

УДК 551.311.8+551.214.8

ВОЗМОЖНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИДРОЛОКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АКВАТОРИИ ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

© 2016 г. В. И. Каевецер¹, Н. А. Римский-Корсаков², И. В. Смольянинов¹,
В. М. Разманов¹, А. П. Кривцов¹

¹Фрязинский Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

e-mail: ilia159@mail.ru

e-mail: nrk@ocean.ru

Поступила в редакцию 19.02.2015 г.

После доработки 29.04.2015 г.

Представлены результаты трехмерного акустического картирования морского дна в районе Таманского полуострова в Черном море с помощью интерферометрического гидролокатора бокового обзора и акустического профилографа. В процессе картирования выявлены подводные объекты, которые идентифицируются как проявления подводного грязевого вулканизма. Детальный анализ гидролокационных изображений рельефа и разрезов дна в районе объектов подтвердил первоначальную гипотезу.

DOI: 10.7868/S0030157416040055

ВВЕДЕНИЕ

Исследование рельефа морского дна и структуры донных отложений в прибрежной зоне планируемого строительства является основой для проектирования подводных сооружений. Для этих целей на этапе изысканий используется набор различных технических средств, причем для высокопроизводительных панорамных съемок применяются гидролокаторы бокового обзора (ГБО), для картирования глубин многолучевые эхолоты и для изучения строения осадочной толщи — акустические профилографы (АП) высокого разрешения.

Летом 2011 г. в районе Таманского полуострова Институтом радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН проводились испытания гидролокационного комплекса, состоящего из АП, имеющего полосу рабочих частот от 4 до 8 кГц и интерферометрического ГБО с рабочей частотой 240 кГц, с полосой частот 27 кГц и с линейно частотно модулированными (ЛЧМ) зондирующими сигналами. Комплекс разработан совместно с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН для исследования и картирования рельефа дна и верхнего слоя осадочных отложений на морском шельфе. Максимальная полоса обзора ГБО — 400 м и разрешающая способность — 5 см. Максимальная глубина зондирования АП — 50 м при разрешающей способности — 30 см. Комплекс предна-

значен для установки на малые суда для работы в прибрежной зоне. Акустические антенны разработанные в ИО РАН устанавливаются на легких забортных штангах, а электронная часть находится на борту судна.

Информация об извержении в августе 2011 г. Голубицкого грязевого вулкана, расположенного относительно близко от района подводной гидролокационной съемки, стимулировала проведение целенаправленного рассмотрения архивных материалов для обнаружения признаков подводного грязевого вулканизма в районе проведенных съемок. Обнадеживало то, что как наземные, так и подводные грязевые вулканы редко бывают одиночными; чаще они группируются в некие провинции разных размеров, и Таманский полуостров относится к одной из них [3].

ОПИСАНИЕ ГИДРОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ТРЕХ КООРДИНАТНОГО КАРТИРОВАНИЯ ДНА

На рис. 1 представлена структурная схема гидролокационного комплекса, применявшегося для трехмерного картирования дна. В его состав входят:

1. Приемно-передающая антенна акустического профилографа.

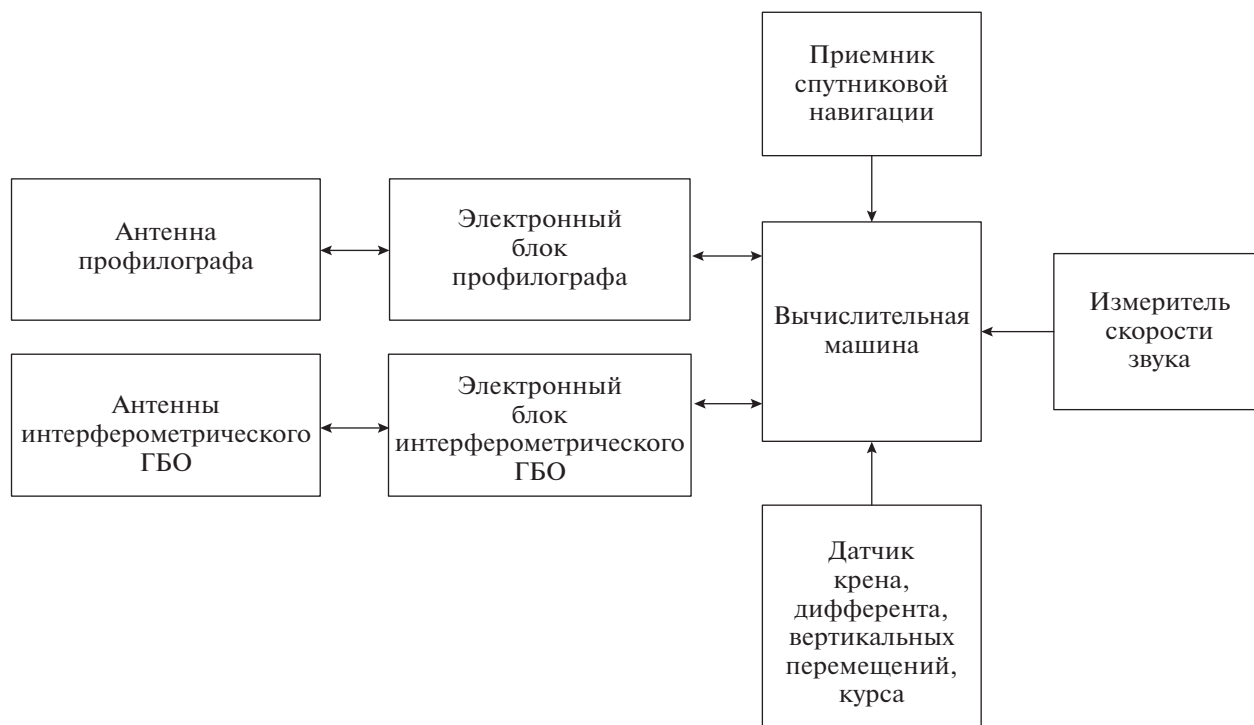


Рис. 1. Структурная схема гидролокационного комплекса с ЛЧМ зондирующими сигналами и когерентной обработкой эхосигналов.

2. Электронный блок профилографа, состоящий из цифрового синтезатора ЛЧМ зондирующих посылок с программируемыми параметрами, усилителя мощности, приемника эхосигналов с преобразователем в цифровую форму.

3. Антенны интерферометрического ГБО, состоящие из двух приемопередающих антенн ГБО правого и левого борта и шести приемных антенн интерферометров.

4. Электронный блок интерферометрического ГБО, состоящий из цифрового синтезатора ЛЧМ зондирующих посылок с программируемыми параметрами, двух усилителей мощности, шестиканального приемника эхосигналов с преобразователем в цифровую форму.

5. ПЭВМ, осуществляющая управление и сбор данных интерферометрического ГБО, профилографа и навигационных датчиков.

6. Дифференциальный приемник спутниковой навигации, и датчики крена, дифферента, вертикальных перемещений и курса для обеспечения картографической точности измерений.

7. Измеритель скорости звука в воде.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Измерения проводились параллельными галсами в акватории Черного моря между мысом

Тузла и мысом Панагия. На рис. 2 представлена схема галсов в районе измерений.

Анализ изображений разрезов рыхлых отложений, полученных с помощью АП, показал, что в районе съемок донные отложения имеют явные следы сжатия. На рис. 3 приведены фрагменты изображений, на которых эти проявления в виде вертикальных структур наиболее наглядны. Первое вступление эхосигнала относится к границе воды и поверхности дна, при плавном изменении глубины явно просматриваются возвышения, под которыми можно наблюдать разрывы слоев и нерегулярную структуру отложений. Эти объекты были пронумерованы и нанесены на рис. 2. Географические координаты объектов приведены в таблице. По приведенным признакам, по крайней мере, часть обнаруженных объектов можно отнести к проявлениям подводного грязевого вулканизма. Для однозначного утверждения необходимы более детальные исследования, в том числе отбор и лабораторный анализ проб донного грунта. Желательны исследования потоков вещества на границе воды и грунта с помощью донных гидрохимических станций — лендеров.

Для интерпретации данных акустического зондирования с помощью АП может быть также использована информация о морфологии рельефа поверхности дна в районе исследований. Такая информация может быть получена с помощью

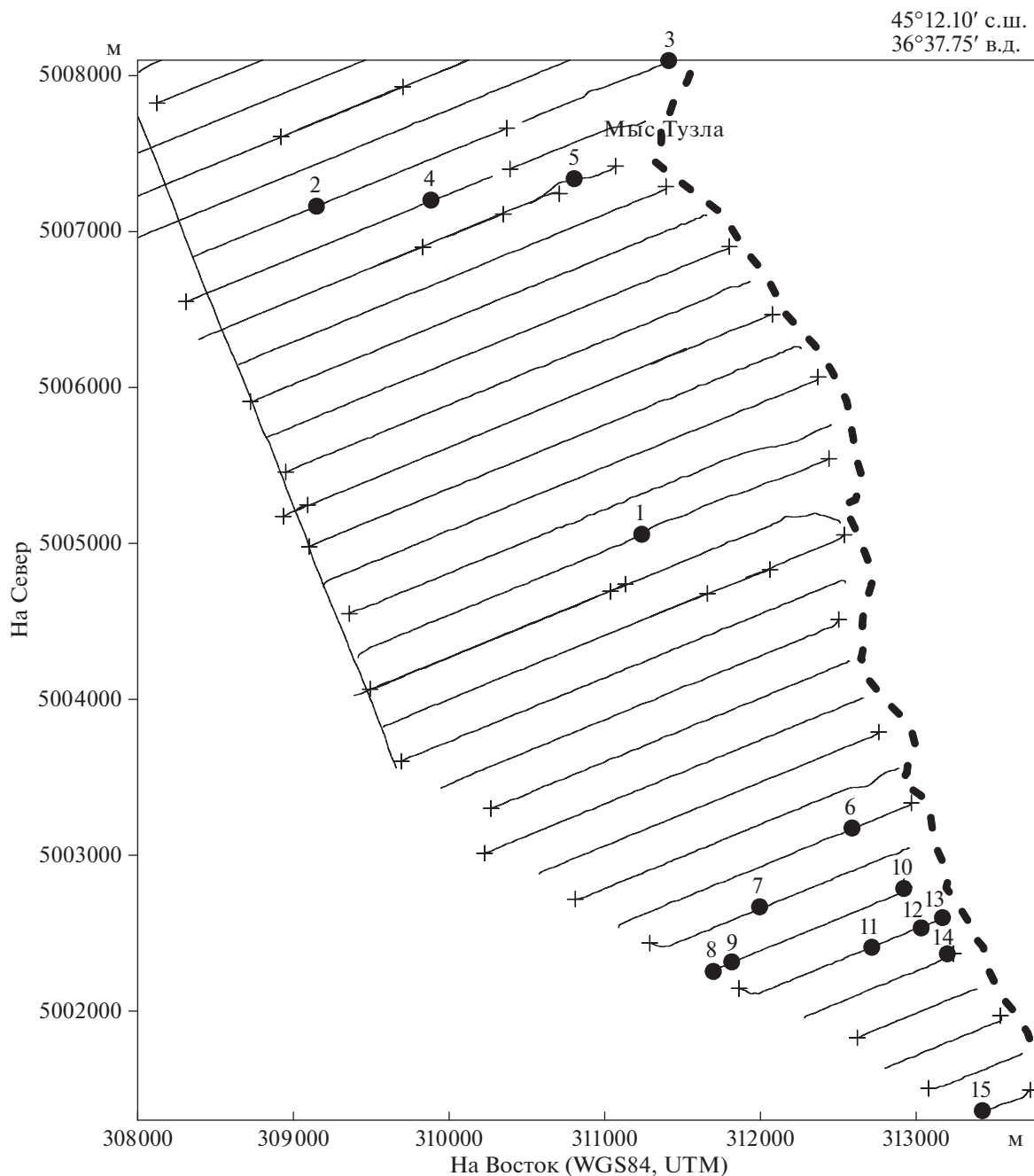


Рис. 2. Схема галсов в районе измерений. Тонкие линии – линии галсов, пунктиром показана береговая линия, точками нанесены обнаруженные объекты, пронумерованные в соответствии с таблицей. В правом верхнем углу приведены географические координаты этого угла карты, а по осям координаты в проекции UTM в метрах.

панорамных систем картографирования, таких как многолучевые эхолоты и интерферометрические гидролокаторы бокового обзора, предназначенных для исследования геоморфологии дна, поскольку позволяют одновременно получать двухмерные гидролокационные изображения поверхности и трехмерную батиметрию дна в широкой полосе съемки. В нашем случае были привлечены данные, полученные с помощью интерферометра

бокового обзора [1, 2]. Вычисления глубин на разных галсах приводились к прямоугольной сетке с шагом 5 м. Из общего массива данных о глубинах для отдельных отмеченных фрагментов профилирования выбирались соответствующие массивы глубин. В качестве примера на рис. 4 приведена батиметрическая карта с соответствующими записями ГБО и АП, полученные для района расположения объекта № 11.

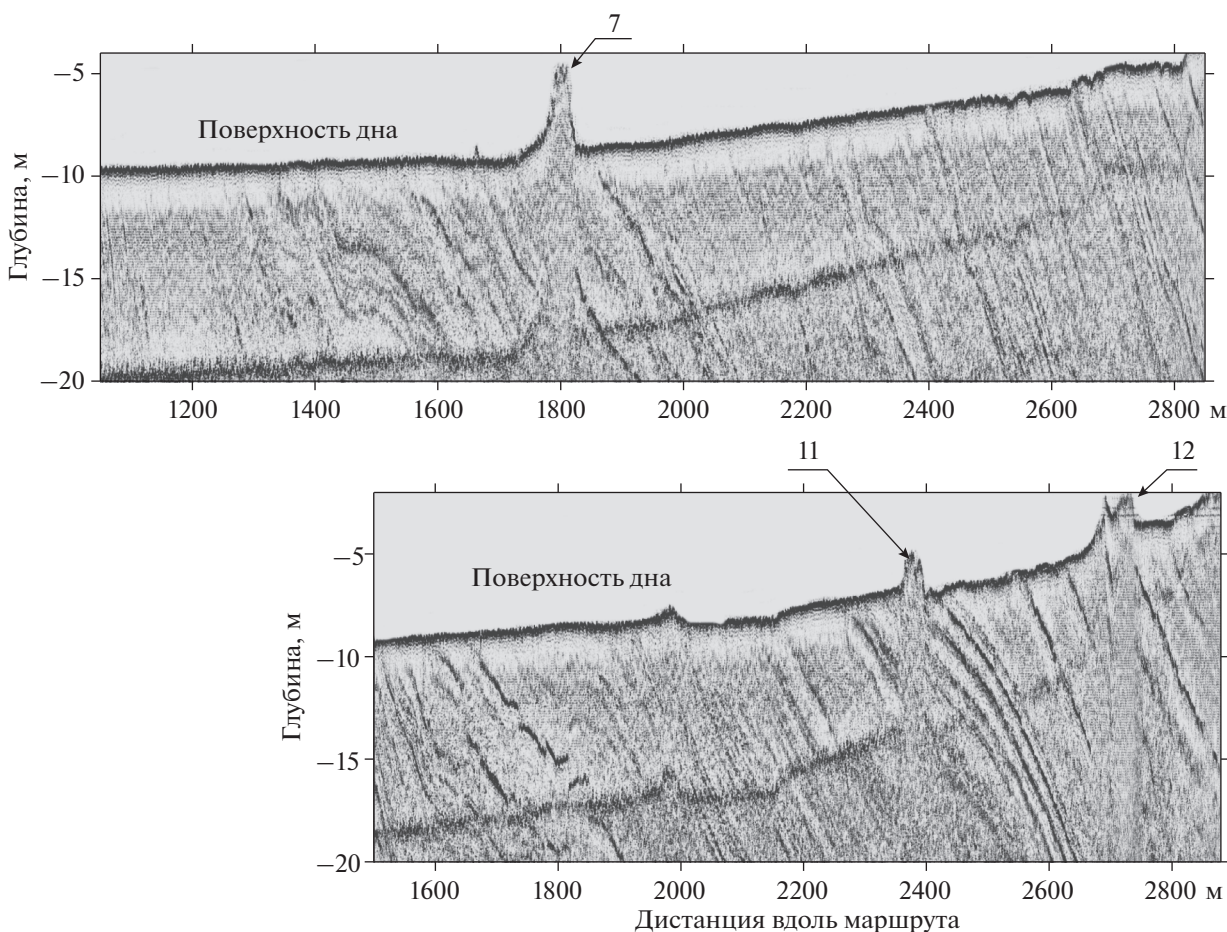


Рис. 3. Изображение разрезов рыхлых отложений, полученных с помощью акустического профилографа. Стрелками указано положение объектов № 7, № 11 и 12 (см. рис. 2). По осям отложены глубина и расстояние вдоль линии галса в метрах.

Приведенная батиметрическая карта показывает, что объект № 11 представляет собой подъем над относительно ровным окружающим участком дна. На соответствующем изображении разреза рыхлых отложений, полученном с помощью АП, хорошо видна складчатая структура поверхности дна, характерная для зон сжатия. Таким образом, с большой степенью вероятности можно утверждать, что зарегистрированный объект является грязевым вулканом.

На рис. 5 в качестве примера представлены экспериментальные результаты батиметрической съемки и акустического зондирования донных отложений в районе объекта № 7. Для большей наглядности внизу приведено гипсометрическое изображение рельефа морского дна в районе объекта.

Из приведенного примера видно, что акустическое зондирование не дает полного представления о структуре донных осадков по всей площади донной поверхности, а лишь вдоль галсов маршрута съемки. Трехмерная съемка дна с использованием батиметрических систем и одновремен-

ная гидролокационная съемка с помощью ГБО дают более полную картину, поскольку осуществляются без пропусков объектов. Совместный ана-

Таблица координат объектов

№	Долгота Градусы:Минуты	Широта Градусы:Минуты
1	36:035.86	45:010.42
2	36:034.22	45:011.52
3	36:035.92	45:012.06
4	36:034.78	45:011.56
5	36:035.48	45:011.64
6	36:036.93	45:009.43
7	36:036.49	45:009.14
8	36:036.27	45:008.91
9	36:036.36	45:008.95
10	36:037.19	45:009.22
11	36:037.05	45:009.01
12	36:037.29	45:009.09
13	36:037.39	45:009.12
14	36:037.42	45:009.00
15	36:037.61	45:008.46

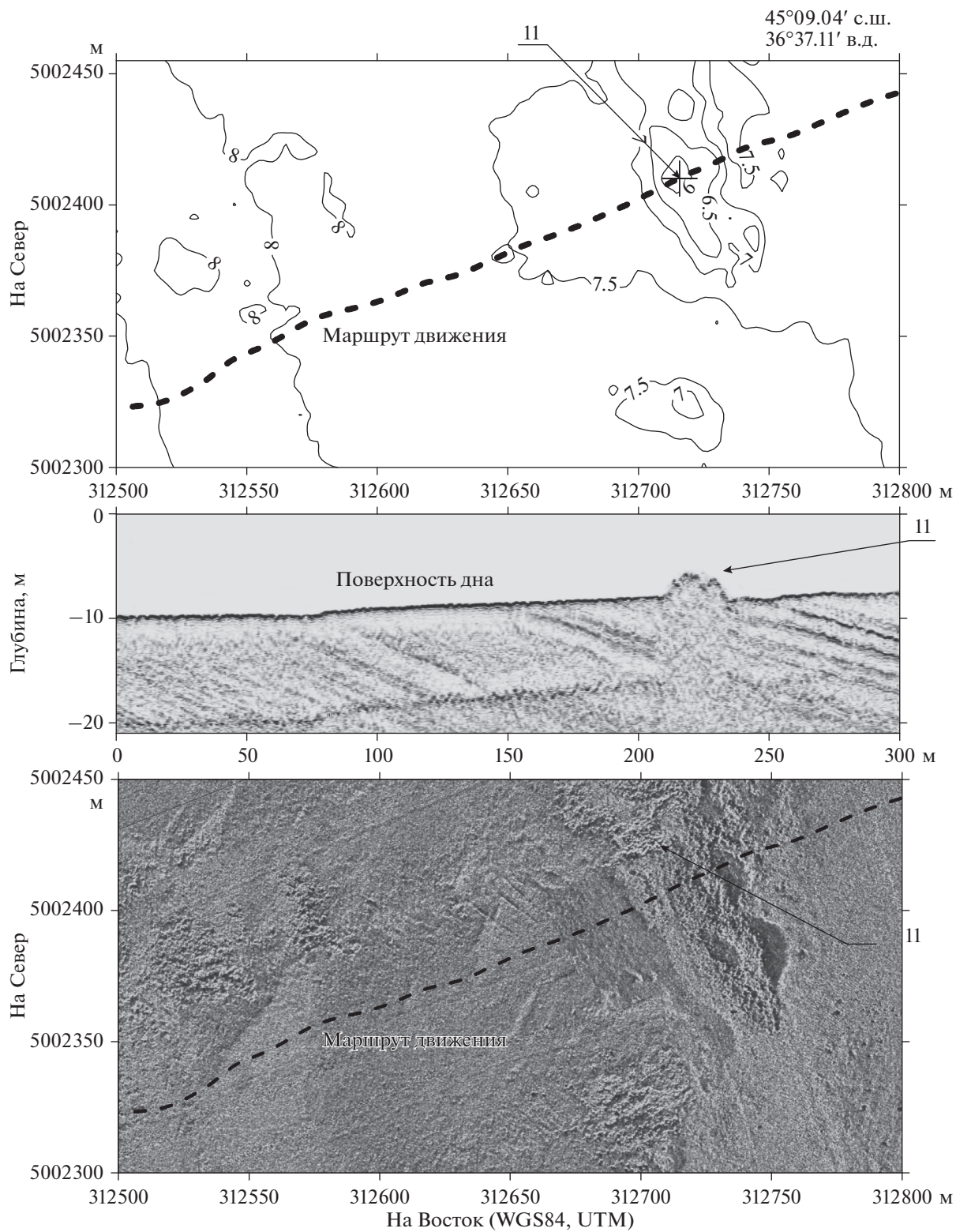


Рис. 4. Батиметрическая карта (вверху), гидролокационное изображение поверхности дна (внизу) и разрез донных отложений, полученный с помощью акустического профилографа (по середине) в районе объекта № 11. Стрелкой указано положение объекта, пунктирной линией линия галса маршрута движения. В правом верхнем углу приведены географические координаты этого угла карты, а по осям – глубина места (по середине) и координаты в проекции UTM в метрах.

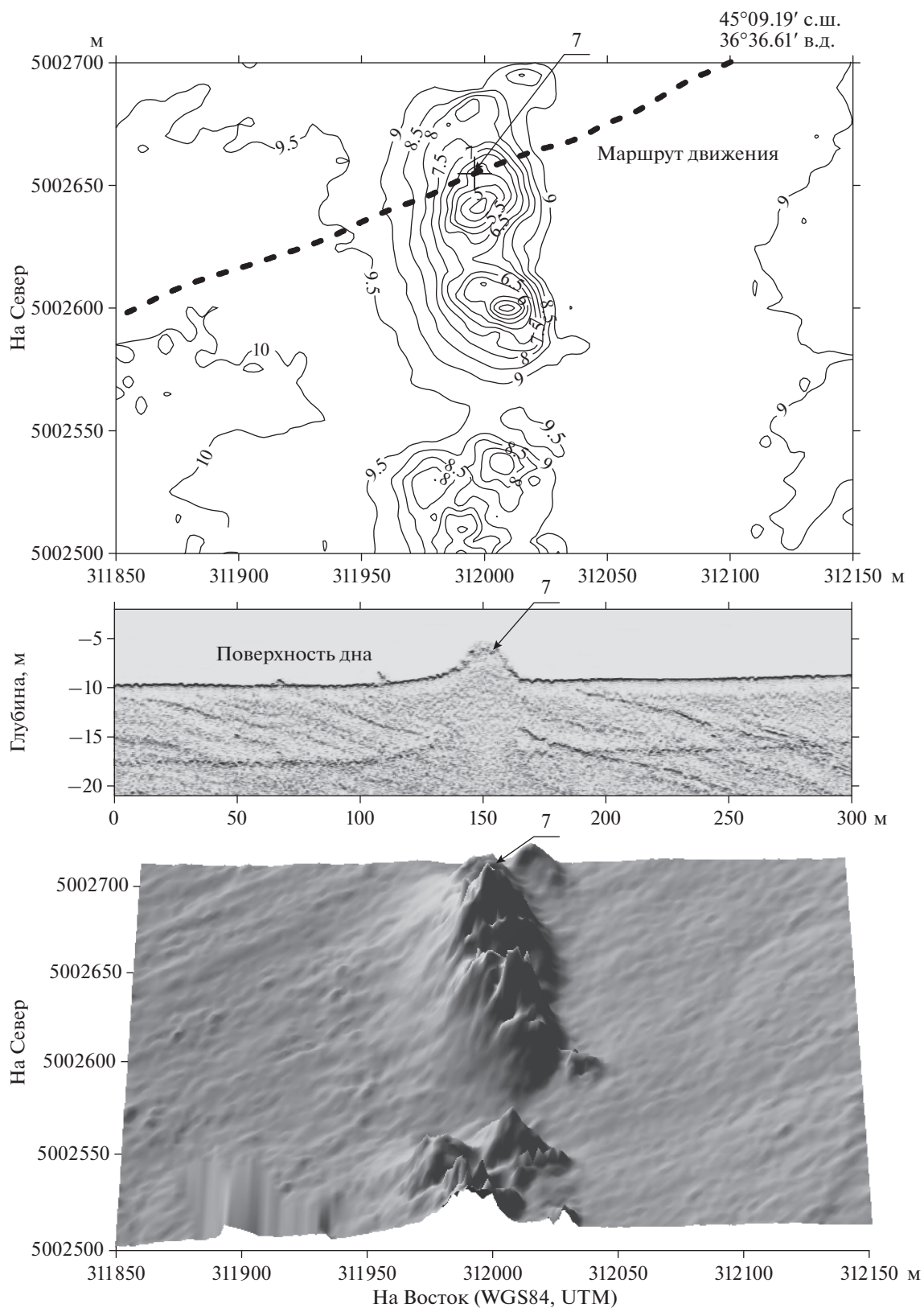


Рис. 5. Батиметрическая карта (вверху), 3-D (гипсометрическое) изображение поверхности дна (внизу) и разрез донных отложений, полученный с помощью акустического профилографа (по середине) в районе объекта № 7. Стрелкой указано положение объекта № 7, пунктиром линия галса. В правом верхнем углу приведены географические координаты этого угла карты, а по осям координаты в проекции UTM в метрах.

лиз измерений и изображений дает более полную картину морфологии дна. Так, на рис. 5 видно что объект № 7 относится к группе возвышений в зоне сжатия, которую можно считать проявлением грязевого вулканизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая полученные результаты гидролокационного обследования морского дна в прибрежном районе Таманского полуострова между м. Тузла и м. Панагия можно отметить, что в структуре донных отложений и рельефе дна можно выделить ряд объектов, имеющих характерные признаки грязевых вулканов. Это нахождение объектов в зоне сжатия, наличие конусообразных поднятий над окружающей равниной, разрывы подповерхностных структур, заполненных неоднородной массой, с хорошими рефлекторами — по-видимому газовыми включениями. С учетом того, что обследованный район находится в Таманской грязевулканической провинции, основную часть обнаруженных объектов можно отнести к подводным грязевым вулканам. Уточнение

может быть получено при дополнительном геологическом обследовании отмеченных объектов.

Следует отметить, что район Керченского пролива является зоной активного строительства прибрежных сооружений и подводных объектов различного назначения. Для учета возможных рисков из-за появления подводных грязевых извержений, подобных извержению Голубицкого вулкана, технические средства и методики, описанные в данной работе, могут быть успешно применены в зонах предполагаемого строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каевитсер В.И., Разманов В.М., Кривцов А.П. и др.* Дистанционное зондирование морского дна акустическими сигналами с линейной частотной модуляцией // Радиотехника. 2008. № 8. С. 35–42.
2. *Каевитсер В.И., Разманов В.М.* Дистанционное зондирование морского дна гидролокационными системами со сложными сигналами // УФН. 2009. № 2. С. 218–224.
3. *Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И. и др.* Грязевые вулканы Керченско-Таманской области // Атлас. Киев: Наукова думка, 1986. 152 с.

Possible Manifestations of Underwater Mud Volcanoes Based on the Sonar Investigations in the Taman Peninsula Region

V. I. Kaevitser, N. A. Rimski-Korsakov, I. V. Smolyaninov, V. M. Razmanov, A. P. Krivtsov

The results of the three-dimensional acoustic seabed mapping in the region of the Taman peninsula in the Black Sea using interferometric side-scan sonar and acoustic profiler are presented. The mapping revealed underwater objects that are identified as a manifestation of the underwater mud volcanism. Detailed analysis of the bottom topography and sub bottom profiles in the region confirmed the initial hypothesis.