavleniya skrytoy informatsii izobrazheniy (na osnove gidrolokatsionnykh issledovaniy) (Detection Technologies of image hidden information (based on sonar research), Moskva: Nauchnyy mir, 2013, 86 p.

*Sukonkin S.Ya.,* Tekhnicheskiye sredstva dlya fundamental'nykh issledovaniy Mirovogo okeana (Technical means for fundamental research of the World Ocean), Podvodnyye tekhnologii i sredstva osvoyeniya Mirovogo okeana, Moskva: Izdatel'skiy dom «Oruzhiye i tekhnologii», 2011, pp. 104–117.

*Yakovlev A.N., Kablov G.P.*, Gidrolokatory blizhnego deystviya, (Short range sonar), Biblioteka inzhenera-gidroakustika, Leningrad: Sudostroyeniye, 1983, 200 p.