

### Список литературы

1. Барановский М. Е. Безопасность морской перевозки навалочных грузов / М. Е. Барановский. – М.: Транспорт, 1985. – 189 с.
2. Коробцов В. И. Морская перевозка насыпных грузов / В. И. Коробцов. – М.: Транспорт, 1977. – 187 с.
3. Tope I. E. Carriage of Bulk grain without temporary fitting / I. E. Tope // Naval Architect. – № 3. 1971. – P. 457–471.
4. Васьков Ю. Ю. Некоторые вопросы оптимизации грузовых операций навалочных судов / Ю. Ю. Васьков // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2003. – Вып. 6. – С. 40–45.
5. Цымбал Н. Н. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов / Н. Н. Цымбал, Ю. Ю. Васьков // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2004. – Вып. 7. – С. 3–9.
6. Цымбал Н. Н. Расчет границ множества допустимых стратегий проведения грузовых операций навалочных судов / Н. Н. Цымбал, Ю. Ю. Васьков // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2004. – Вып. 8. – С. 22–31.
7. Савчук В. Д. Обеспечение безопасной перевозки цемента насыпью на балкерах / В. Д. Савчук, Е. Н. Клименко // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2004. – Вып. 7. – С. 72–75.
8. Клименко Е. Н. Удифференровка балкера при перевозке навалочных грузов / Е. Н. Клименко, В. Д. Савчук // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2005. – Вып. 10. – С. 63–66.
9. Клименко Е. Н. Математическая модель поверхности штабеля насыпного груза / Е. Н. Клименко, В. Д. Савчук // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: ИздатИнформ. – 2011. – Вып. 20. – С. 89–98.
10. Савчук В. Д. Аппроксимация поверхности навалочного груза кусочно-линейной функцией / В. Д. Савчук, Е. Н. Клименко // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: ИздатИнформ. – 2011. – Вып. 20. – С. 189–202.

**УДК 528.422**

**Ю. Г. Фирсов,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

**М. В. Иванов,**  
инженер,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

**Е. Н. Колосков,**  
аспирант,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

### **НОВЫЙ ЭТАП БАТИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕВЕРНЫХ АКВАТОРИЙ РОССИИ НА ПРИМЕРЕ КАРСКОГО МОРЯ**

### **THE NEW STAGE OF THE RUSSIAN NORTHERN BASINS BATHYMETRIC INVESTIGATIONS - KARA SEA EXAMPLE**

*Рассмотрены вопросы гидрографического и батиметрического изучения северных морей России на примере Карского моря. Описаны этапы изучения рельефа дна, с 50-х годов XX века и полученные результаты. Отмечено, что с начала XXI века начался качественно новый этап изучения рельефа Карского моря, характеризующийся использованием многолучевых эхолотов, способных кроме батиметрической ин-*

формации одновременно предоставлять сонарное изображение и изображение водной толщи. Продемонстрированы современные результаты площадной съемки, полученные с использованием гидрографических информационных систем QINSy/Fledermause, способных обеспечить высокую детализацию рельефа. При этом на фоне рельефа удается наглядно представить газовые эманации. Одной из ведущих тенденций применения современных гидрографических технологий является предоставление данных для обеспечения морских геологоразведочных работ.

*The study examines hydrographic and bathymetric investigations of the Russian northern seas using the example of the Kara sea. It presents stages of seafloor relief studies since the 1950s and the obtained results. At the beginning of the 21st century an entirely new phase of bathymetric investigations began with the use of Multibeam Echosounders (MB). The software tools to process and analyze the bathymetry, and more recently to characterize the seabed from the backscatter, are available in a majority of modern sonar systems. Besides the bathymetry and sonar data, modern MB can produce water column images. The modern swath survey results from the Kara sea, achieved with Kongsberg EM2040CD MB and hydrographic information technology QINSy/Fledermause, are discussed. These hydrographic technologies provide the possibility to achieve a high level of the seafloor topography. The latest generation of hydrographic MB now has the ability to map the water column along with the seafloor. The gas seeps from multibeam water column data can be distantly discerned against the seafloor relief background with the aid of the Fledermause software package («FM Midwater» module). The ability to integrate the water column data with the seafloor and other information, in an integrated geospatial and temporal environment, enhanced the analysis and interpretation of the data which is essential for marine geological research and investigations. The gas-hydrate survey guidelines using MB and QINSy/Fledermause software are provided.*

*Ключевые слова: северные моря России, Карское море, съемка рельефа дна, многолучевые эхолоты, современные гидрографические технологии, QINSy, Fledermause, подводные ландшафты, газовые эманации, морские геологоразведочные работы.*

*Key words: Russian northern seas, Kara sea, multibeam echo sounders, hydrographic information technologies, QINSy, Fledermause, detailed seabed topography, bottom landscapes, gas seeps, marine geological research.*

## II

ПЛАНОМЕРНОЕ изучение рельефа дна северных морей России началось после Второй мировой войны силами Гидрографического предприятия Министерства морского флота СССР. Гидрографические работы были направлены главным образом на обеспечение безопасности мореплавания по трассам Северного морского пути (СМП). В 1950–70-е годы для гидрографических работ применялись фазовые радионавигационные системы («Координатор», «Поиск») и однолучевые эхолоты отечественного производства. Позже в 1980-е годы использовались зарубежные радионавигационные системы и однолучевые эхолоты типа «Atlas DESO-20».

Первоочередные работы в 1950-е годы проводились в южной части Карского моря и вдоль всех побережий. Итогом первого этапа этих работ стало создание комплекта морских навигационных карт различного масштаба. На основе анализа и обобщения материалов промера на кафедре «Гидрография моря» Ленинградского высшего инженерного морского училища имени адмирала С. О. Макарова совместно с Гидрографическим предприятием была составлена первая детальная батиметрическая карта, а также геоморфологическая карта Карского моря масштаба 1:1 000 000 [1]. Эти карты долгое время имели ведомственное использование и были недоступны широкой научной общественности.

На сегодняшний день комплект навигационных морских карт (НМК) на Карское море, изданных Управлением навигации и океанографии (УНиО) Министерства обороны Российской Федерации, включает более 200 единиц. При этом НМК масштаба 1:25 000 и крупнее включает всего 24 листа. Распределение НМК Карского моря по масштабам приведено ниже в таблице.

### Масштабы навигационных морских карт Карского моря по состоянию на 2014 г.

Масштабы НМК Карского моря на 2014 г				
Виды НМК Масштаб	Морские планы 1:500–1: 25 000	Частные карты 1:50 000–1:100 000	Путевые карты 1:100 000–1:1 000 000	Генеральные карты 1:1 000 000–1: 5 000 000
Количество НМК	24	70	104	4

Анализ таблицы показывает, что основным видом НМК в Карском море являются путевые карты масштабов 1:150 000. Морские планы представлены в незначительном количестве и охватывают рейды порто-пунктов и полярных станций. Наибольшее внимание уделено трассам Северного морского пути от Карских Ворот до пролива Вилькицкого. В гидрографическом отношении наименее изучена северная часть моря и юго-западный район, включая Новоземельский трог с глубинами до 400 м. Следует отметить, что в связи с увеличением осадки современных судов, которые планируется использовать на трассах Северного морского пути, его гидрографическая изученность уже не удовлетворяет современным требованиям [2].

В 80-х годах XX века подразделения Главного управления геодезии и картографии СССР (ГУГК) приступили к проведению морских топографических работ, направленных на создание морских топографических карт шельфа в интересах народного хозяйства, главным образом для обеспечения морских геологоразведочных работ. Морские топографические работы выполнялись с использованием доступных в тот период времени технологий съемки рельефа на основе применения однолучевых эхолотов, гидролокаторов бокового обзора, а также высокоточных радиогеодезических систем. Морские топографические карты издавались в проекции Гаусса-Крюгера в стандартной разграфке в масштабах 1:25 000–1:50 000. Такие карты, не предназначенные для обеспечения безопасности мореплавания, показывали рельеф дна с максимально возможной детальностью. Кроме того эти карты включали дополнительную нагрузку в виде, например, гранулометрических параметров донного осадка, донной растительности, которые необходимы морским геологам и проектировщикам сооружений на дне.

Морская топографическая съемка были выполнена практически на всех морях СССР, включая юго-западную часть Карского моря. К сожалению, в начале 90-х годов XX века такие работы были полностью прекращены.

В 70-80-х годах XX века в арктических морях России развернулись широкомасштабные морские геологоразведочные работы. При этом практически все виды работ сопровождалось промером глубин однолучевыми эхолотами. Научные организации, а также экспедиции Министерства геологии и Министерства газовой промышленности СССР накопили большие объемы батиметрической информации, главным образом по западному сектору Арктики, включая акваторию Карского моря. В частности, батиметрические материалы, полученные Морской Арктической Геологоразведочной экспедиций (МАГЭ), наряду с данными, имеющимися на НМК, во многом легли в основу представления рельефа дна на листах государственной геологической карты Российской Федерации (РФ) масштаба 1:1 000 000 [3].

При подготовке батиметрической части листов геологической карты учитывались схемы основных орографических элементов, основанных на результатах системно-морфологического анализа разнообразных отечественных и зарубежных карт рельефа масштаба 1:5 000 000 и крупнее [3]–[5]. В качестве границ орографических форм приняты линии перегиба поверхности дна: килевые, гребневые, выпуклого или вогнутого перегиба. Батиметрическая часть государственной геологической карты РФ хорошо демонстрирует макро и мезорельеф [6], однако с ее помощью невозможно получить сведения по микрорельефу дна.

В настоящее время результаты батиметрических исследований в Карском море представлены на листах геологических карт масштаба 1:1 000 000. Фрагмент батиметрической карты Карского моря, включающий район Новоземельского Трога (желоба), по данным листа геологической карты масштаба 1:1 000 000 представлен на рис. 1.

Последние десятилетия отмечены беспрецедентным развитием геоинформационных технологий и в том числе технологий съемки рельефа морских акваторий. Современная морская деятельность ставит задачи получения карт рельефа дна с точностями, сопоставимыми с рельефом суши и имеющиеся гидрографические технологии позволяют это обеспечить. Основу этих технологий составляют: высокоточное спутниковое позиционирование, гидроакустические средства площадной съемки рельефа и специализированное гидрографическое программное обеспечение [7].

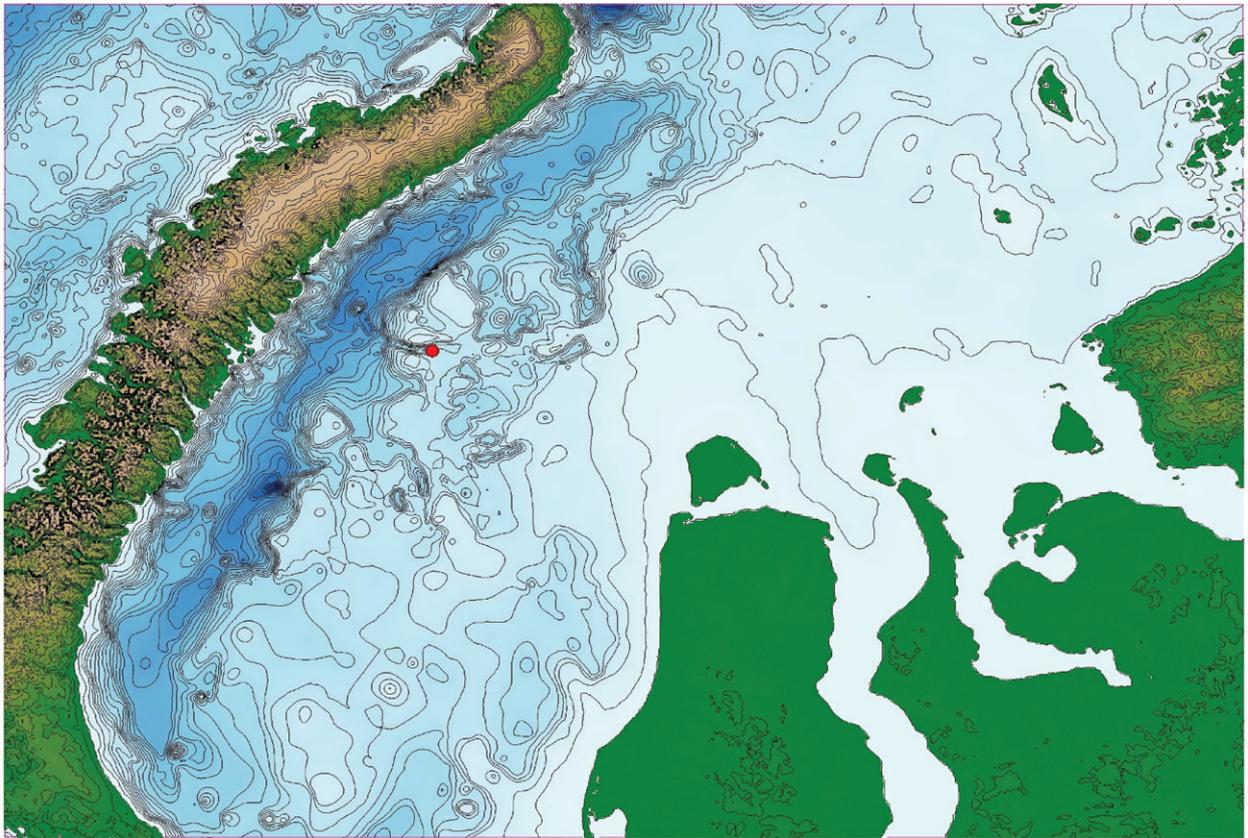


Рис. 1. Фрагмент батиметрической карты района Новоземельского трюга с листа геологической карты масштаба 1:1 000 000 [4]

Особую актуальность в настоящее время приобретает гидрографическое программное обеспечение, реализованное в электронных гидрографических информационных системах (ЭГИС), без которых немислимо выполнение любых гидрографических работ.

В настоящее время на мировом рынке гидрографических технологий имеется целый ряд промышленных ЭГИС, среди которых следует выделить: QINSy (QPS), Hupack MAX (Hupack), Hydro Pro (TRIMBLE), EIVA (EIVA), SIS (Kongsberg), PDS-2000 (RESON), CARIS HIPS (CARIS) и др.

Каждая из указанных ЭГИС имеет свои особенности и оптимальным образом поддерживает определенные направления гидрографической деятельности. Наиболее универсальной является ЭГИС QINSy, направленная на решение задач промышленной гидрографии и выполнение съемок с использованием многолучевых эхолотов (МЛЭ).

Гидроакустические средства площадной съемки рельефа включают МЛЭ, эхотралы (ЭТ) и батиметрические гидролокаторы бокового обзора (БГБО) [7]. Современные МЛЭ четвертого поколения являются наиболее универсальной гидроакустической аппаратурой, способной обеспечить получение следующих данных:

- батиметрической информации в виде цифровой модели рельефа морского дна;
- сонарного изображения в виде опции гидролокатора бокового обзора, реализованной в МЛЭ и обеспечивающей получение интенсивности обратного рассеивания в пятне облучения на дне;
- изображение объектов в водной толще (модель акустического изображения водной толщи).

Одним из наиболее совершенных МЛЭ четвертого поколения является модель EM 2040С фирмы Kongsberg, поставляемая как в одно-, так и двухантенном варианте. Двухантенный вариант МЛЭ EM 2040С D при благоприятных гидроакустических условиях позволяет получить ширину полосы обзора 5–6 глубин.

На рис. 2 представлена схема соединений для двух антенного варианта МЛЭ модели EM 2040С D.

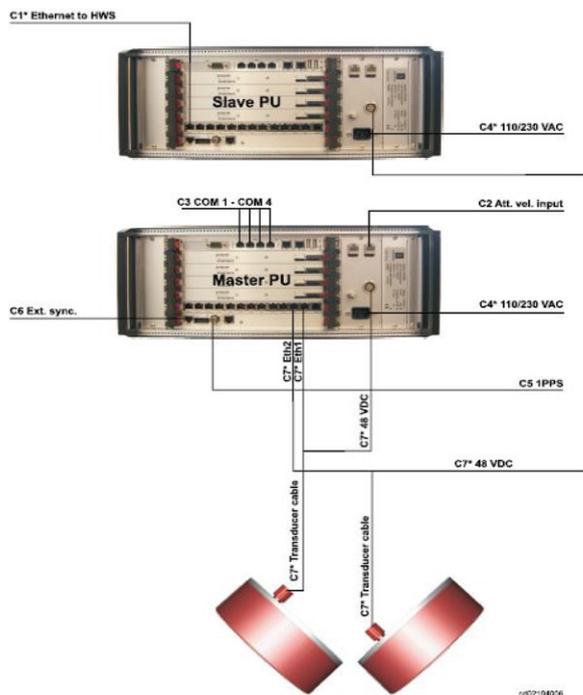


Рис. 2. Схема соединений многолучевого эхолота EM 2040C D (Kongsberg)

Многолучевой эхолот может эффективно работать только в составе сложного комплекса аппаратуры, включающей средства спутникового позиционирования (GNSS), датчик пространственной ориентации (IMU), датчик скорости звука на антенне (SV), а также датчик-профилограф скорости звука в воде (SVP). Существенным требованием является точная временная синхронизация всей аппаратуры (PPS). Требования контроля качества данных предусматривают также необходимость использования МЛЭ совместно с узконаправленным однолучевым эхолотом (ОЛЭ).

Функциональные возможности ЭГИС во многом определяют эффективность выполнения съемки, фактически осуществляя объединение всей аппаратуры в единый комплекс, обеспечивая управление. Схема подключения датчиков комплекса МЛЭ EM2040CD с ЭГИС QINSy представлена на рис. 3.

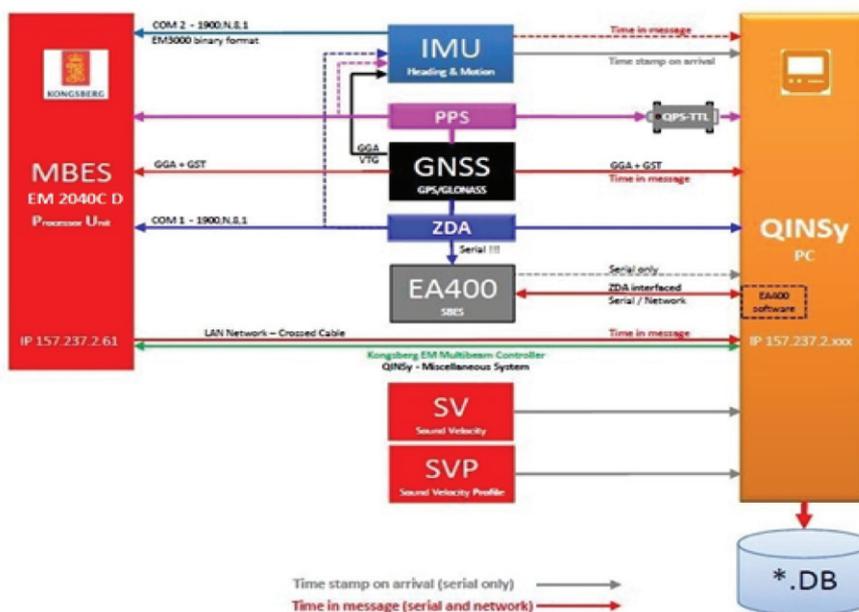


Рис. 3. Схема подключения датчиков комплекса МЛЭ EM2040CD для ЭГИС QINSy (QPS)

Использование ЭГИС QINSy фирмы QPS (Голландия) является оптимальным решением для обеспечения проведения современной комплексной съемки дна в интересах поддержки различных аспектов современной морской деятельности. ЭГИС QINSy позволяет одновременно получать как батиметрическую информацию для оперативной визуализации цифровой модели рельефа дна, сонарного изображения интенсивности обратного рассеивания дна, так и изображения объектов в водной толще.

Первоначально гидроакустическая технология визуализации водной толщи создавалась исключительно для целей традиционной гидрографии. Предполагалось, что данная технология позволит выявлять такие малоразмерные объекты, как сваи, оставшиеся после гидротехнического строительства, или, например, рангоут затонувших судов, чтобы надежно определять наименьшие глубины над ними. Зарубежная и отечественная практика использования многолучевых гидрографических комплексов показала существенно более широкий спектр применений.

Особое значение данная технология имеет для современной морской геологии, включая инженерные геологические исследования на акваториях, перспективных для разведки на углеводороды.

В настоящее время идет процесс интенсивного внедрения многолучевых гидрографических комплексов в практику морских геологоразведочных работ. Геологоразведочные суда оснащаются многолучевыми эхолотами, которые устанавливаются в стационарном, а также маневренном варианте.

Комплексная многолучевая батиметрия становится одним из основных методов морских геологоразведочных работ наряду с сейсмическими исследованиями и выполнением отбора проб грунта.

В последние годы в российских арктических морях существенно интенсифицируются морские геологоразведочные работы. В период 2011–2013 годов по заказам ОАО «НК Роснефть» в Карском море выполнено десять экспедиций. Летом 2013 года в Карском море по договору с ОАО «НК Роснефть» работала комплексная экспедиция ВНИИОкеангеология на НИС «Алдан».

Судно было оснащено многолучевым комплексом на базе МЛЭ EM 2040 C D (см. рис. 3).

Одной из задач экспедиционных работ наряду с батиметрической съемкой являлось выполнение съемки газовых эманаций в водной толще. По имеющемуся опыту работы в арктических морях газовые эманации приурочены к выходу метана в виде пузырьков газогидрата (газовых факелов). Площадная съемка выполнялась на участках, перспективных на углеводороды, которые были намечены на основе результатов сейсмических работ, выполненных в 2012 году. Район работ показан на рис. 1.

В многолучевом комплексе на базе МЛЭ EM 2040 C D использовалась ЭГИС QINSy. Осуществлялась регистрация батиметрии, сонарного изображения, а также изображения водной толщи.

На рис. 4 показаны окна первичных данных МЛЭ с изображением дна и водной толщи, получаемые в ЭГИС QINSy в реальном масштабе времени в момент нахождения судна над газовым проявлением. Газовые факелы (плюмы) газогидрата в водной толще на цифровом изображении, полученном от антенн левого и правого бортов, представлены вертикальными светлыми полосами. Требуется определенный опыт для идентификации таких «плюмов» и фиксации их планового положения с целью последующего выхода в точку газового проявления для взятия проб воды и донного грунта.

На рис. 5 дано изображение цифровой модели рельефа (ЦМР) дна реального времени, которое обеспечивается в ЭГИС QINSy. ЦМР представляет собой регулярную сетку глубин (грид). На глубинах 50–90 м размер ячейки грида может быть задан величиной 1×1 м. При этом возможно обеспечить такую высокую детальность отображения микрорельефа, которая ранее была недоступна. Получение достоверной информации по ЦМР с использованием средств площадной съемки связано с необходимостью выполнения требований контроля качества на всех этапах ее выполнения. Данный вопрос частично изложен в работе [8].

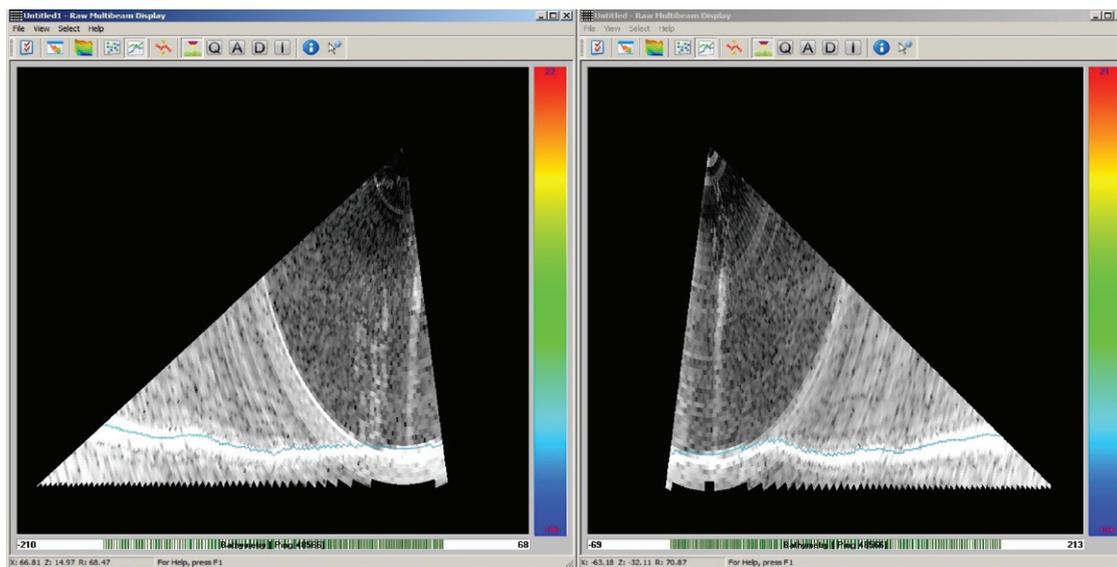


Рис. 4. Изображение водной толщи в окнах первичных данных МЛЭ, предоставляемых ЭГИС QINSy

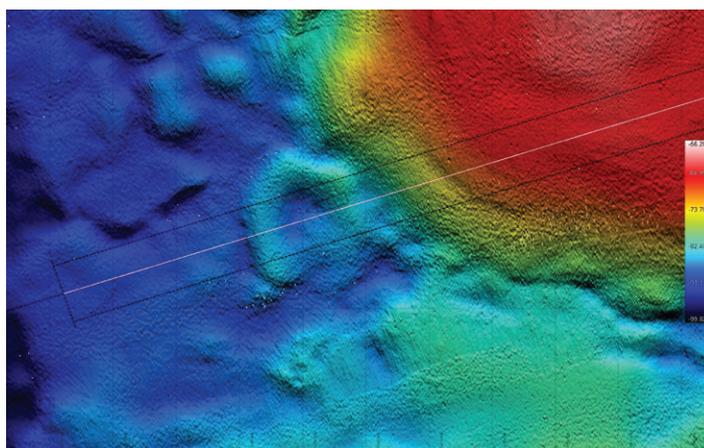


Рис. 5. Изображение цифровой модели рельефа дна в режиме реального времени в ЭГИС QINSy

Акватория работ включала Новоземельский Трог (желоб) в районе структуры «Университетская». При этом были зарегистрированы отдельные донные газопроявления. Положение донного газопроявления, представленного на рис. 3 и 4, показано на рис. 1 красной точкой.

Детальная площадная съемка рельефа позволила выявить новые, ранее неизвестные формы топографии морского дна, в том числе формы, приуроченные к донному газопроявлению.

По всей видимости донное газопроявление в районе структуры «Университетская» является выходом метана из толщи донных осадков, приуроченных к грязевулканическим структурам. Структуры имеют кольцевидную форму с небольшим (2–4 м) превышением и расположены по периферии подводной возвышенности, имеющей превышения 30–40 м относительно окружающего сравнительно плоского рельефа. Такие форм рельефа напоминают пинго (pingo) в русской классификации гидролакколиты или булгунняхы — это мерзлотные формы рельефа в виде куполообразных возвышений. Обсуждение геоморфологии данных структур морского дна выходит за рамки данной статьи.

В ЭГИС QINSy имеется довольно скудный инструментарий для работы с изображениями водной толщи. Опция «Water Column Inspector», реализованная в ЭГИС QINSy, позволят вручную оцифровать плоское изображение объекта в водной толще и оценить его высоту над дном.

Существенно большие возможности для работы с информацией водной толщи, зарегистрированной в файлах базы данных (\*.db) ЭГИС QINSy предоставляет пакет трехмерной визуализации Fledermause [12].

Возможности пакета трехмерной визуализации Fledermause частично рассмотрены в работе [9].

В составе пакета имеется специальный модуль «MidWater», с помощью которого возможно выполнить поиск объектов в водной толще, осуществить их идентификацию и оцифровку в виде отдельного объекта, который может быть записан в файл формата \*.sd (Scientific Data). Инструмент – трехмерная визуализация газовой эманации в среде программного пакета Fledermause при использовании модуля «MidWater» – представлен на рис. 6.

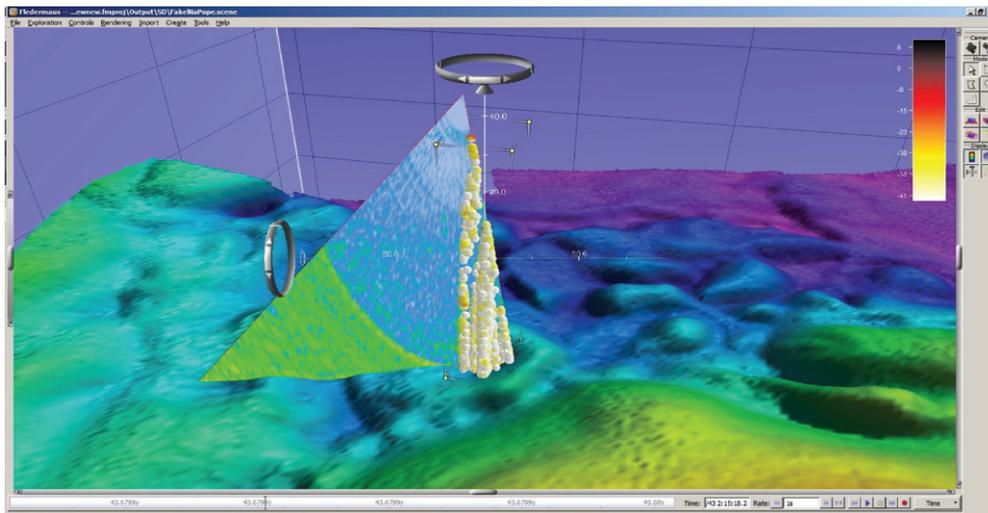


Рис. 6. Визуализация газовой эманации в среде программного пакета Fledermause (модуль MidWater)

В результате использования программного пакета «Fledermause» возможно выполнить регистрацию всех газовых эманаций (плюмов) на данной акватории, записав их в файлы формата \*.sd. Следующим шагом является формирование ЦМР на рассматриваемой акватории с созданием файлов формата \*.sd.

На основе набора объектов, включающих файлы плюмов и ЦМР формата \*.sd, далее возможно создать общий файл сцены (файл с расширением \*.scene), который обеспечивает интерактивную 3D / 4D визуализацию процесса, а также создание видеоклипов.

Трехмерное изображение плюма газогидрата в среде программного пакета Fledermause на фоне цифровой модели рельефа дна в районе структуры «Университетская» показано на рис. 7.

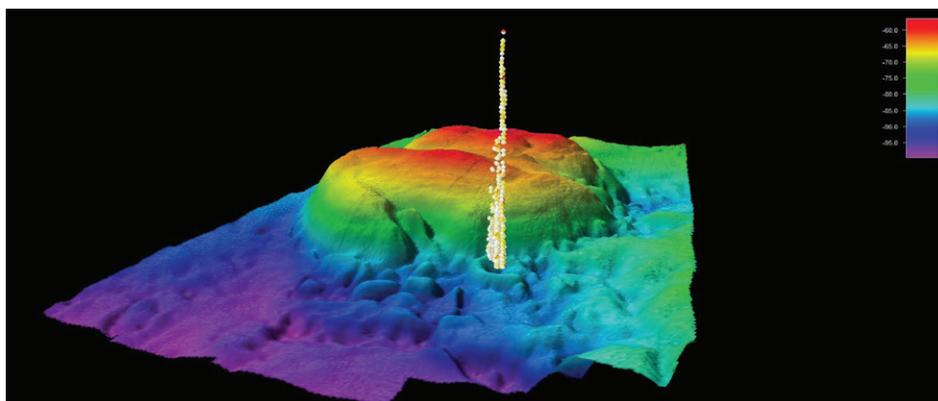


Рис. 7. Трехмерное изображение плюма газогидрата в среде программного пакета Fledermause на фоне цифровой модели рельефа

До недавнего времени поиски газогидратов на морском дне осуществлялись исключительно геофизическими методами с использованием средств сейсмоакустики, гидролокации бокового обзора (ГБО) в классическом варианте, а также путем взятия проб воды и донного грунта. Следует отметить, что данные ГБО не способны выявить наличие активных газопроявлений (плюмов), а только показывают их последствия в виде так называемых «поп-марков» — мест донной разгрузки, которая возможно уже давно закончилась. Вместе с тем, наличие «поп-марка» на сонарном изображении классического ГБО, а также сонарном изображении опции ГБО, реализованной в МЛЭ, позволяет подтвердить его положение на цифровой модели рельефа.

Сейсмоакустика на основе низкочастотных эхолотов-профилографов является наиболее эффективным средством, дополняющим данные, получаемые от многолучевой комплекс. При этом целесообразно использовать параметрические эхолоты-профилографы, позволяющие сохранять высокую производительность площадной съемки рельефа и водной толщи. Краткая информация по преимуществам применения параметрических эхолотов-профилографов приводится в работе [10]. Отметим, что современные программы окончательной обработки данных низкочастотных эхолотов позволяют создавать файлы формата \*.sd, которые могут быть затем напрямую экспортированы в программный пакет «Fledermause».

Что касается выполнения прицельного отбора проб воды и донного грунта в местах активного газопроявления, то этот вопрос требует отдельного рассмотрения. По нашим данным, диаметры плюмов составляют максимально 30–50 м. При этом для успешного получения пробы необходимо использование гидроакустической навигационной системы с ультракороткой базой, а само устройство пробоотбора должно быть оборудовано маяком-ответчиком. Однако, даже при этом условии взятие пробы донного грунта на глубинах более 40–50 м становится практически невозможным, если судно не оборудовано системой динамического позиционирования. Данная система должна обеспечить возможность активного управления судном для его вывода в заданную точку с целью обеспечения взятия пробы внутри плюма. Это возможно с использованием 3D-визуализации реального времени, которое также поддерживается в программном пакете «Fledermause».

Интерактивная визуализация в 3D-файла сцены позволяет наглядно представить топографию дна на больших пространствах в тех районах, где это будет необходимо для решения инженерных задач. К таким задачам относятся гидрографическое обеспечение установки буровых платформ и создание инфраструктуры морских месторождений углеводородного сырья, включая операции по прокладке подводных трубопроводов и их последующего мониторинга.

Наборы «сцен» дают представление о подводных ландшафтах с такой детальностью, которая ранее не была доступна исследователям. При этом появляется возможность получения не только микрорельефа, но и нанорельефа — мельчайших форм рельефа в виде ям, валов, ряби на поверхности и отдельных камней, имеющих размеры, не превышающие первые метры.

Появление новых технологических возможностей современной электронной гидрографии открывает новый этап исследований северных морей России, который в большей мере связан с необходимостью обеспечения ресурсной, нежели транспортной составляющей. Этот этап характеризуется радикальным повышением детальности съемки рельефа и созданием цифровых моделей поверхности дна, верхнего слоя донных отложений, а также изучения донного газопроявления в рамках единой технологии площадной многолучевой гидроакустической съемки.

В 2014 году на структуре «Университетская» ОАО «НК Роснефть» установил самую северную в мире буровую платформу, и была получена первая нефть. Это месторождение названо «Победа».

В ближайшие годы предстоит освоение этого месторождения и создание его инфраструктуры. В этой связи вопрос о необходимости создания единой базы данных по свойствам строения морского дна, поставленный в работе [11], является крайне актуальным и требует незамедлительного решения.

## Выводы

Современные средства гидроакустики совместно с гидрографическим программным обеспечением позволяют получать качественно новую информацию о микрорельефе и объектах в водной толще, полезную для многих направлений морской деятельности, включая морскую геологию и геоморфологию.

При выполнении площадной съемки с использованием современных многолучевых эхолотов на арктических акваториях всегда целесообразно регистрировать информацию о водной толще.

Необходимо создавать базы данных, содержащие не только цифровые модели морского дна на арктических акваториях России, но и информацию о донных газопроявлениях.

В связи с потеплением Арктики и интенсификацией газогидратных проявлений на шельфе арктических морей целесообразно выполнять акустическую съемку донных газопроявлений в качестве обязательного отдельного вида работ с использованием многолучевых комплексов и параметрических эхолотов-профилографов с последующей пост-обработкой данных на основе применения пакетов программ трехмерной интерактивной визуализации.

## Список литературы

1. Мартынов В. Т. К вопросу обработки планшетов промера / В. Т. Мартынов // Ученые записки ЛВМУ. — 1957. — Вып. 6.
2. Решетняк С. В. Гидрографическая изученность подводного рельефа арктических морей России / С. В. Решетняк // Геодезия и картография. — 2006. — Вып. 4. — С. 57–61.
3. Геология и полезные ископаемые России: В шести томах. — Т. 5. Арктические и дальневосточные моря. Кн. 1. Арктические моря. // ред. И. С. Грамберг, В. Л. Иванов, Ю. Е. Погребницкий. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. — 468 с.
4. Бирюков В. Ю. Геоморфология дна Карского моря. Динамика арктических побережий России. / В. Ю. Бирюков, В. А. Совершаев. — М.: МГУ, 1998. — С. 102–105.
5. Мусатов Е. Е. Батиметрия и морфоструктура Баренцево-Карского шельфа / Е. Е. Мусатов // Геоморфология. — 1999. — № 1. — С. 69–74.
6. Никифоров С. Л. История развития рельефа шельфа Арктики и создания цифровой модели морского дна / С. Л. Никифоров, Д. Б. Островский, Ю. А. Павлидис, И. А. Мелезнев // Подводные исследования и робототехника. — 2007. — № 1 (3). — С. 66–75.
7. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров: учеб. пособие / Ю. Г. Фирсов — СПб.: Нестор-ИСТОРИЯ, 2010. — С. 348.
8. Фирсов Ю. Г. Основные требования к обеспечению качества современной батиметрической (топографической) съемки / Ю. Г. Фирсов // Вестник ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — Вып. 3 (25). — С. 171–179.
9. Фирсов Ю. Г. Новые методы пространственной визуализации результатов инженерной батиметрической съемки / Ю. Г. Фирсов, И. В. Кожухов // Вестник ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — Вып. 2 (24). — С. 17–23.
10. Кожухов И. В. Северный регион Российской Федерации как зона экологического риска и новый технологический этап освоения Арктики. / И. В. Кожухов, Ю. Г. Фирсов, Н. Ю. Гордиенко // Эксплуатация морского транспорта. — 2013. — Вып. 2 (72). — С. 73–78.
11. Никифоров С. Л. О необходимости создания единой базы данных по свойствам строения морского дна / С. Л. Никифоров, Л. И. Лобковский, Е. А. Романкевич // Арктика: экология и экономика. — 2014. — Вып. 2 (14). — С. 31–35.
12. Gee L. New Tools for Water Column Feature Detection / L. Gee, L. McKenna, J. Beaudoin // Extraction and Analysis. Sea Technology. — 2014— October. — P. 27–30.