

# ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

УДК 528.475

П. И. Барашок,  
Ю. Г. Фирсов

## СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ МОРСКОГО ДНА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ ДО СТРОИТЕЛЬСТВА ТРУБОПРОВОДА

*В работе рассматриваются вопросы и опыт комплексного использования гидрографического, геофизического и океанологического оборудования, для изучения дна и верхнего слоя донных осадков с целью поиска, и способов безопасного устранения взрывоопасных объектов по трассе строительства трубопровода на примере проектов в Черном море. Уникальность работ связана с необходимостью изучения поверхности морского дна и выявления опасных объектов на больших глубинах, что требует использования автономных и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов, а также специальных комплексов позиционирования. Анализируются возможные ситуации расположения взрывоопасных объектов, учитывая особенности гидроакустической аппаратуры акцентируется внимание на построении линий для поиска придонных объектов. Рассмотрены вопросы использования российскими специалистами современного оборудования, обеспечивающего хорошее качество получаемых данных.*

*Ключевые слова: подводный трубопровод, инерциальные системы позиционирования, взрывоопасные объекты, автономный подводный аппарат, телеуправляемый необитаемый подводный аппарат, гидроакустическая аппаратура, комплексное исследование микрорельефа.*

### Введение

Несмотря на текущие трудности, перспективы развития нефтяной промышленности в России чрезвычайно актуальны, так как от состояния российской нефтяной промышленности во многом зависит благополучие отечественной и мировой экономики в целом. Следовательно, пристальное внимание следует уделять строительству и своевременному обслуживанию трубопроводов, осуществляющих транспортировку сырья [1].

Морские магистральные газопроводы должны обладать повышенной надежностью при строительстве и эксплуатации с учетом особых условий: большие глубины моря, повышенная протяженность без промежуточных компрессорных станций, штормы, подводные течения, сейсмичность и другие факторы. Выбор трассы морского трубопровода должен производиться исходя из критериев оптимальности и основываться на следующих данных: характеристики грунта, батиметрии и морфологии морского дна, а также сведения об окружающей среде, сейсмической активности, районах рыболовства, судоходных фарватерах и якорных стоянках судов, районах свалки грунта, акваториях с повышенным экологическим риском. Особое значение имеет информация о характере и протяженности тектонических разломов. В качестве основных критериев оптимальности следует принимать техническую и экологическую безопасность сооружения [2]. При этом следует учитывать наличие на трассе трубопровода взрывоопасных объектов — ВОП. Для Черного моря, явившегося ареной двух мировых войн, данный вопрос является особенно актуальным.

### Гидрографическое обеспечение проектирования прокладки морских трубопроводов

Для строительства систем трубопроводов необходимо иметь разнообразные и достоверные сведения о состоянии поверхности дна. Существенной частью этих сведений является информация, получаемая при выполнении гидрографических исследований с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), многолучевых эхолотов (МЛЭ), гидроакустических навигационных систем (ГАНС), а также автономных подводных аппаратов (АПА) и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА).

Для проведения таких изысканий требуется разрабатывать специальные исследовательские комплексы. Особенностью проведения таких работ в Черном море является наличие больших глубин. Схема предполагаемого маршрута для прокладки трубопровода представлена на рис. 1 [3]. Для снижения рисков при строительстве и эксплуатации трубопровода, а также с учетом ограничений для изменения маршрута был принят вариант перемещения опасных объектов на безопасное расстояние. Основная сложность при перемещении ВОП связана с глубиной их расположения — свыше 1000 м. По имеющейся информации, проекты по перемещению ВОП на таких глубинах никогда не осуществлялись и методики для такого рода работ не разрабатывались.

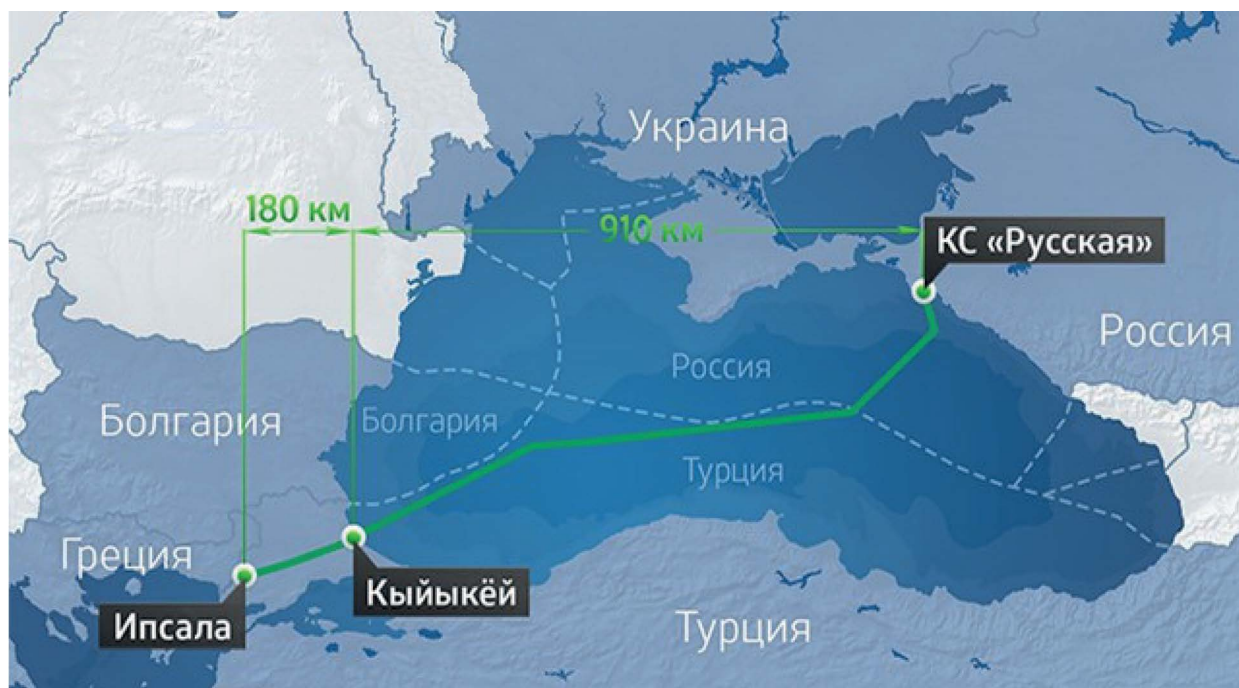


Рис. 1. Схема запланированного трубопровода

Для проведения изысканий по трассе трубопровода российскими специалистами было разработано два комплекса: первый — для проведения съемки рельефа дна способом площадного обследования, второй — для поиска и перемещения обнаруженных ВОП. Причем оба комплекса находились на одном судне, оснащенной системой динамического позиционирования.

Для получения детальной информации о микрорельефе дна работы проводились в два этапа. Первым этапом явилось проведение съемки рельефа дна на глубоководной части трассы (более 200 м), где в качестве носителя необходимой аппаратуры служил АПА. Второй этап проходил при съемке рельефа мелководной части трассы (до 200 м), при этом аппаратура устанавливалась на судно.

Надводная часть включает электронную гидрографическую информационную систему (ЭГИС) QINSy фирмы QPS (Quality Positioning Services) с необходимым набором периферийного оборудования, представленного в виде систем позиционирования ГНСС (CNav-3050), датчика перемещения MRU 5+ (Kongsberg), инерциальной системы INS Hydrins (iXBlue) и запасной системы OCTANS (iXBlue). Площадная съемка рельефа дна мелководной части выполнялась при помощи МЛЭ SaeBat7125, регистрация и обработка данных осуществлялась посредством ЭГИС QINSy.

Подводная часть комплекса включает АПА HUGIN 4500 (Kongsberg), приведенный на рис. 2. При изысканиях такого рода целесообразно в качестве носителя датчиков использовать АПА: для сбора батиметрии — МЛЭ EM 2040 («Kongsberg»), для навигации — собственную

инерциальную систему аппарата, доплеровский лаг, а также маяк-ответчик ГАНС «Ніпар 501» (Kongsberg). Посредством ГАНС вычислялись пространственные координаты АПА. Высотное положение АПА определялось при помощи двух независимых систем. В качестве основной системы использовалась ГАНС с ультракороткой базой (УКБ) «Ніпар 501», резервной системой являлся сенсор давления на АПА. Запрограммированный сенсор, измеряющий давление по приведенной формуле, способен осуществлять пересчет давления в значения глубины [4]:

$$Z_s(p, \Phi) = 9,72659 \cdot 10^2 p - 2,512 \cdot 10^{-1} p^2 + 2,279 \cdot 10^{-4} p^3 - 1,82 \cdot 10^{-7} p^4 / (g(\Phi) + 1,092 \cdot 10^{-4} p),$$

где  $g(\Phi) = 9,780318(1 + 5,2788 \cdot 10^{-3} \sin^2 \Phi + 2,36 \cdot 10^{-5} \sin^4 \Phi)$ ;

$Z$  — глубина, м;

$p$  — давление, МПа;

$\Phi$  — широта.

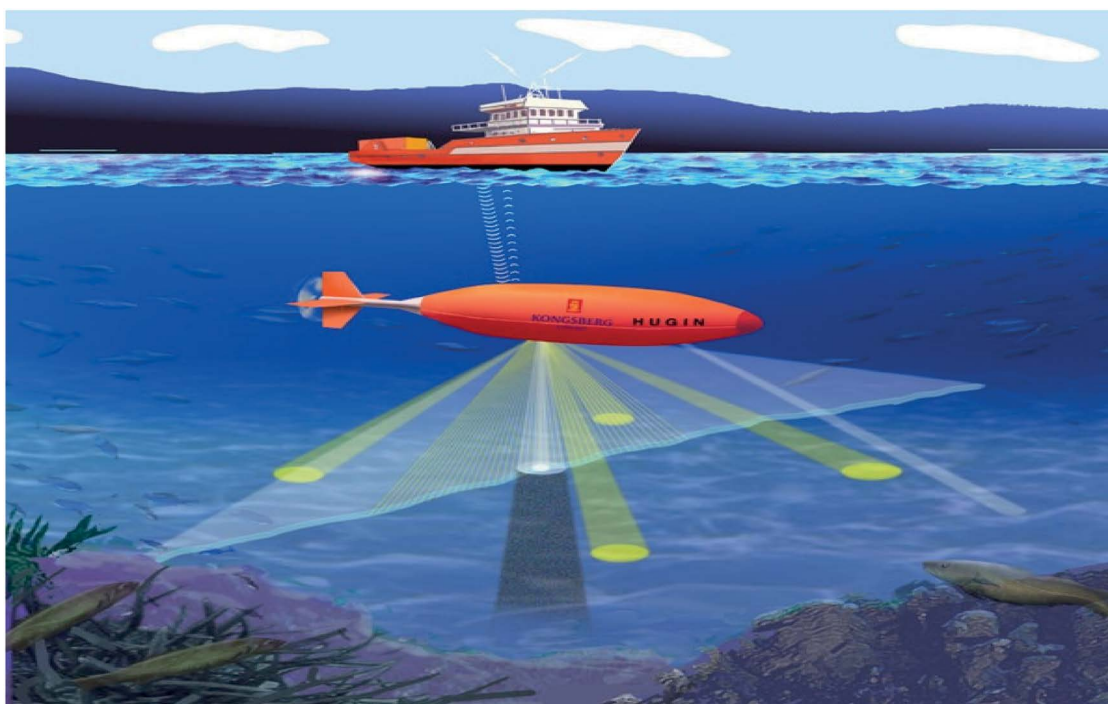


Рис. 2. АПА «Kongsberg HUGIN 4500» (Kongsberg)

ГАНС «Ніпар 501», которая состоит из акустического преобразователя, установленного на судне, и специальных маяков-ответчиков, способна работать в режиме «dualhead», обеспечивающем повышенную точность. Учитывая расстояние между принимающими чувствительными элементами, система повышает качество определения координат АПА в несколько раз. Маяки могут работать в трех режимах: в первом режиме — маяк-ответчик, во втором режиме — непрерывный излучатель, в третьем режиме — посредством электрического возбуждения.

*Маяк-ответчик* — преобразователь на судне, излучающий направленный акустический импульс, который достигая маяка, служит запускающим сигналом к излучению, маяк генерирует акустическую посылку, которую фиксирует судовая гидроакустическая антенна. Ввиду расширения диаграммы направленности и продолжительного распространения сигнала данный способ предназначен для небольших наклонных дальностей.

*Непрерывный излучатель* — маяк-ответчик постоянно излучает посылки, а судовая гидроакустическая антенна работает в режиме приема, регистрируя излученные маяком сигналы. Этот способ повышает подробность данных.

При работе в третьем режиме, т. е. посредством электрического возбуждения, судовая система посылает по кабелю электрический импульс, который достигая маяка, возбуждает преоб-



разователь, посылающий акустический сигнал. Ввиду того, что время излучения известно с большой точностью, повышается и точность позиционирования. Кроме того, при таком режиме велика вероятность увеличения количества посылок в единицу времени. Этот способ является наиболее подробным и дает детальные данные о позиции объекта, но требует кабельной связи аппарата с судном, следовательно, подходит только для НТПА, который входит в состав комплекса по поиску ВОП [5].

В отличие от традиционной гидрографии, современная инженерная гидрографии требует получения детальной информации о рельефе на больших глубинах. Для обеспечения детальной съемки рельефа с высоким разрешением (микрорельеф) необходимо сократить расстояния между антеннами МЛЭ и дном. Таким образом, площадь пятен облучения и расстояние между ними были уменьшены в разы и, следовательно, увеличена детальность съемки рельефа.

Существует два варианта распределения лучей: *эквидистантное* (лучи располагаются равномерно, через равную дистанцию) и *равноугольное* (лучи располагаются ближе к центру сектора обзора, между лучами равные углы). Во время сбора данных использовалось эквидистантное распространение лучей, при котором обеспечивается равномерное покрытие дна [6]. Пример цифровой модели рельефа дна приведен на рис. 3.

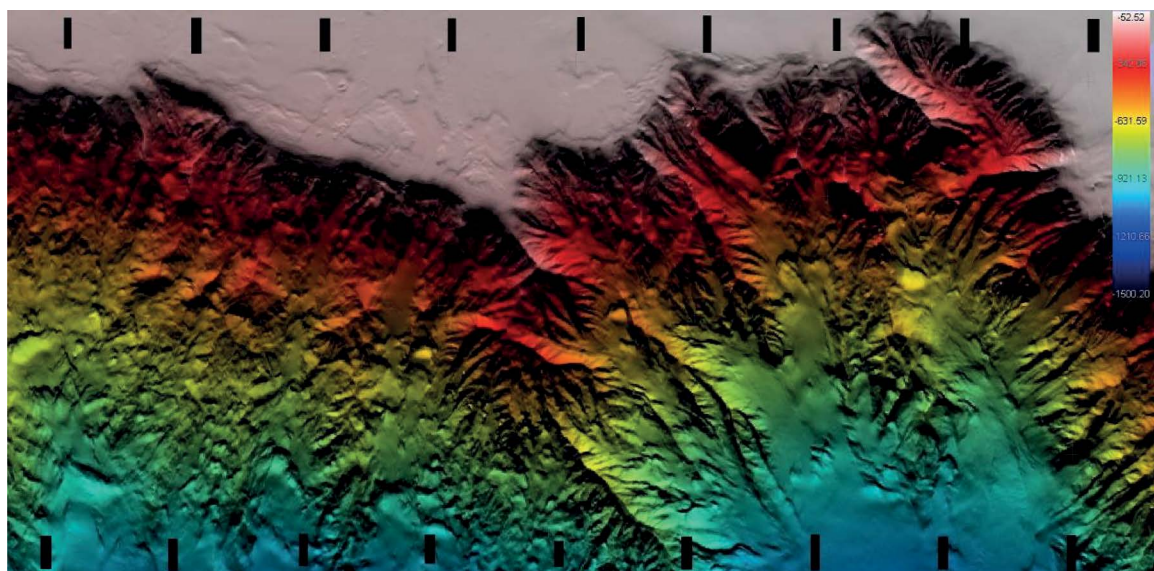


Рис. 3. Цифровая модель — склон континентального шельфа РФ в районе трассы трубопровода.  
Масштаб 1:30000

При сокращении расстояния между дном и гидроакустическими антеннами МЛЭ увеличивается заглубление аппарата. На больших глубинах особенно остро встает вопрос о позиционировании аппарата носителя. Фирма «Kongsberg Maritime» нашла способ решить эту проблему, установив на АПА HUGIN 4500 автоматизированную инерциальную систему (ИНС) навигации (INSHUGIN NavP). ИНС состоит из датчика динамических перемещений (IMU), доплеровского лага с четырьмя излучателями для измерения продольной и поперечной составляющей скорости (DVL) и системы курсоуказания, работа которой основана на эффекте Саньяка. Также на аппарате имеется встроенная GNSS-система, но ее работа требует нахождения аппарата на поверхности для связи со спутниками. Данные навигации проходят через фильтр Калмана, что обеспечивает более высокую производительность и точность системы навигации.

При проведении работ возможно появление погрешностей, как при гидроакустическом позиционировании, так и при спутниковом (в GNSS-системе), в таком случае фильтр способен их исключить. Несмотря на достаточную надежность системы, требуется своевременное обновление позиции посредством акустического канала связи для уточнения позиции [7]. Система навигации аппарата оснащена опцией, способной принимать обновления положения с нескольких

транспондеров. Для более точного и стабильного определения позиции требуется несколько таких сенсоров. Эта функция называется NavP UTP. Точность позиционирования зависит от частоты обновления позиции акустическим методом, а также качества работы акустического лага и датчиков курсоуказания. При отсутствии уточнения позиции по акустическому каналу точность позиции равна 0,25 % от пройденного, без уточнения позиции расстояния.

После извлечения данных из АПА вначале следует проверить и отредактировать навигацию. Набор программного обеспечения для постобработки зависит от желаний пользователя. В случае, если пользователь не имеет продуктов для редактирования данных, компания «Kongsberg Maritime» предлагает программу HUGIN Post-Mission Analysis system (PMA). Возможности этой программы обширны. К ним относятся редактирование навигации (для повышения точности позиционирования), обработка, визуализация и контроль качества батиметрии, обработка данных ГБО, опции автоматического распознавания целей для ускорения процесса обработки. Постобработка данных, полученных при помощи АП, представляет собой трудоемкий и обширный процесс, анализ которого выходит за рамки данной статьи.

В последнее время исследовательская гидроакустическая аппаратура получила стремительное развитие. Современные МЛЭ способны создавать все более узкие лучи, а также формировать информацию об интенсивности эхо-сигнала в отдельном пятне облучения. Появилась технология акустического анализа объектов в водной толще, увеличивая тем самым подробность съемки объектов на поверхности и вблизи дна. Использование новых гидроакустических технологий ведет к значительному увеличению потоков регистрируемой информации и дает стимул к развитию гидрографических компьютерных систем, программ регистрации и обработки данных.

Существует ряд компаний, выпускающих программное обеспечение для реализации ранее указанных задач. Одной из таких компаний, систематически выпускающей обновленные и все более совершенные версии гидрографического программного обеспечения для сбора и обработки данных, является фирма QPS (<http://www.qps.nl/>), продуктом которой служат пакеты QINSy\Qimera\Fledermaus. ЭГИС QINSy способна справляться с большим потоком информации, обеспечивать качественную обработку материалов съемки и высокий уровень оценки качества результатов.

Во время изысканий на глубоководном (более 200 м) участке строительства трубопровода данные батиметрии с сенсоров, установленных на АПА, обрабатывались при помощи ЭГИС QINSy. Также при помощи этой программы осуществлялось позиционирование аппарата. Кроме того, в данной программе имеется несколько модулей контроля собранных данных в режиме онлайн, например, «Sounding Grid Utility» (при сборе батиметрии судном), и программных модулей постобработки: Analyze, Validator, Qloud, Fledermaus и др.

В программе «Sounding Grid Utility» выполняется оперативный анализ цифровой модели рельефа. Как видно из верхней части рис. 4, профиль, проведенный на цифровой модели рельефа дна перпендикулярно движению ТПА, при сборе данных не имеет разрывов и пропуска данных. В нижней части рис. 4 (слева) приведены данные контроля качества площадной съемки в виде погрешностей глубин в ячейке регулярной сетки (грида) с 95 %-м уровнем доверительной вероятности (SD 95 %) [8]. В зависимости от величины угла наклона дна и его расчлененности подбирается определенная размерность грида. При резком уклоне в большую по размеру ячейку могут попадать сильно отличающиеся друг от друга глубины. На участке ровного дна видно, что в каждой ячейке грида преобладают глубины, незначительно отличающиеся друг от друга, что означает отсутствие шумов и выбросов, а также подтверждает стабильную работу систем сбора данных. На рис. 4 (внизу) отчетливо видны полосы, возникшие в процессе съемки ввиду переотражения центрального луча. Для МЛЭ фирмы «Kongsberg» это частое явление. Аналогичные полосы имеют место также при наложении данных двух соседних полос обзора МЛЭ. По результатам съемки видно, что полосы составляют по глубине менее 0,5 м. Это продемонстрировано в верхней части рис. 4, представляющего собой поперечное сечение собранных полос обзора. При глубине 1200 м они составляют величину менее 0,1 % от глубины. В данных SD 95 % эти погрешности не отображаются.

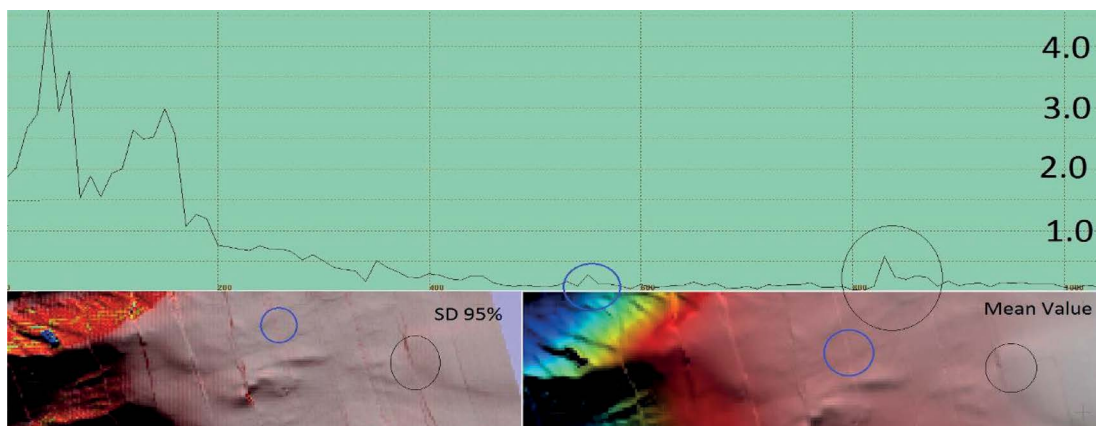


Рис. 4. Пример данных цифровой модели рельефа дна

После проведения съемки рельефа дна по трассе трубопровода наступает третий этап работ, связанный с поиском взрывоопасных объектов, выполняется при помощи второго комплекса, указанного ранее. Второй комплекс для поиска взрывоопасных предметов в качестве подводного носителя использует ТНПА с необходимым набором датчиков.

Обследование при помощи одного прибора не даст надежной и достоверной информации. Поэтому рекомендуется использовать системы, имеющие разные принципы работы, что и было реализовано путем установки на ТНПА гидролокатора бокового обзора (ГБО) Edgetech 2200 м, способного дать детальное сонарное изображение ввиду узкого луча при работе на высокой частоте 1600 кГц, совместно с градиентометром Innovatum Smartsearch, предоставляющим надежную информацию о магнитных полях, вперёдсмотрящим сонаром Kongsberg M3 Sonar System, который выполняет задачи по безопасному продвижению аппарата и обнаружению выдающихся объектов, не осязаемых ГБО, системой видеокамер, способных работать на больших глубинах, и лазерных систем для определения размеров объекта. Такой комплекс создает условия для получения объективной картины о состоянии морского дна и объектах на нем.

При работе вперёдсмотрящего сонара распространение лучей происходит под небольшими углами в направлении движения. Следовательно, при его использовании будут четко видны объекты, имеющие значительную площадь в направлении, поперечном движению [9]. На сонограмме ГБО лучше заметны стороны объектов с площадью в направлении, продольном движению. Таким образом совместное использование этих приборов дает детальное изображение выступающих объектов на поверхности морского дна. Бывают случаи, когда взрывоопасный объект находится между камнями или за скальным выступом (рис. 5). При этом ГБО не сможет обнаружить эту цель, так как при прохождении с одной стороны на сонограмме засветка будет отображать объект, полностью закрывающий мину, а при съемке с другой стороны часть мины будет закрыта мелкими камнями, что не даст точного представления о цели, а сразу за объектом появляется скала, которая тоже отобразится на сонограмме и сольется с изображением мины в виде области высокой интенсивности [10].

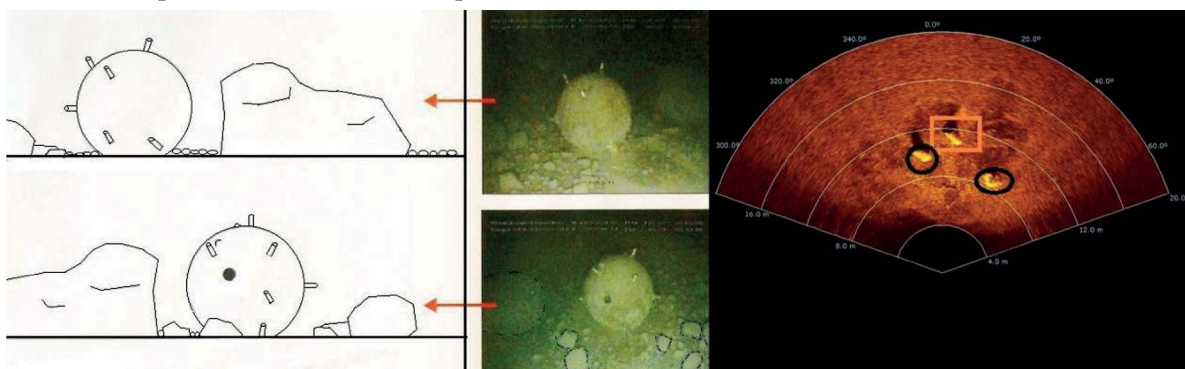


Рис. 5. Мина, скрытая за камнем (изображение, переданное с ТНПА)



В подобных случаях очень важно иметь дополнительные источники информации. Так, например, магнитометр даст данные о магнитном поле [11], на видеокамере можно визуально осмотреть цель, а впередсмотрящий сонар, лучи которого распространяются под небольшим углом к направлению движения, покажет засветку на сонограмме (рис. 5).

Рекомендуется использование ГБО с двумя частотами, что позволит собрать более качественные данные в местах сильного замутнения воды и сделать более точное заключение о преобладающих грунтах. Но даже при наличии хорошего комплекса для сбора данных, в котором системы взаимозаменяемы, необходимо правильно планировать линии, по которым будет проводиться поиск. Если поверхность дна в районе исследований расчлененная, то стоит проводить изыскания вдоль склона, а не поперек, что даст возможность для выявления отдельных объектов и обеспечит хороший уровень качества данных. На рис. 6 представлен объект, расположенный в дюнах. При съемке МЛЭ поперек дюн этот объект не был выявлен ввиду резкого перепада глубин, при съемке вдоль дюн (вдоль изобат) объект отлично виден, так как съемка проводилась при постоянном наклоне дна, и система сразу выявила выдающийся объект (он был освещен несколькими лучами МЛЭ). Выдающийся объект — это тестовая марка с размерами основания  $0,4 \times 0,4$  м и 0,3 м в высоту, изготовленная из металла.

На рис. 6, а приведена цифровая модель рельефа дна, созданная в программе QINSy при помощи утилиты SoundingGrid (2D-режим). На ней хорошо виден объект. На рис. 6, б изображен фрагмент мозаики, полученной с использованием опции ГБО многолучевого эхолота (backscatter). Здесь видна область, хорошо отражающая акустические сигналы, это и есть тестовая металлическая марка. Вокруг нее преобладают мягкие грунты, поглощающие акустическую энергию, следовательно, отраженная интенсивность в таких областях мала. Металл, напротив, почти не поглощает энергию (на сонограмме видна засветка) [12]. В отличие от классического ГБО, данные backscatter имеют точную привязку по координатам, что можно использовать при поиске объектов. На рис. 6, в приведены обработанные данные трехмерного изображения рельефа из программы Qcloud (фирмы QPS). Эта программа имеет ряд преимуществ по сравнению со стандартной утилитой для обработки батиметрии «Validator».

В программе «Qcloud» существует возможность создания 3D-изображений рельефа на основе цифровой модели, выполненной на основе треугольной нерегулярной сети (TIN), что удобно при обработке «сложных данных» (основания платформ, места с резкими перепадами глубин и сильно выдающимися предметами). Рабочая область состоит из нескольких окон: окно вид сверху — в нем можно отобразить запланированные линии и выбрать данные для редактирования; окно вида Profile, в котором осуществляется обработка; окно 3D вида, где в режиме реального времени отображаются все изменения.

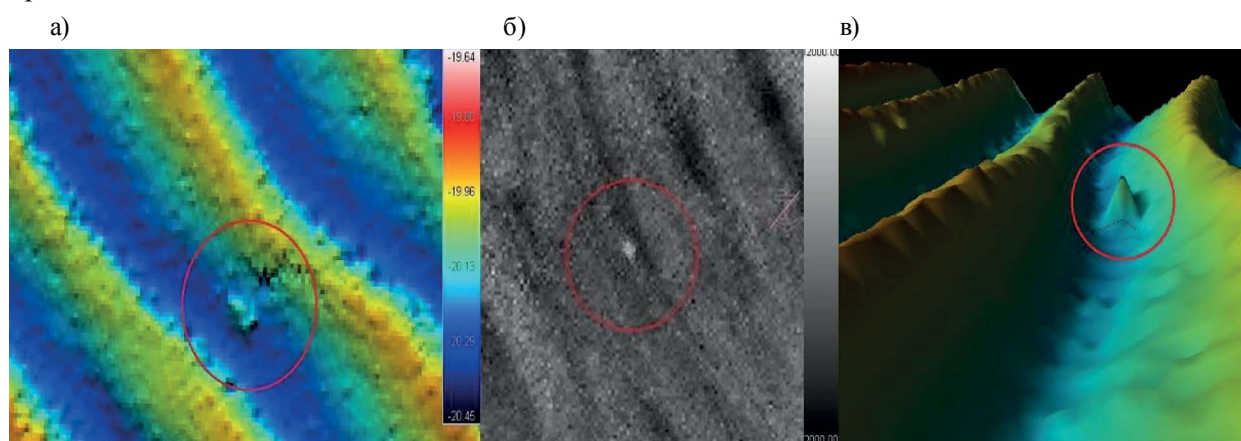


Рис. 6. Тестовая марка, расположенная в дюнах (ЭГИС QINSy\Qcloud):  
а — цифровая модель рельефа дна; б — фрагмент мозаики ГБО;  
в — трехмерное изображение рельефа Qcloud

При наличии данных о магнитном поле и интенсивности обратного рассеяния можно сделать вывод о качественном составе объекта, а также определить его относительные размеры. После этого, сравнивая полученные данные с видеофайлами, необходимо предоставить заключение по объекту. Таким образом, качество (точность и надежность) проведения работ увеличивается в разы. В случае, если взрывоопасный объект (мина, торпеда и т. д.) находится под слоем грунта, его можно обнаружить при помощи магнитометра / градиентометра [13].

При работе с системой магнитометров необходимо правильно осуществить настройку прибора. Перед спуском нужно осуществить калибровку приборов и проверить надежность крепления [14]. Всей системе магнитометров необходимо задать оптимальные настройки и проверить работу сенсоров. Для этого показания приборов сбрасываются, устанавливается так называемый *нуль*. В момент установки нуля необходимо убрать металлические предметы от приборов (даже железная вставка в носу защитной обуви может создать магнитное поле, ввиду которого показания прибора будут содержать систематическую ошибку). Данные магнитного поля чрезвычайно важны в подобных операциях. При большом количестве взвеси в системе видеообследования не будет видно практически ничего, а на сонарах появится большое количество помех, в таком случае данные градиентометра будут крайне необходимы. Основная часть исследования заключается в определении положения металлических объектов, схожих с минами. Формы аномалий обусловлены остаточной намагниченностью объектов.

В данном исследовании могут наблюдаться три типа аномалий:

- 1) главный положительный максимум;
- 2) главный отрицательный максимум;
- 3) смена положительного максимума на отрицательный.

Позиция объекта в таком случае определяется в точке максимума / минимума для типов 1 и 2 и как средняя между максимумом и минимумом точка для типа 3 [15]. Аномалия должна быть в 2 – 3 раза больше средней квадратической ошибки съемки. По результатам собранных данных можно сделать заключение о форме, размере, глубине залегания и другим параметрам объекта.

Земля, как космическое тело определенного внутреннего строения генерирует постоянное магнитное поле, называемое *нормальным*, или *первичным* [16]. Многие объекты, такие как ВОП, способны создавать аномальные или вторичные магнитные поля. Если исследуемая площадь невелика (несколько десятков квадратных километров), то нормальное поле можно считать постоянным и равным полю на исходной точке (оно принимается за условный нуль). При больших площадях исследования следует учитывать изменение нормального магнитного поля Земли или разбить галсы на участки по 10 – 20 км. Особенно заметно изменение магнитного поля при движении на полюс или экватор.

С целью повышения надежности съемки следует устанавливать стационарные магнитные вариационные станции для регистрации напряженности магнитного поля. Зная время, амплитуду вариаций и время замеров при съемке, можно ввести поправки и более точно рассчитать аномалии во всех пунктах [16]. Пример обработанных данных магнитного поля приведен на рис. 7.

Для точного позиционирования на ТНПА необходимо установить на него инерциальную систему, особенностью которой является работа под водой и на больших глубинах [17]. Такая система может состоять из блока управления и вычисления, в который поступают данные из доплеровского лага, и четырех излучателей для измерения скорости продольного и поперечного движения с целью вычисления истинной скорости относительно грунта, оптоволоконного гироскопа, датчика перемещения и данные позиции, передаваемые с судна, что и было реализовано в процессе изысканий. В качестве инерциальной системы использовалась INSROVINS (iXBlue), способная работать на глубине до 3000 м. Таким образом, получив координаты с судна, учитывая скорость перемещения, курс, углы крена, дифферента и рыскания, система будет определять позицию чаще, чем получать координаты, вычисленные судовой ГАНС. Еще одним достоинством такой системы является повышенная точность.



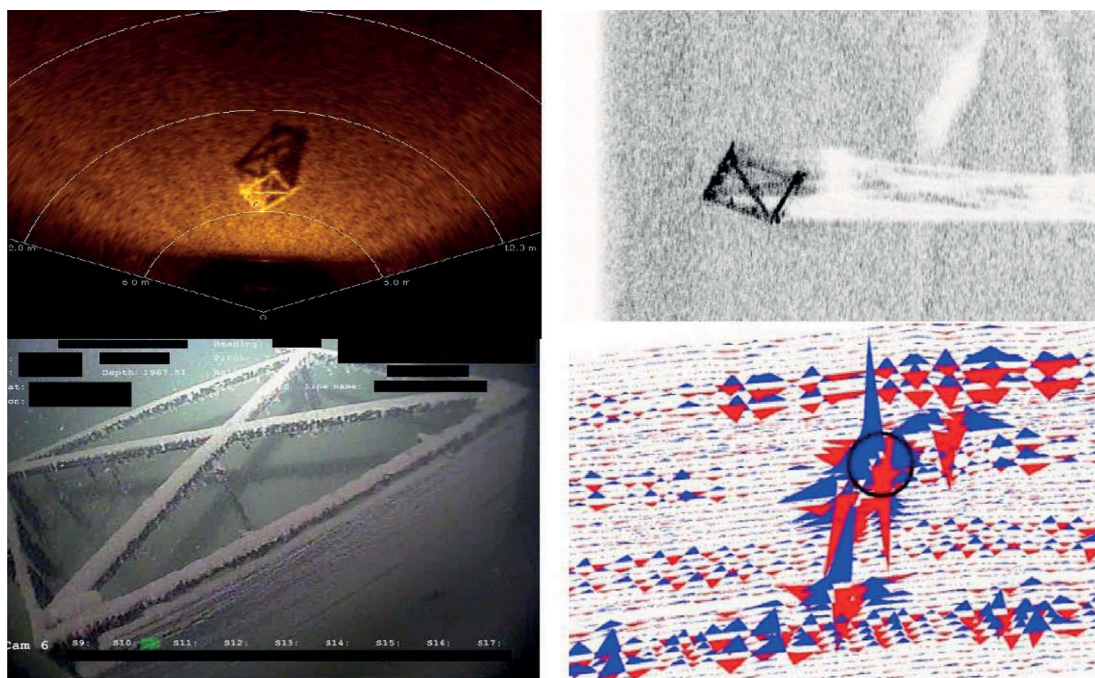


Рис. 7. Пример визуализации данных впередсмотрящего сонара, видеосистемы, ГБО и магнитных аномалий градиентометра донного объекта

Связь ТНПА с судном осуществляется при помощи оптоволоконного кабеля. Основное достоинство этого соединения — большая пропускная способность, небольшие размеры, малый вес, но есть один недостаток — хрупкость. Кабель с судна на ТНПА соединяется с распределительным блоком. К этому блоку подключаются все сенсоры, каждый в отдельный выделенный канал. На судне другой конец оптоволоконного кабеля присоединяется к специальному блоку, который считывает информацию, преобразуя ее в нужные форматы для дальнейшего пользования. Этот блок способен осуществлять трансляцию, используя последовательный интерфейс (COM-порты) или интернет-соединения.

Во время мобилизации следует проверить несколько режимов работ. Так, в случае передачи информации о глубине с сенсора давления, от инерциальной системы, системы видео наблюдения, магнитометров, а также впередсмотрящего сонара, ГБО система работала без больших задержек, однако, только если на ГБО использовались низкие частоты (редкие послышки акустического импульса). При увеличении частоты посылок ГБО поток данных увеличивается и судовая система распределения может не справиться с обработкой данных, из-за чего появятся нежелательные задержки. При присоединении кабелей особое внимание должно уделяться их крепежу. Соединения должны быть смазаны специальным составом, который не даст проникнуть воде в места контактов [18].

Поиск объектов следует проводить по заранее запланированным линиям. После обнаружения потенциального ВОП необходимо провести дополнительные исследования, обработать результаты измерений, оценить вероятность того, что найденный объект может быть ВОП. После этого следует спланировать линии для его детального обследования и оценить территорию рядом с объектом для посадки ТНПА на поверхность морского дна. Посадка аппарата на необследованную должным образом поверхность морского дна может привести к нежелательным последствиям [19]. Например, если под слоем отложений находится металлическая конструкция, то при посадке на нее существует вероятность повреждения бомбы. Такое действие может привести к взрыву и потере оборудования. По завершении обследования прилегающей к объекту территории аппарат садится на дно, после чего необходимо время для оседания взвеси. При хорошей видимости начинается работа по очистке объекта от слоев грязи, песка и ила при помощи

помпового насоса. Вначале производится грубая очистка поверхности для определения примерных размеров объекта (рис. 8, а), затем — более детальная для оценки состояния взрывоопасного объекта (рис. 8, б).

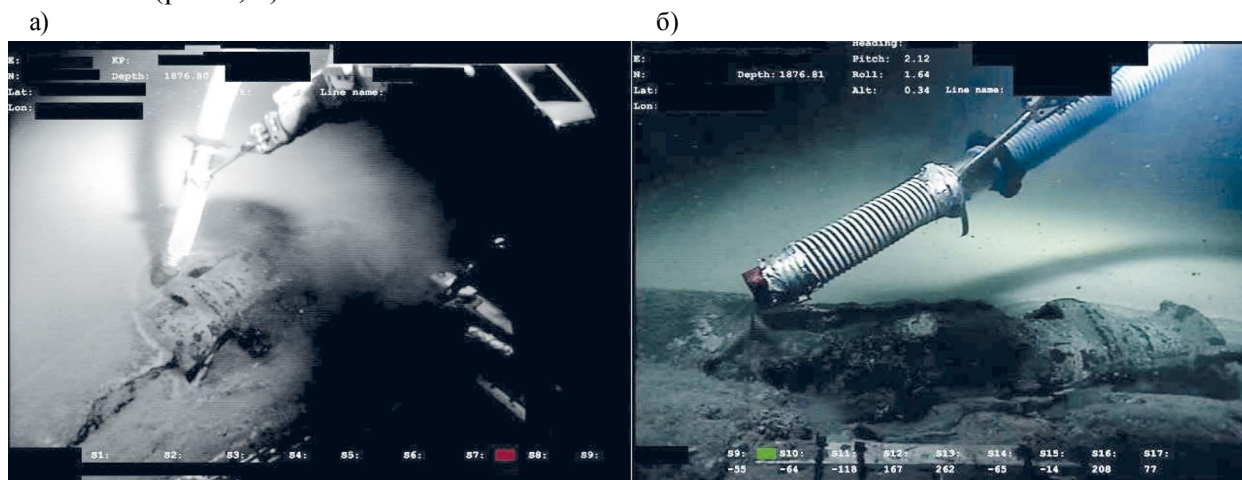


Рис. 8. Очистка затонувшей авиабомбы:

а — грубая очистка для оценки примерных размеров цели,  
б — тщательное устранение наносов для оценки состояния объекта

## Методы перемещения ВОП

### от запланированного трубопровода на безопасное расстояние

Выбор способа зависит от множества факторов, таких как глубина залегания, плотность и состав преобладающих грунтов, состояние и тип ВОП, подводных течений, рельефа дна, возможности использования троса и т. д. В современной практике не существует универсального способа поиска и перемещения таких объектов, в некоторых случаях требуется разработка новых методов.

В период проведения работы было разработано и использовано несколько методов.

1. *Метод с использованием тросов и ТНПА.* Данный метод включает использование насоса для удаления наносов вокруг боеприпаса. Затем ВОП фиксируется тросами. Судно либо ТНПА поднимают боеприпас с морского дна и буксируют его в зону свалки.

2. *Метод «Салазки».* Салазки опускаются на дно с борта судна и размещаются рядом с ВОП при помощи ТНПА. Судно обеспечивает буксировку (волочение) салазок для «захвата» ВОП. Как только ВОП окажется в салазках, судно на безопасном расстоянии отбуксирует салазки к зоне свалки.

3. *Применение грузоподъемного подводного ковша.* Через блок на П-образной раме ковш опускается с борта судна, затем под контролем ТНПА производится его расположение на дне, после чего ТНПА отходит на безопасное расстояние, а судно поднимает ковш и буксирует ВОП в район свалки.

4. *Использование помпового насоса.* Если ВОП находится на границе резкого перепада глубин и в данном районе преобладают мягкие грунты, то при помощи помпового насоса, установленного на ТНПА, осуществляется подмыв со стороны склона, под действием силы тяжести объект скатится в направлении склона. Данный метод исключает использование тросов и салазок, что может сократить время и существенно облегчить операцию.

5. *Использование специального контейнера.* При нахождении ВОП на мягких грунтах возможно использование метода, при котором объект помещается в специальный контейнер. Такой контейнер должен иметь гидравлический, электрический или механический привод для воздействия на механизмы закрытия. При использовании гидравлической системы подача гидравлической смеси происходит посредством ТНПА. Электрический привод наиболее удобный, но требует протяжки кабеля с судна, что не всегда осуществимо. Механический привод с пружинным фиксированием

сатором (задачей ТНПА является воздействие на спусковое устройство), при неудаче контейнер придется поднимать на борт судна для повторной подготовки механизма закрытия. Контейнер устанавливается с судна под контролем ТНПА над взрывоопасным объектом, после чего контейнер закрывается, захватывая ВОП и часть грунта.

### Выводы

1. Гидрографическое обеспечение строительства подводных трубопроводов является наиболее сложным видом инженерных гидрографических работ. Отечественными специалистами освоены современные сложные программно-технические средства и разработан комплекс для проведения изысканий высокой точности на больших глубинах (более 200 м), что является инженерными гидрографическими работами высокой сложности. Для обеспечения высокой точности разработан комплекс позиционирования, которому стоит уделять большое внимание. Показано, что применение инерциальных систем зависит от поддержки гидроакустического позиционирования при выполнении комплексных работ на больших глубинах.

2. На втором этапе работ для получения детальной информации о рельефе морского дна (микрорельефе) по трассе трубопровода на глубинах более 200 м необходимо использование АПА с МЛЭ. Такая схема работ позволяет не только получить детальную информацию о рельефе, но и обеспечить высокую производительность работ. На третьем этапе работ выполняется уточнение трассы трубопровода, а также обнаружение и устранение взрывоопасных объектов. Для каждого конкретного случая обнаружения ВОП существуют специальный метод его безопасной транспортировки, описанный в статье.

3. Анализ систем показал, что в комплексе с гидроакустической аппаратурой необходимо применять современную систему «магнитометр-градиентометра» для регистрации данных, позволяющих обнаружить погруженные в грунт объекты, дать оценку размеров, состава и состояния.

4. Для более детального изображения морского дна рекомендуется использовать систему сонаров (бокового обзора и вперед смотрящего). Во многих современных МЛЭ имеется опция регистрации интенсивности обратного рассеяния. При поиске ВОП получение такой информации наряду с изображением цифровой модели рельефа следует рекомендовать как обязательное. В отличие от классического буксируемого ГБО такое акустическое изображение дна дает точную плановую привязку объекта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эдер Л. В. Современное состояние нефтяной промышленности России / Л. В. Эдер, И. В. Филимонова, В. Ю. Немов // Бурение и нефть. — 2013. — № 5. — С. 8–13.
2. Газпром. Ведомственные нормы проектирования и строительства морского газопровода. ВН 39-1.9-005-98. — М., 1998. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.znaytovar.ru/gost/2/VN\\_391900598\\_Normy\\_proektirova.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/VN_391900598_Normy_proektirova.html) (дата обращения — 10.10.2015)
3. Вести экономика. «Сможет ли Турция стать новой Украиной для Европы?» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.vestifinance.ru/articles/53282> (дата обращения — 15.12.2015).
4. Etter P. C. Underwater Acoustic Modeling and Simulation, Fourth Edition / P. C. Etter. — CRC Press, 2013. — 195–238 p. DOI: 10.1201/b13906-7.
5. Kongsberg Maritime. Product description. HiPAP High precision Acoustic Positioning Model 501/451/351/101. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/B5F6D93EC6422B5AC1257428002A2C20/\\$file/317748\\_hipap\\_product\\_description.pdf?OpenElement](http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/B5F6D93EC6422B5AC1257428002A2C20/$file/317748_hipap_product_description.pdf?OpenElement) (дата обращения — 01.12.2015).
6. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использования гидроакустических сонаров / Ю. Г. Фирсов. — СПб.: Нестор-История, 2010. — 348 с.
7. Mandt M., Gade K., Jalving B. Integrating DGPS-USBL position measurements with inertial navigation in the HUGIN 3000 AUV / M. Mandt, K. Gade, B. Jalving // Proceedings of the 8th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, Saint Petersburg, Russia. — 2001.



8. «QINSy quick». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.geotechsystem.com/upload/1275898933\\_Quickstart+V+8.0+UK+20060329+.pdf](http://www.geotechsystem.com/upload/1275898933_Quickstart+V+8.0+UK+20060329+.pdf) (дата обращения — 28.11.2015).
9. Kongsberg Maritime. «Shallow-water maritime security sonar system». [Электронный ресурс]. — Режим доступа [http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb / ADF45E1497767E90C1257D9A002A2E4 / \\$file/M3-MARSEC-Application-Note.pdf? OpenElement](http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb / ADF45E1497767E90C1257D9A002A2E4 / $file/M3-MARSEC-Application-Note.pdf? OpenElement) (дата обращения 23.11.2015).
10. Wilson M. F. J. Multiscale terrain analysis of multibeam bathymetry data for habitat mapping on the continental slope / M. F. J. Wilson, B. O'Connell, C. Brown, J. C. Guinan, A. J. Grehan // Marine Geodesy. — 2007. — Vol. 30. — №. 1–2. — Pp. 3–35. DOI: 10.1080/01490410701295962.
11. Дмитриев В. И. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике: справочник геофизика / В. И. Дмитриев. — М: Недра, 1982. — 221 с.
12. Воронин В. А. Использование гидролокатора со сложным сигналом для решения задач прикладной гидроакустики / В. А. Воронин, С. П. Тарасов // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2005. — № 2 (46). — С. 65–69.
13. Блох Ю. И. Решение прямых задач гравиразведки и магниторазведки / Ю. И. Блох. — М.: Московская государственная геологоразведочная академия, 1993. — 79 с.
14. Кауфман А. А. Введение в теорию геофизических методов. Ч. 2. Электромагнитные поля. / А. А. Кауфман. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. — 483 с.
15. Блох Ю. И. Количественная интерпретация гравитационных и магнитных аномалий / Ю. И. Блох. — М.: Московская государственная геологоразведочная академия, 1998. — 88 с.
16. Бабаянц П. С. Изучение рельефа поверхности кристаллического фундамента по данным магниторазведки / П. С. Бабаянц, Ю. И. Блох, А. А. Трусов // Геофизика. — 2003. — № 4. — С. 37–40.
17. Войтов Д. В. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты / Д. В. Войтов. — М.: МОРКНИ-ГА, 2012. — 506 с.
18. Keedwell S. Advancing the art of subsea inspection / S. Keedwell // Offshore (Tulsa). — 2011. — Vol. 71. — No. 4. — Pp. 102–103.
19. Gibson J. M. Communicating quantitative information about unexploded ordnance risks to the public / J. M. Gibson, A. Rowe, E. R. Stone, W. Bruine de Bruin // Environmental science & technology. — 2013. — Vol. 47. — No. 9. — Pp. 4004–4013. DOI: 10.1021/es305254j.

## MODERN METHODS OF THE SEAFLOOR INVESTIGATIONS FOR THE EXPLOSIVE OBJECTS DETECTION BEFORE THE PIPELINE CONSTRUCTION

*The study examines the implementation of the hydrographic, geophysical and oceanographic technologies for the seafloor and subsoil investigations aimed on the explosive object detection along the underwater pipeline route. Modern hydrographic, geophysical and oceanographic equipment provide the possibility for the complex seafloor inspection. Using the “South stream” project as an example the study discuss the experience of hydrographic, geophysical and oceanographic technologies deployment for exploring the sea bottom. The main attention is paid to the reliability and security of the acquired data achieved by using the systems based on the different physical principles. The singularity of this kind of marine research is conditioned by necessity to detect the explosive object in the deep water. Recommendations for the implementation of the multi beam echo sounder, gradiometer, side scan sonar and forward-looking sonar are delivered. The urgency of implementing the inertial navigation system capable for deep water installation as the support for the underwater acoustics navigation system is noted.*

*Keywords: swath survey, underwater pipeline, hydrographic, geophysical and oceanographic technologies, hydro acoustics methods, bottom pipe, complex seafloor inspection, multi beam echo sounder, gradiometer, side scan sonar, forward looking sonar, ROV, AUV.*

## REFERENCES

1. Eder, L. V., I. V. Filimonova, and V. Ju. Nemov. “Russian oil industry’s modern status.” *Burenie i nef* 5 (2013): 8–13.
2. Gazprom. Vedomstvennye normy proektirovaniya i stroitelstva morskogo gazoprovoda. M., 1998. WN 39-1.9-005-98. Web. 10 Oct. 2015 <[http://www.znaytovar.ru/gost/2/VN\\_391900598\\_Normy\\_proektirova.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/VN_391900598_Normy_proektirova.html)>.

3. Vesti jekonomika. «Smozhet li Turcija stat' novoj Ukrainoj dlja Evropy?» Web. 15 Dec. 2015 <<http://www.vestifinance.ru/articles/53282>>.
4. Etter, Paul C. Underwater Acoustic Modeling and Simulation, Fourth Edition. DOI: 10.1201/b13906-7
5. Kongsberg Maritime. Product description. HiPAP High precision Acoustic Positioning Model 501/451/351/101. Web. 01 Dec. 2015 <[http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/B5F6D93EC6422B5AC1257428002A2C20/\\$file/317748\\_hipap\\_product\\_description.pdf?OpenElement](http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/B5F6D93EC6422B5AC1257428002A2C20/$file/317748_hipap_product_description.pdf?OpenElement)>.
6. Firsov, Ju. G. *Osnovy gidroakustiki i ispolzovanija gidroakusticheskikh sonarov*. SPb.: Nestor-Istorija, 2010.
7. Mandt, M., K. Gade, and B. Jalving. "Integrating DGPS-USBL position measurements with inertial navigation in the HUGIN 3000 AUV." *Proceedings of the 8th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems*. SPb., Russia, 2001.
8. Quickstart v7.5 QINSy User Manual. Web. 28 Nov. 2015 <[http://www.geotechsystem.com/upload/1275898933\\_Quickstart+V+8.0+UK+20060329+.pdf](http://www.geotechsystem.com/upload/1275898933_Quickstart+V+8.0+UK+20060329+.pdf)>.
9. Kongsberg Maritime. «Shallow-water maritime security sonar system». Web. 23 Nov. 2015 <[http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/ADF45E1497767E90C1257D9A002A2E40/\\$file/M3-MARSEC-Application-Note.pdf?OpenElement](http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/ADF45E1497767E90C1257D9A002A2E40/$file/M3-MARSEC-Application-Note.pdf?OpenElement)>.
10. Wilson, M. F. J., B. O'Connell, C. Brown, J. C. Guinan, and A. J. Grehan. "Multiscale terrain analysis of multibeam bathymetry data for habitat mapping on the continental slope." *Marine Geodesy* 30.1–2 (2007): 3–35. DOI: 10.1080/01490410701295962.
11. Dmitriev, V. I. *Vychislitelnye matematika i tehnika v razvedochnoj geofizike. Spravochnik geofizika*. M.: Nedra, 1982.
12. Voronin, V. A., and S. P. Tarasov. "Ispolzovanie gidrolokatora so slozhnym signalom dlja reshenija zadach prikladnoj gidroakustiki." *Izvestiya SFedU. Engineering sciences*. 2(46) (2005): 65–69.
13. Bloh, Ju. I. *Reshenie prjamyh zadach gravirazvedki i magnitorazvedki*. M.: Moskovskaja Gosudarstvennaja Geologorazvedochnaja Akademija, 1993.
14. Kaufman, A. A. *Vvedenie v teoriju geofizicheskikh metodov. Chast 2. Jelektromagnitnye polja*. M.: OOO "Nedra-Biznescentr", 2000.
15. Bloh, Ju. I. *Kolichestvennaja interpretacija gravitacionnyh i magnitnyh anomalij*. M.: Moskovskaja Gosudarstvennaja Geologorazvedochnaja Akademija, 1998.
16. Babajanc, P. S., Ju. I. Bloh, and A. A. Trusov. "Izuchenie rel'efa poverhnosti kristallicheskogo fundamenta po dannym magnitorazvedki." *Russian Geophysics* 4 (2003): 37–40.
17. Vojtov, D. V. *Teleupravljajemye neobitaemye podvodnye apparaty*. M.: MORKNIGA, 2012.
18. Keedwell, S. "Advancing the art of subsea inspection." *Offshore (Tulsa)* 71.4 (2011): 102–103.
19. Gibson, J. M., A. Rowe, E. R. Stone, and W. Bruine de Bruin. "Communicating quantitative information about unexploded ordnance risks to the public." *Environmental science & technology*. 47.9 (2013): 4004–4013. DOI: 10.1021/es305254j.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Барашок Павел Иванович —  
инженер-гидрограф.  
ЗАО РОМОНА  
[pbarashok@mail.ru](mailto:pbarashok@mail.ru)  
Фирсов Юрий Георгиевич —  
кандидат технических наук, доцент.  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
адмирала С. О. Макарова»  
[gidrograph@mail.ru](mailto:gidrograph@mail.ru), [kaf\\_gm@gumrf.ru](mailto:kaf_gm@gumrf.ru)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Barashok Pavel Ivanovich —  
Engineer-hydrograph  
ZAO ROMONA  
[pbarashok@mail.ru](mailto:pbarashok@mail.ru)  
Firsov Yuriy Georgievich —  
PhD, associate professor.  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
[gidrograph@mail.ru](mailto:gidrograph@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 21 декабря 2015 г.