

УДК 550.838.3

*А. А. Шепелев, М. В. Коснырева*

## Геофизические исследования в рамках инженерных изысканий на шельфе Охотского моря

*Представлены результаты морских инженерных изысканий на территории шельфа Охотского моря. По результатам исследования были локализованы потенциально опасные геологические и техногенные объекты, а также выявлена сеть погребённых речных палеоврезов. Выполненные работы позволили получить материалы, обеспечивающие безопасную постановку плавучих буровых установок на период бурения скважин, проектирования и строительства нефтегазопромысловых сооружений.*

*Ключевые слова: морские инженерные изыскания, гидромагнитная съёмка, гидролокация бокового обзора, шельф Охотского моря, палеоврез*

### Об авторах

**Шепелев Алексей Андреевич** – выпускник магистратуры кафедры геофизических методов исследований земной коры геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. *E-mail:* alexsey.shepelev@mage.ru. 119234 г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1 сектор А, 17.

**Коснырева Мария Владимировна** – кандидат геолого-минералогических наук, ассистент кафедры геофизических методов исследования земной коры геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

В настоящее время увеличиваются темпы и объёмы освоения углеводородных ресурсов континентального шельфа Охотского моря. Изучение и освоение нефтегазовых запасов должно опираться на достоверную информацию о строении придонной части разреза, получаемую в результате проведения комплекса морских инженерных изысканий.

Обсуждаются вопросы методики съёмки, предложены и реализованы алгоритмы обработки данных с целью выявления особенностей геологического строения осадков грунтовой толщи, а также локализации геологических и техногенных опасностей. Данные компоненты геологической и техногенной среды могут быть опасны при бурении поисково-разведочных и эксплуатационных скважин, а также строительстве гидротехнических сооружений. В состав таких опасностей входят: залежи «слабых» грунтов, скопления свободного газа, погребённые речные врезы, зоны тектонических нарушений и объекты техногенного воздействия человека на окружающую среду.

В данной работе рассматриваются результаты морских работ лета 2019 г. на территории шельфа Охотского моря, во время которых был испытан следующий комплекс геофизических и гидротехнических методов:

гидромагнитная съёмка, гидролокация бокового обзора, многолучевая съёмка рельефа дна, сейсморазведка высокого разрешения и непрерывное сейсмоакустическое профилирование в высокочастотном и низкочастотном режиме. Широкий набор геофизических и гидротехнических методов, входящих в состав инженерных изысканий, позволяет осуществлять комплексный анализ всех имеющихся данных, что повышает достоверность итогового результата.

По результатам совместной интерпретации данных магнитометрии и сейсморазведки были выделены погребённые палеоврезы. По итогам анализа данных многолучевого эхолотирования и гидролокации выделены потенциально опасные объекты, в том числе выявлена законсервированная скважина, дополнительно подтвержденная по магнитным данным в виде высокоамплитудной аномалии.

Выполненные работы позволили получить материалы, обеспечивающие безопасную постановку плавучих буровых установок на период бурения скважин, проектирования и строительства нефтегазопромысловых гидротехнических сооружений, подводных трубопроводов и последующего мониторинга морских трасс и нефтепромыслов.

### Методика проведения морской геофизической съёмки

Инженерно-геологические и инженерно-геодезические изыскания для строительства

объектов на континентальном шельфе состоят из следующего набора методов: гидромагнитная съемка, гидролокация бокового обзора (ГЛБО), батиметрическая съемка, непрерывное сейсмоакустическое профилирование в двухчастотном режиме (ВЧ и НЧ НСАП), сейсморазведочные работы высокого разрешения (СВР) [1].

Комплекс геофизических и гидротехнических методов позволяет определять: места скопления свободного газа, залежи «слабых» грунтов, погребенные речные врезы, зоны тектонических нарушений [4].

Съемка выполнялась по единой сети наблюдений с расстоянием 100 м между рядовыми профилями и 200 м между секущими профилями.

Гидромагнитная съемка на данной площади выполнялась по дифференциальной мето-

дике с целью обнаружения и картирования затопленных металлогенных объектов, расположенных на морском дне или в придонной части грунтового массива, представляющих потенциальную опасность как для строительства, так и для бурения инженерно-геологических скважин.

Данный способ съемки представляет собой продольный градиентометр, состоящий из двух магнитометров, буксируемых друг за другом на фиксированном расстоянии (база градиентометра) равном 11,5 м. Используемая конфигурация позволяет получить значения модуля полного вектора магнитного поля Земли, свободные от влияния вариаций, следовательно, пропадает необходимость установки вариационной станции [5] (рис. 1).

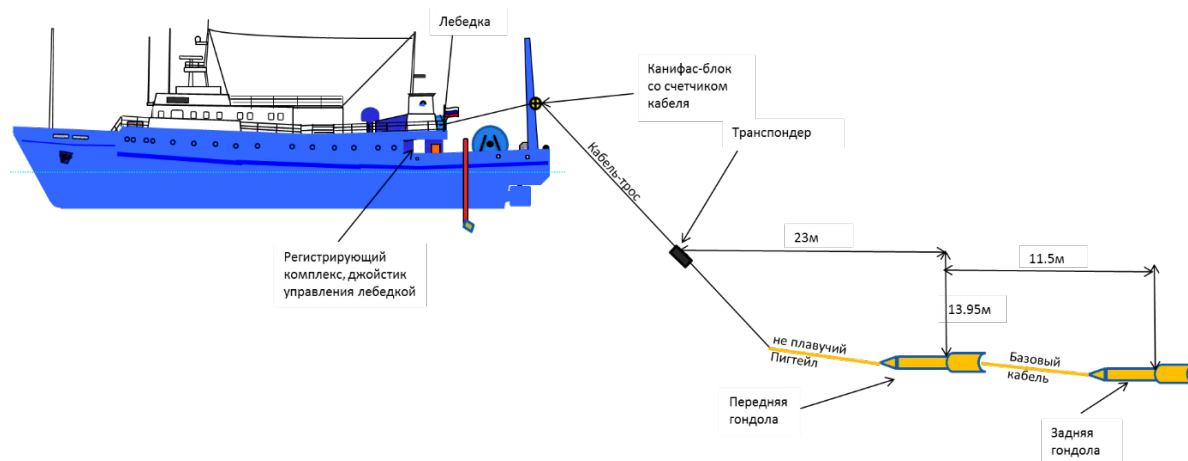


Рис. 1. Схема буксировки продольного градиентометра

Для проведения магнитометрических работ на исследуемой территории использовались магнитометры *SeaSPY2*.

Дифференциальные гидромагнитные измерения выполнялись за один проход судна по профилю совместно с НСАП, ГЛБО, съемкой многолучевым эхолотом, согласно требованиям технического задания с учетом методических положений согласно инструкции по магниторазведке [3].

Работы методом ГЛБО выполняются с целью обнаружения природных и техногенных локальных объектов на поверхности дна, изучения и уточнения особенностей рельефа (микрорельефа) и качественного определения литологического состава придонных отложе-

ний, обнаружения выходов газа в воду и изучения различных воздействий на дно (ледовая эскаррация, траншеи и т.п.).

Гидролокация бокового обзора является инструментом, обеспечивающим получение изображения дна с высокой разрешающей способностью с обеих сторон от линии движения судна. ГЛБО не дает абсолютных значений высот донных объектов, однако позволяет получать относительные превышения объектов на дне, на основе которых могут быть приблизительно оценены высоты объектов. ГЛБО позволяет получать детальную акустическую картину дна, называемую сонограммой. Современный метод ГЛБО применяется при выполнении высокоточных съемок

для обнаружения препятствий на морском дне, а также для обследования существующей подводной инфраструктуры [6]. Интенсивность сигнала обратного рассеивания зависит как от состава придонных отложений, так и от наклона поверхности морского дна. На однородном типе грунта зона тени (слабая интенсивность сигнала обратного рассеивания) перед областью с интенсивным сигналом соответствует локальному понижению (депрессии) поверхности дна. Область с высокой интенсивностью сигнала обратного рассеивания и зоной тени позади нее соответствует поднятию дна (либо объекту на морском дне).

### Обработка и интерпретация данных гидромагнитной съёмки

Камеральная обработка полевых данных выполнялась с помощью программного обеспечения *Oasis Montaj 8.4 (Geosoft)* по следующему алгоритму:

- сглаживание исходных магнитометрических данных *Non Liner* фильтром с шириной 5 с для подавления случайных помех, а также фильтром *Low Pass* шириной 20 м для исключения высокочастотной помехи;
- вычисление горизонтального градиента по данным измерений двумя каналами;
- вычисление невязок в точках пересечения профилей и уравнивание сети гидромагнитных наблюдений итеративным способом с помощью подключаемого модуля *LevTieLine*;
- вычисление магнитного поля по градиенту с учетом вычисленной девиации;
- расчет вариаций магнитного поля по разности измеренного и вычисленного магнитного поля;
- ввод данных нормального магнитного поля по модели *IGRF (International Geomagnetic Reference Field)* на эпоху 2019 года;
- расчет аномального магнитного поля (АМП) по разности вычисленного и нормального магнитного поля (рис. 2А);

- выделение локальной составляющей аномального магнитного поля (рис. 2Б).

Среднеквадратическая погрешность, вычисленная по 1326 точкам пересечений, составила: до уравнивания  $\pm 9,98$  нТл, после уравнивания полиномами несколькими циклами  $\pm 1,10$  нТл.

Аномальное магнитное поле (АМП) состоит из региональной (низкочастотной) составляющей и локальной (высокочастотной) составляющей [2]. Локальное аномальное магнитное поле рассчитывалось путем пересчета исходного аномального магнитного поля в верхнее полупространство и дальнейшего вычитания результатов пересчета из исходных данных. Оптимальная высота пересчета в верхнее полупространство для выделения региональной составляющей поля была определена качественным способом и составила 75 м.

В процессе обработки рассчитывался набор трансформаций аномального магнитного поля, и в качестве наиболее информативной трансформанты была выбрана локальная составляющая аномального магнитного поля, которая позволяет выделить малоамплитудные аномалии.

Статистическая обработка массива данных локальной составляющей АМП показала, что амплитуда аномалий изменяется в диапазоне от  $-50,59$  до  $+522,60$  нТл при стандартном отклонении  $5,46$  нТл. Магнитное поле на большей части изучаемой площади имеет низкоградиентный характер со слабовыраженными локальными аномалиями величиной менее  $1,5$  нТл.

На завершающем этапе анализа была построена интерпретационная схема АМП, на которую выносились оси линейных магнитных аномалий, выделенные в результате сопоставления всех имеющихся трансформант исходного магнитного поля (рис. 3).

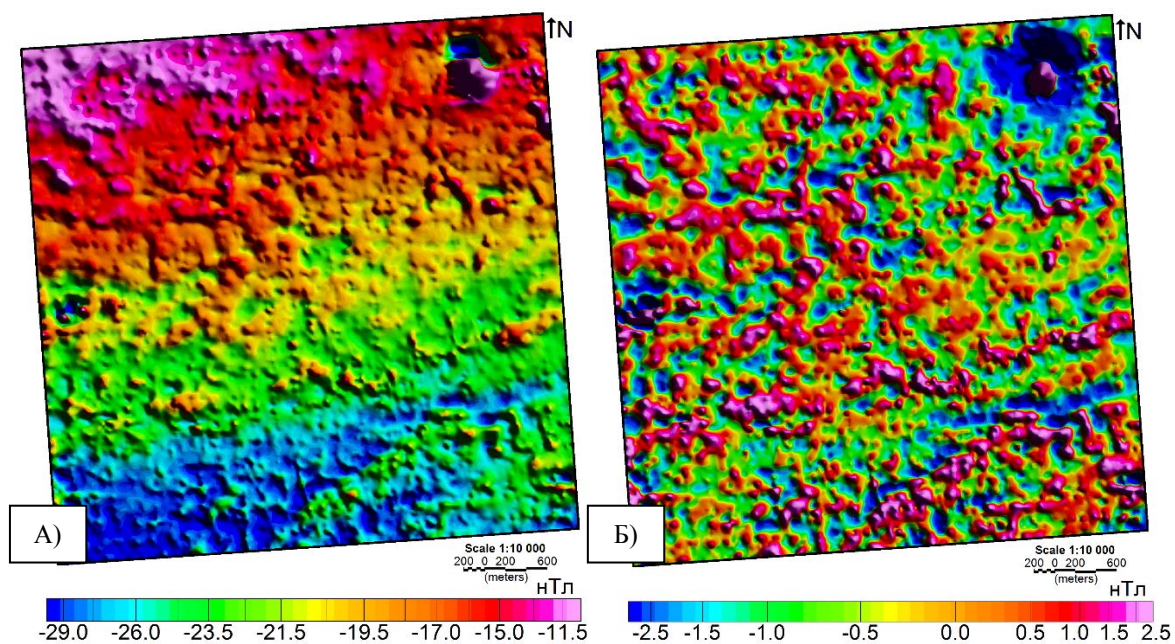


Рис. 2. А) Карта аномального магнитного поля; Б) карта локальной составляющей АМП

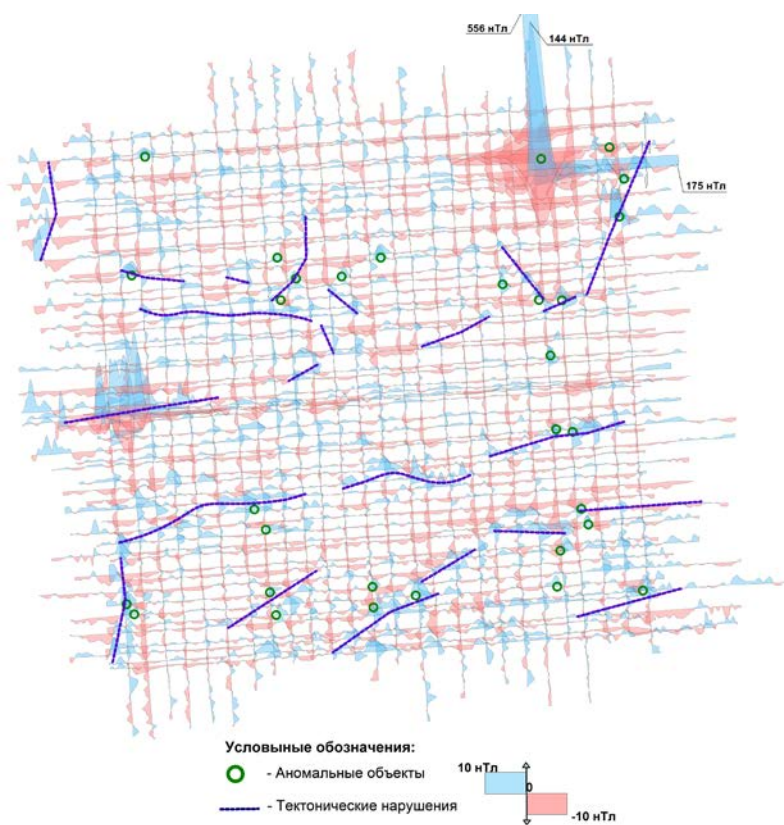


Рис. 3. Интерпретационная схема локальной составляющей МП

Погрешность съемки после уравнивания составила 1 нТл, поэтому пороговая амплитуда при картировании аномалий равняется 3 нТл (тройная величина погрешности съемки). Основная часть выделенных линейных

аномалий имеет северо-восточное субширотное простирание. Локальные аномалии на площади съемки в целом имеют небольшую амплитуду до + 6 нТл. На этом низкогради-

ентном фоне проявляются единичные высокоамплитудные аномалии.

Предполагается, что выделенные аномалии приурочены к мелким тектоническим нарушениям. Также в северной части участка выделены единичные разнонаправленные линейные аномалии. В центральной части у западного края площади на нескольких профилях выделяется участок высокоградиентных, достаточно интенсивных (до +40 нТл) локальных аномалий. Вероятно, эти аномалии приурочены к отложениям погребенных речных палеоврезов.

Также на схему было вынесено положение локальных изометричных аномалий предположительно геологической природы. Всего было выделено 39 аномальных объектов. В северо-восточной части участка была выявлена высокоамплитудная (522,6 нТл), высокоградиентная (8,6 нТл/м) изометричная аномалия. Данная аномалия в силу высокой интенсивности и дипольного характера может быть однозначно интерпретирована как техногенный объект. В последствии, в процессе анализа архивных данных, было подтверждено, что она создается законсервированной скважиной, не вынесенной на современные карты.

### **Обработка и интерпретация данных ГЛБО**

Контроль качества и обработка данных ГЛБО производились в программном обеспечении *SonarWiz 7.1*. Граф обработки полевого материала состоял из следующих этапов:

- создание проекта обработки;
- загрузка полевых данных ГЛБО в проект;
- проверка навигационных данных;
- прослеживание первого отражения от дна;
- применение переменного по времени усиления (*Time Varying Gain – TVG*);
- выделение потенциально опасных объектов на морском дне;
- построение мозаичного изображения.

Анализ морского дна проводился на основе данных многолучевого эхолотирования, гидролокации бокового обзора и магниторазведки, а также высокочастотного профилиро-

вания. По результатам обработки данных многолучевого эхолотирования была создана карта рельефа морского дна с шагом гридирования 1 м, которая сопоставлялась с уже имеющимися данными (рис. 4).

В общем плане дно пологонаклонное и погружается в восточном направлении. Практически через всю площадь проходит уступ, высота которого варьируется от 0,5 м до 1 м. Выделенный уступ разделяет исследуемый участок на две зоны, которые характеризуются различным строением морского дна.

Возможно, уступ маркирует положение древней береговой линии, сформированной на одной из стадий голоценовой трансгрессии моря. Характер поверхности дна в пределах изучаемой площади сильно дифференцирован. В западной части площади на возвышенном участке дно неровное, осложнено многочисленными хаотически расположенными углублениями.

По данным ГЛБО исследуемая площадь делится на две крупные зоны. Западная часть площади характеризуется относительно повышенными значениями интенсивности обратного рассеяния, а восточная – пониженными значениями. Граница между зонами совпадает с положением рассматриваемого ранее уступа (рис. 6). С востока к нему примыкает субмеридиональная узкая область минимальных значений обратного рассеяния.

С запада от уступа выделяется аналогичная область высоких значений. Изменение интенсивности обратного рассеяния предположительно связано с микрорельефом поверхности дна. На мозаике отчетливо выделяются области с неровностями в рельефе дна, характеризующиеся многочисленными чередующимися локальными областями высоких и низких значений обратного рассеяния, соответствующие небольшим углублениям. Данные зоны в плане совпадают с выделенными по батиметрии участками неровного дна. По данным ГЛБО всего было выделено 46 одиночных потенциально опасных объектов, большинство целей имеют изометричную или слабо вытянутую форму (рис. 5).

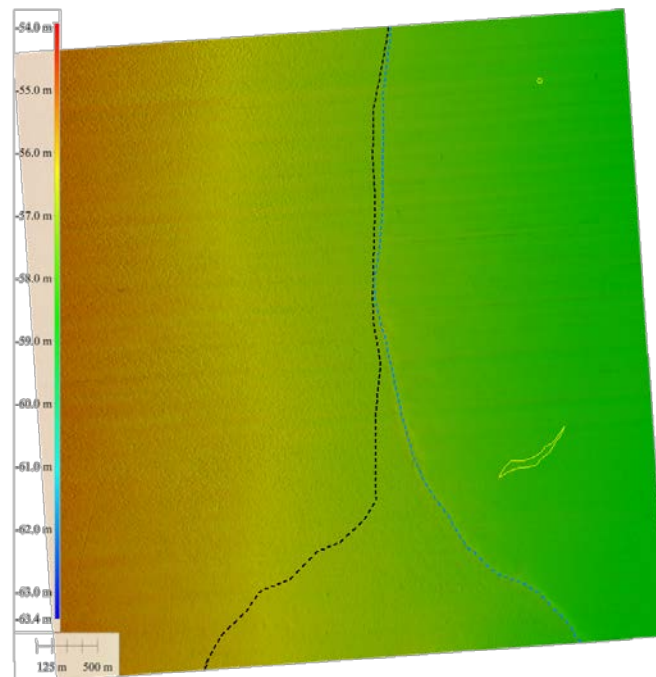


Рис. 4. Участки неровного дна с многочисленными локальными неоднородностями (тёмный пунктир), уступ в рельефе дна (светлый пунктир), локальные возвышенности (светлый контур)

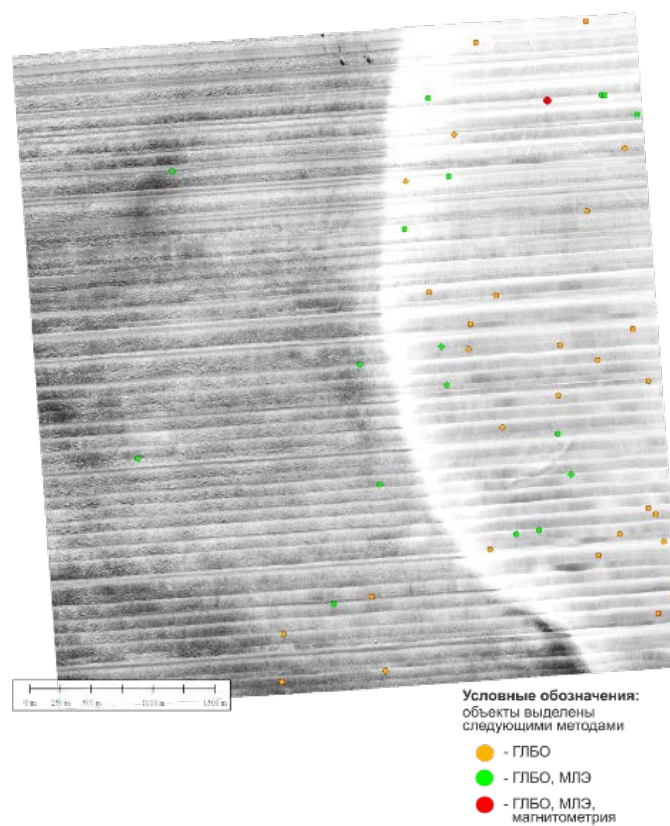


Рис. 5. Выделенные на итоговой гидролокационной мозаике потенциально опасные объекты

На заключительном этапе было произведено сопоставление объектов, выделенных

батиметрией, магниторазведкой и ГЛБО. Большой интерес представляет техногенный

объект, выделенный на гидролокационной мозаике. В окрестностях данного объекта наблюдаются линейные борозды, расположенные вкрест друг другу, свидетельствующие о воздействии якорей буровой установки на морское дно. Исследуемый объект первоначально был обнаружен на этапе анализа результатов обработки магнитных данных и подтвердился на данных гидролокации и батиметрии (таблица).

**Результаты**

В приповерхностной части осадочного чехла наблюдаются обширная сеть погребённых долин и каналов. Погребенные эрозионные врезы бассейна часто бывают заполнены глинами текучей консистенции и илами, т.е.

грунтами, относящимися к категории «слабые». Кроме того, к ним могут быть приурочены локальные газовые аномалии, связанные с диагенетическим преобразованием органического материала. Во всех случаях палеоврезы должны учитываться при морском бурении как области с резкой латеральной изменчивостью грунтов. Особую опасность представляют «слабые» и газонасыщенные грунты приповерхностных врезов для устойчивости опор буровых платформ. На исследуемой площади палеоврезы широко распространены, по данным ВЧ НСАП было выделено 3 крупных палеовреза: *Vrez1*, *Vrez2* и *Vrez3*.

**Сопоставление объекта ГЛБО, батиметрии и магнитометрии**

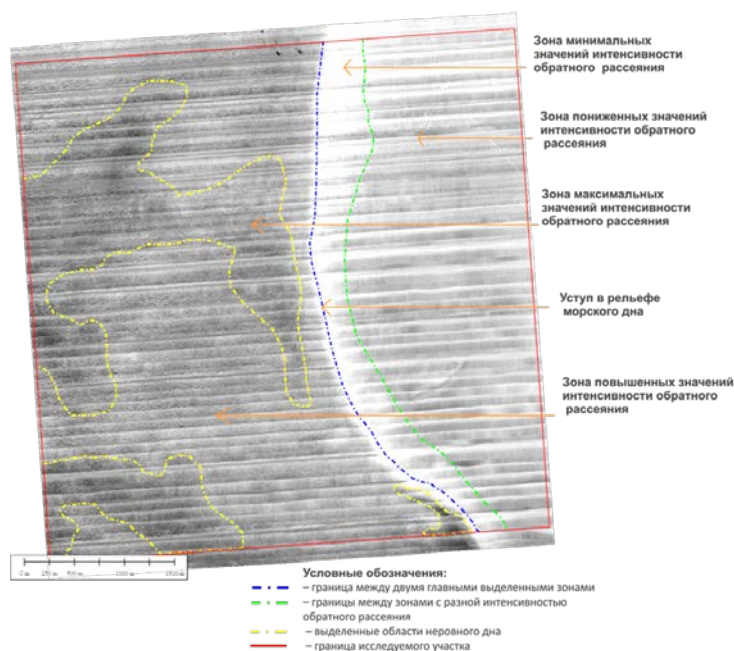
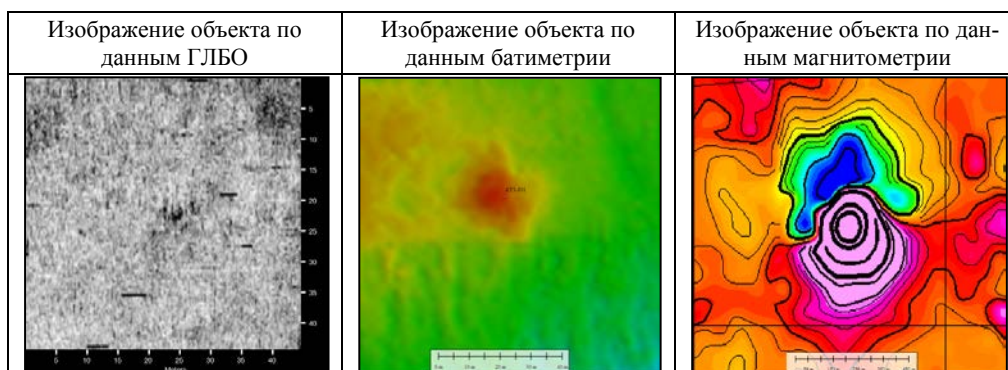


Рис. 6. Зоны, выделенные по данным гидролокации бокового обзора

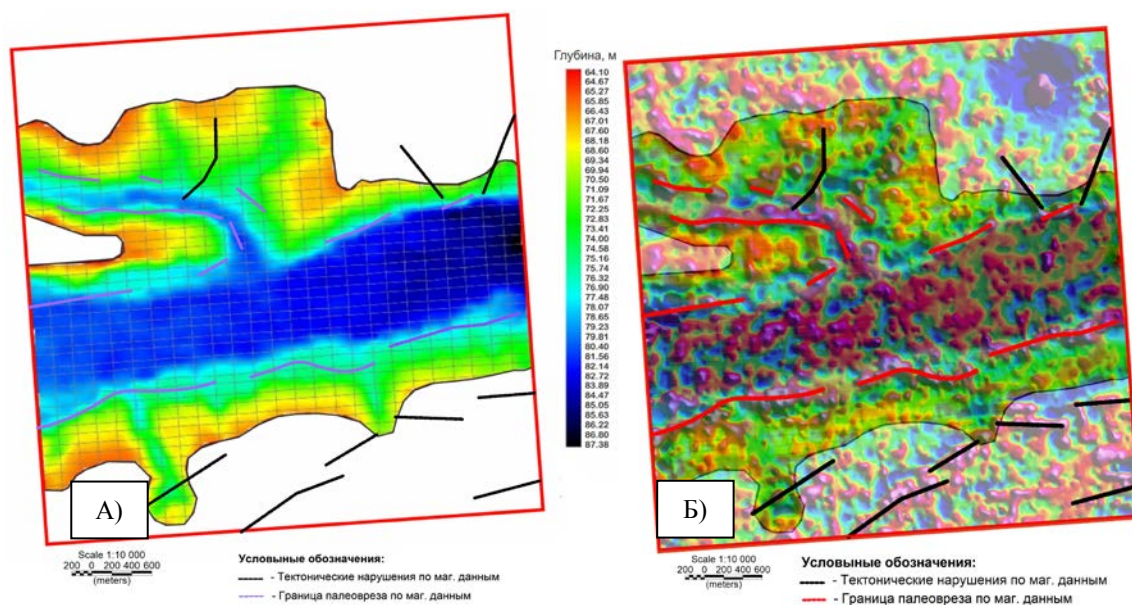


Рис. 7. А) Карта глубин подошвы палеовреза *Vrez3*, Б) карта глубин, совмещенная с локальной составляющей магнитного поля

Границы палеовреза *Vrez3*, полученные по данным сейсморазведки, были сопоставлены с интерпретационной схемой локальных магнитных аномалий, на которой были выделены различные тектонические нарушения (рис. 7А).

Основная часть нарушений имеет субширотное простирание аналогично простиранию палеовреза *Vrez3* (рис. 7Б). Границы палеовреза коррелируются с аномальными участками магнитных данных и отчетливо трассируются на интерпретационной схеме. Палеоврез по данным пробоотбора сложен мелким и средним песком, и предположительно данный песок содержит в себе магнитоактивные частицы, которые и создают магнитный эффект. В подошвенной зоне палеовреза наблюдаются отложения мягких глин.

В итоге осуществлена обработка и интерпретация данных гидромагнитной съемки и гидролокации бокового обзора. Произведено комплексирование результатов интерпретации сейсмического материала (СВР, НСАП ВЧ и НЧ) с данными гидромагнитной съемки.

Выполнено изучение геологического строения и инженерно-геологических условий массива грунтов дна. По результатам совместной интерпретации данных магнитометрии и сейсморазведки было обнаружено, что значительную часть исследуемой территории занимают погребенные палеоврезы, находящиеся в придонной части разреза. Палеоврезы мо-

гут быть заполнены грунтами, относящимися к категории «слабых», что должно учитываться при строительстве скважины. На исследуемом участке палеоврезы характеризуются «низкой» и «от низкой до средней» степенями риска.

По итогам анализа данных многолучевого эхолотирования и гидролокации было выполнено изучение состояния дна акватории, выделены потенциально опасные объекты, в том числе обнаружена законсервированная скважина, подтвержденная по магнитным данным в виде высокоамплитудной аномалии.

Выполненные работы позволили получить материалы, обеспечивающие безопасную постановку плавучих буровых установок на период бурения скважин, проектирования и строительства нефтегазопромысловых гидротехнических сооружений, подводных трубопроводов и последующего мониторинга морских трасс и нефтепромыслов.

### Библиографический список

1. СП 11-114-2004 Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений. М.: Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве (ФГУП «ПНИИИС») Госстроя России, 2004.
2. Блох Ю.А. Интерпретация магнитных и гравитационных аномалий. М., 2009. 230 с.



3. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка). Л.: Недра, 1981. 263 с.

4. Казанин Г.С., Казанин А.Г., Алёшкин М.В., Чешев В.Г., Култаев В.В., Сорокин А.С., Ланцев В.В., Степанов Н.А., Черников Д.И., Науменко Д.А. Технология комплексных инженерно-геофизических изысканий на арктическом шельфе. Сборник работ лауреатов международного

конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа. М., 2018. С. 39–41.

5. Семевский Р.Б., Аверкиев В.В., Яроцкий В.А. Специальная магнитометрия. СПб.: Наука, 2002. 232 с.

6. Скняря А.В. Гидролокация. М.: Изд-во МГУ, 2010. 120 с.

---

*Поступила в редакцию  
28.08.2020*