

УДК 551.214+551.311.8

ПОДВОДНЫЙ ГРЯЗЕВОЙ ВУЛКАНИЗМ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА

© А.И. Гончар¹, И.Н. Писанко¹, Л.Е. Собисевич², А.Л. Собисевич², Е.Ф. Шнюков³, 2004

¹ Научно-технический центр панорамных акустических систем НАН Украины, г. Запорожье

² Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, г. Москва

³ Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины, г. Киев

Підводний грязьовий вулканізм представлено на дні Чорного моря численними активно функціонуючими утвореннями декількох типів. Грязьові вулкани у глибоководній улоговині Чорного моря були відкриті та цілеспрямовано досліджуються лише з кінця 80-х років минулого століття. Тут зустрічаються структури правильної конічної форми, грязьові вулкани зі структурами обвалення по системі концентричних скидань; має місце й „барбадоський тип”, у ряді випадків вдається спостерігати й тріщинні виливи сопкової грязьобрекчії. Наведені у цій роботі дані базуються в основному на результатах, отриманих російськими та українськими вченими наприкінці ХХ, початку ХХІ століття.

Подводный грязевой вулканизм представлен на дне Черного моря многочисленными активно функционирующими образованиями нескольких типов. Грязевые вулканы в глубоководной котловине Черного моря были открыты и целенаправленно исследуются лишь с конца 80-х гг. прошлого столетия. Здесь встречаются структуры правильной конической формы, грязевые вулканы со структурами обрушения по системе концентрических сбросов; имеет место и «барбадосский тип», в ряде случаев удается наблюдать и трещинные излияния сопочной грязьобрекчии. Приведенные в настоящей работе данные базируются в основном на результатах, полученных российскими и украинскими учеными в конце ХХ, начале ХХІ века.

The underwater mud volcanism is presented on the Black Sea bottom by numerous actively functioning formations of several types. The mud volcanoes were discovered in a deep-water depression of the Black Sea and investigated purposefully only since the late eighties of the last century. Structures with regular conic form, the mud volcanoes with structures of caving over the system of concentric downfaults are occurred here. The “Barbadian type” also has a place. One can get observing interstitial effusions of volcanic mud and breccia in some cases. Presented in this work data are mainly based on the results obtained by Russian and Ukrainian scientists at the end of XX and at the beginning of XXI century.

Проблема исследования подводного грязевого вулканизма в Черном море, на Каспии и в других водных бассейнах тесно связана с добычей сырьевых ресурсов. В районах шельфа грязевые вулканы являются поисковым признаком при разведке нефтяных и газовых месторождений. По мере роста глубин нефтегазразведки и нефтедобычи растет и интерес к глубоководным проявлениям грязевого вулканизма. В данной работе описываются несколько типов активно функционирующих образований, представляющих проявления подводного грязевого вулканизма на дне Черного моря.

1. Грязевой вулканизм в прогибе Сорокина.

Чрезвычайно интересным районом развития грязевого вулканизма является впадина Сорокина [1, 2], в пределах которой установлено 16 грязевых вулканов, а по другим данным - даже 26 [3]. Прогиб Сорокина занимает нижнюю часть Крымского континентального склона и прилегающее континентальное подножие. Прогиб простирается с юго-запада на северо-восток и имеет длину около 150 км при ширине около 50 км. На северо-востоке прогиб Сорокина смыкается с Керченско-Таманским поперечным прогибом.

Форма сводов диапировых гряд прогиба Сорокина чрезвычайно сложна. Помимо того, что их поверхности испытывают крупномасштабные ундуляции вдоль простирания гряд, они осложнены структурами третьего порядка, представленными как более мелкими диапирами, так и грязевыми вулканами. В этом отношении они очень схожи со складками Таманского полуострова. Диапиры самого высокого порядка имеют видимое сечение 300-500 м и

высоту до 300 м (при прийнятій середній швидкості еластичних хвиль в осадах 2000 м/с). Грязеві вулкани проявляються або в вигляді вузьких (300-400 м) зон втрати кореляції сейсмічних хвиль в разі, якщо вони піднімаються до дна моря зі схилів діапірових гряд, або в вигляді відносно більш широких зон хаотичної сейсмічної записи там, де вони розташовані на сводах гряд, майже доходять до поверхні дна. Більшість грязевих вулканів виявлено на схилах гряд.

В ході проведених ученими МГУ досліджень на ехограмах гідролокатора бічного огляду МАК-1М було виявлено 16 вірогідних грязевих вулканів, 10 з яких доведено результатами відбору донних проб. Один з них (грязевий вулкан Казакова), знаходячись за межами мозаїки ехограм, був раніше зафіксований на сейсмічному профілі методу загальної глибинної точки (МОГТ), виконаному НПО «Южморгеологія». Виявлені грязеві вулкани мають значно менші розміри, ніж аналогічні структури, відомі в центральній частині Чорноморської впадини. Морфологічно вони розділяються на чотири типи (рис. 1).

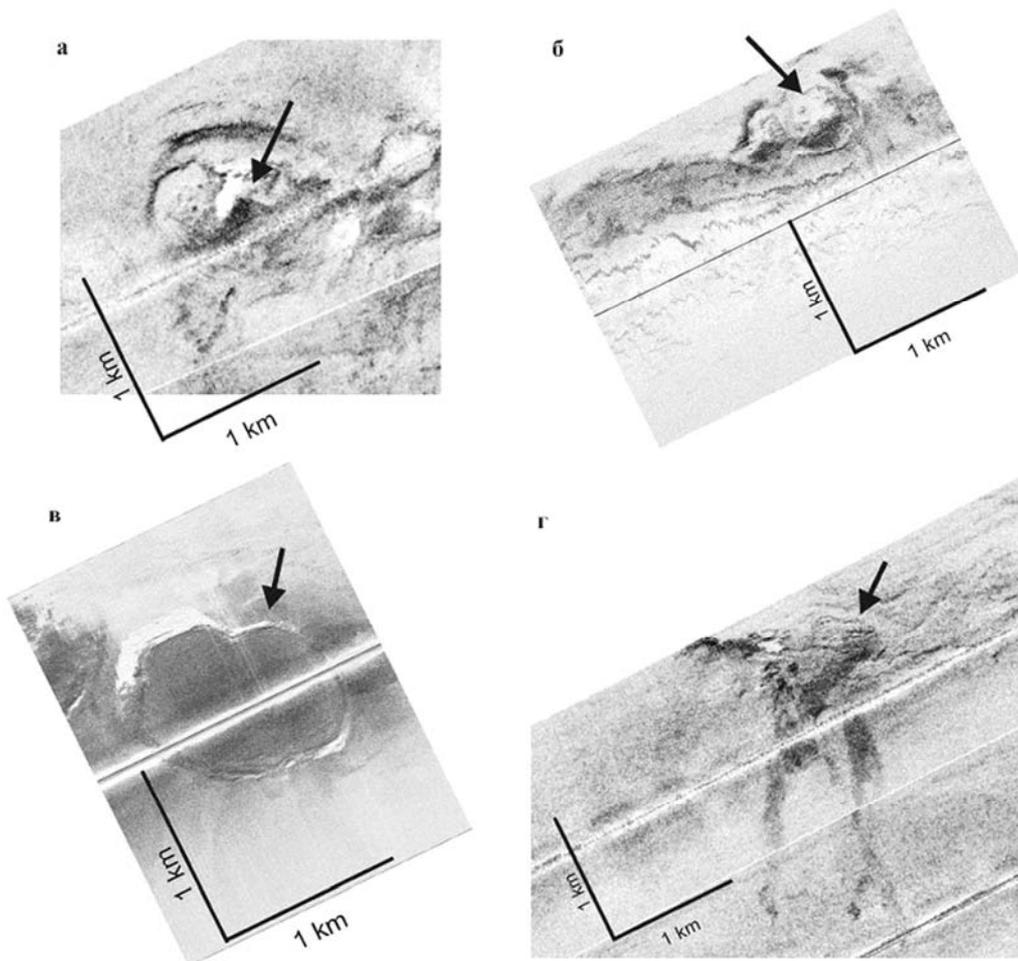


Рис. 1. Різні типи грязевих вулканів в прогибі Сорокіна, видимі на ехограмах ГБО МАК-1М. Грязеві вулкани позначені стрілками; ділянки високого зворотного розсіяння темні: а – тип 1, структури правильної конічної форми; б - тип 2, грязеві вулкани з структурами обрушення по системі концентричних сбросів; в - тип 3, «барбадосський тип»; г - тип 4, тріщинні виливання сопочної брекчії.

Перший тип грязевих вулканів в прогибі Сорокіна представлений досить правильними, округлими в плані і конічними в поперечному перерізі структурами з діаметром 700-800 м і висотою в десятки метрів (рис. 1а). Другий тип - це грязеві вулкани з чітко вираженими кальдерами обрушення по системі концентричних сбросів, мають різноманітну форму і діаметр до 1 км (рис. 1б). Третій тип представлений єдиним грязевим

вулканом (вулканом Двуреченського), який близько до вулканам «барбадосського типу», т.е. це структура з правильною округлою формою, абсолютно плоским сводом і сильно розжигненими продуктами изверження (рис. 1в). Його діаметр досягає 1100 м. К четвертому типу (рис. 1г) відносяться не власне грязеві вулкани, а трещинні излияння, виявлені в центральній частині досліджуваного району. Излияння сопочної брекчії походять по системі паралельних трещин, орієнтованих в широтному напрямку. Ширина потоків досягає 1,5 км, а довжина - 4 км. Потіки стекають вниз по регіональному схилу.

Подавляюче більшість грязевих вулканів прогиба Сорокіна активно в нинішнє час. На семи геологічних станціях з десяти, вскривших грязевулканічну брекчійу, остання залягає неопосередковано на дні моря. Почти всі керна з грязевих вулканів містять велике кількість газу; в п'яти з них виявлені газові гідрати.

Експедицією НАН України на судні «Професор Водяницький» літом 2002 г. детально досліджувався грязевий вулкан Двуреченського. Експедиції вдалося спостерігати два потужних газових фонтанів, приурочених до кальдери грязевого вулкана. Діаметр кожного з фонтанів до 400 м, вони піднімалися на висоту 850 м над рівнем дна при глибині моря близько 2000 м. Ні один з дослідників, раніше вивчавших вулкан Двуреченського, не повідомляє про існування потужних газових фонтанів. Європейська експедиція в травні 2003 г. (58-й рейс НИС «Професор Водяницький») не виявила фонтанів на грязевому вулкані Двуреченського. Експедиція Відділення морської геології і осадового рудоутворення (ОМГОР) НАН України в 59-м рейсі на НИС «Професор Водяницький» в липні 2003 г. знову спостерігала потужний газовий фонтан висотою близько 800 м на вулкані Двуреченського. Він був приурочений до тієї ж структури, але кілька зміщений по відношенню до точки виходу двох раніше спостережуваних фонтанів (рис. 2). Можливо передбачити, що грязевий вулкан Двуреченського відноситься до вулканів локбатанського типу [4] і пульсуюче викидає газові фонтани.

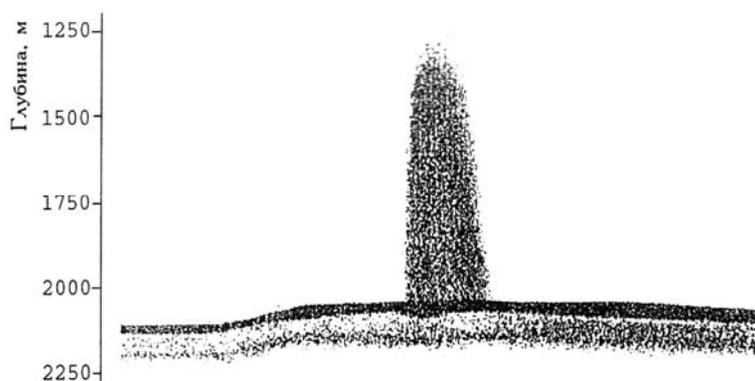


Рис. 2. Ехограма газового фонтану висотою близько 800 м (над рівнем морського дна) на грязевому вулкані Двуреченського (2003 г.). Матеріали 59-го рейсу НИС «Професор Водяницький».

2. Грязеві вулкани глибоководної котловини Чорного моря

Грязеві вулкани в глибоководній котловині Чорного моря були відкриті і цілеспрямовано досліджуються лише з кінця 80-х гг. ХХ століття [5, 6]. В 1991-1996 гг. вивчення грязевих вулканів центральної частини Чорного моря проводилося з борту НИС «Геленджик» в рамках міжнародної програми ЮНЕСКО. В ході цих робіт було відкрито 9 підводних і 7 погребених грязевих вулканів [7]. В результаті досліджень, проведених ученими МГУ при участі співробітників НІПІ «Океангеофізика» і ряду інших наукових організацій, в центральній частині Чорного моря був закартировано величезний ділянку дна з вулканічними спорудами і інтенсивними проявленнями грязевого вулканізму. Ділянку розташовано на південь від Кримського півострова на глибинах більше 2000 м і має площу близько 100 км². Благодаря геолого-геофізическим дослідженням, проведеним з використанням комплексу різних

ных геофизических и гидроакустических методов, этот район может считаться в настоящее время одним из наиболее изученных среди районов развития глубоководного грязевого вулканизма [8-11].

Параллельно с исследованиями, проводившимися НПО «Южморгеология», МГУ, ЮНЕСКО, Национальным Агентством морских исследований и технологий Украины, Отделением морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины выполнялись работы по изучению грязевых вулканов с борта НИС «Киев». Этим рейсам предшествовали экспедиции на судах «Ихтиандр» (1993) и «Профессор Водяницкий» (1994). Выполненные в 1994-1997 гг. семь рейсов на НИС «Киев» позволили выявить в западной части Черного моря новые грязевые вулканы и газовые факелы. Накопленный фонд достаточно достоверно установленных грязевых вулканов в глубоководной части Черного моря насчитывает до 25-30 морфоструктур, характеристики наиболее крупных из которых приведены в табл. 1 [12]. Кроме того, пять-шесть новых грязевых вулканов фиксируется по геоакустическим исследованиям системы «Бук» НИС «Киев» на северо-западе впадины.

Таблица 1 Крупные грязевые вулканы глубоководной части Черного моря

Вулканы	Координаты, в градусах		Глубина моря до вершины конуса, м	Высота конуса над дном, м	Размеры конуса в основании, км
	с.ш.	в.д.			
МГУ	43°53'	33°12'	2100	65	4x4
Южморгеология	43°53'	33°20'	2066	ПО	2,5x4
Малышева	43°63'	33°36'	2027	75	1,5x2,5
Корнева	43°72'	33°49'	1985	95	1x1
Гончарова	43°69'	33°66'	2010	120	1x1
Страхова	43°65'	33°88'	2140	20	0,5
Вассоевича	43°35'	33°45'	2156	40	1x1
Ковалевского	43°24'	33°70'	2140	40	2x2
Безымянный	43°26'	33°10'	2150	30-40	1,5
Григорьева	43°49'	32°38'	1825	30	2x2
Двуреченского	44°17'	34°58,7'	2066	40	2x1,4
Севастополь	44°17,8'	34°52,41'	2085	25	-
Ялта	44°17'	34°54,1'	2038	60	-
Одесса	44°23,3'	35°07,9'	1834	66	-

При всем разнообразии проявления грязевого вулканизма своего рода поисковым признаком может служить подводный рельеф, характеризующийся положительными, преимущественно пологими конусами, иногда локализованными в прогибах проседания. В этой связи любые конусовидные поднятия на плоском однообразном дне черноморских впадин представляют интерес. Высоты образованных вулканами холмов чаще всего не превышают 50, редко 100-110 м. Поэтому детальное изучение поверхности морского дна с использованием современных высокопроизводительных панорамных гидроакустических средств становится первоочередной задачей.

По архивным материалам гидрографической съемки ГУНИО МО России на карту глубоководной части Черного моря специалистами ОМГОР НАН Украины нанесены все более или менее заметные морфоструктуры - обособленные холмы, горы, а также горные цепи, подводные долины, подводные рвы как своего рода проявления молодой разломной тектоники. На основе этих материалов создана схема расположения напоминающих грязевые вулканы холмов, особенно конического облика (рис. 3). Существенным недостатком созданной

прогнозной карты грязевых вулканов Черного моря явилась несовершенная привязка намеченных объектов, что связано с трудностями первичной гидрографической съемки. Поэтому прогнозирование выявленного рельефа как потенциального грязевулканического носит предположительный характер, однако может быть базой для проведения первого этапа поисков грязевых вулканов.

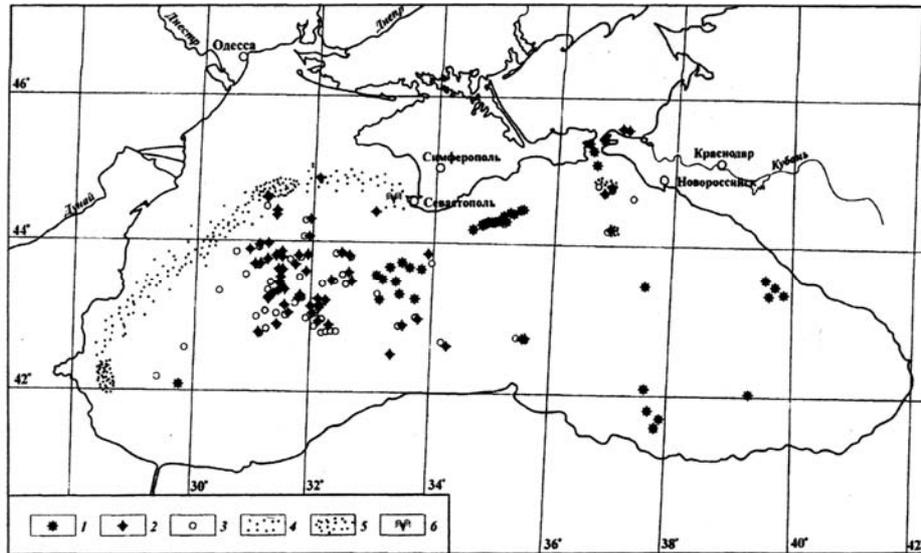


Рис. 3. Прогнозная карта грязевых вулканов Черного моря. Грязевые вулканы:

1 - описанные в литературе; 2 - новые находки грязевых вулканов и грязевулканических проявлений; 3 - прогнозируемые по материалам архивного поиска; 4 - выходы газовых факелов на морском дне; 5 - сгущение выходов газовых факелов на морском дне; 6 - выходы газовых факелов на кристаллических породах Ломоносовского подводного массива.

Часть работ по обследованию отдельных положительных форм дна была выполнена сейсмоакустическим комплексом «Бук», позволяющим получать сведения о строении верхних 50-80 м донных осадков. Исследования ученых ОМГОР НАН Украины охватывали район глубоководной части моря к западу от точек, выявленных специалистами НПО «Южморгеология» и МГУ, северо-западный бордерленд и внешний шельф. Многие из проверенных положительных форм на дне, зафиксированных в прогнозной карте, вероятно, могут быть отнесены к грязевулканическим объектам.

Ряд грязевулканических морфоструктур удалось выявить при сейсмоакустических исследованиях гидроакустическим комплексом «Бук» в западной части глубоководной впадины Черного моря (рис. 4).

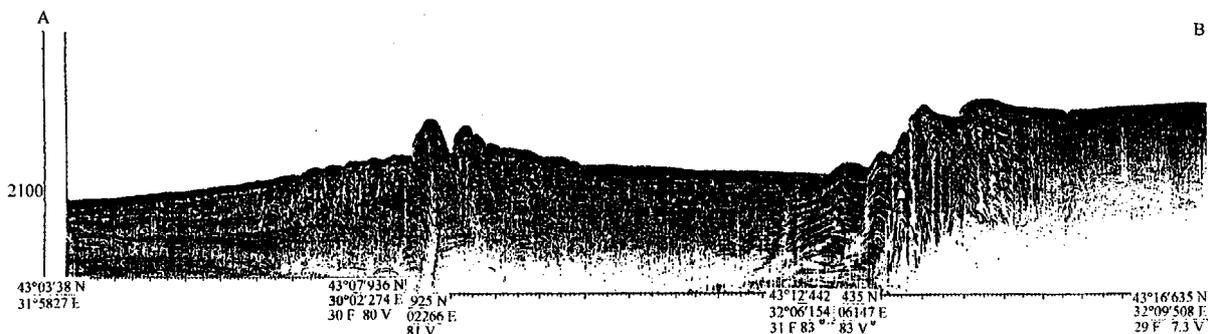


Рис. 4. Акустический профиль морского дна по линии А-В.

Снят с помощью гидроакустического комплекса «Бук» на НИС «Киев» (1999 г.) [13].

Так, на профиле между точками с координатами $43^{\circ}37,7'$ с.ш. $32^{\circ}02,27'$ в.д. и $43^{\circ}16,63'$ с.ш. $32^{\circ}09,51'$ в.д. на глубинах порядка 2100 м отрисовывается котловина, геологически сходная с котловиной Булганакского сопочного поля на Керченском полуострове. Впадина, имеющая просадочное происхождение, обрамлена системами разрывных нарушений по бортам и опущена метров на 30-40. В центральной части котловины на фоне общего пологого подъема возвышается два небольших конусовидных холма высотой до 20 м. В их осевой части - достаточно типичное разуплотнение, как бы показывающее направление движения сопочной брекчии из недр к поверхности. Представляется, что и по разрывным нарушениям прибортовой части также поступала брекчия. Газовые облака над вулканами не наблюдались. На других полученных сейсмоакустических профилях выявлено еще одно поле предполагаемых грязевых вулканов размерами до 4 км в диаметре (профиль в координатах $43^{\circ}17,7'$ с.ш. $31^{\circ}27,1'$ в.д. и $43^{\circ}37,91'$ с.ш. $31^{\circ}28,65'$ в.д.).

На бордерленде (профиль $44^{\circ}04'$ с.ш. $31^{\circ}56,8'$ в.д. и $44^{\circ}18,5'$ с.ш. $31^{\circ}58,1'$ в.д.) также обнаружено обширное грязевулканическое поле, фактически несколько грязевых вулканов. Глубины моря 1400-1500 м. На профиле длиной 36 км можно отчетливо наблюдать две крупные антиклинальные структуры размерами 5-6 км каждая. Фиксируются вторичные мелкие складки, разрывные нарушения, по которым к поверхности, образуя неправильные конусы, поднимается, очевидно, сопочная брекчия. Высота конусов - до 75-100 м.

Грязевулканические морфоструктуры найдены и на материковом склоне (единичный конус с координатами $44^{\circ}26,13'$ с.ш. $31^{\circ}21,57'$ в.д. при глубине моря 690-750 м), на шельфе (конус высотой до 80 м), на вершине антиклинальной складки (координаты $44^{\circ}36,86'$ с.ш. $31^{\circ}12,51'$ в.д. и $44^{\circ}37,01'$ с.ш. $31^{\circ}10,92'$ в.д.). Проверить результаты сейсмоакустических исследований опробованием донных отложений грунтовыми трубками и драгами пока не удалось, поэтому полученные сведения о грязевых вулканах приходится считать предположительными.

В процессе гидроакустических исследований была пересечена также зона диапировых структур, потенциально представляющих интерес для поисков грязевых вулканов (координаты профиля $43^{\circ}24,9'$ с.ш. $31^{\circ}27,7'$ в.д. и $43^{\circ}43,53'$ с.ш. $31^{\circ}29,03'$ в.д.). Здесь наблюдались четыре диапировые структуры, с резкими контактами прорывающихся и вмещающих толщ. В 20 милях к северу зафиксирован еще один район диапировых структур.

Изучение всего прогнозируемого фонда положительных форм на дне необходимо продолжить с применением тяжелых снарядов и современных панорамных гидроакустических средств с большой дальностью действия. По этой причине создание высокопроизводительных гидроакустических средств и методик для дистанционного исследования состояния дна и особенно физико-механических и акустических свойств грунта является весьма актуальным.

Существующая зависимость характера акустических эхо-сигналов от рельефа дна и свойств донных осадков позволяет поставить задачу определения закономерностей, связывающих акустические свойства осадков с их физико-механическими характеристиками [14]. Актуальность решения этой задачи диктуется простотой и экономичностью получения информации о структурно-литологических особенностях донных осадков. Перед геолокацией ставятся задачи оценки рельефа дна и картирования его поверхности; оценки стратификации донных осадков и построения геологического разреза; картирования кровли коренных пород; оценки литологии (физико-механических характеристик) донных осадков.

Оценка рельефа дна и картирование его поверхности могут производиться с помощью эхолотов и более производительных и информативных панорамных средств – гидроакустических комплексов бокового обзора (например, ГКБО-2000, рис. 5). Оценку стратификации донных осадков и построение геологического разреза позволяют осуществить технические средства, основанные на использовании низкочастотных сигналов и профилографов, а также специальных методов профилирования, способных измерять некоторые конкретные параметры морского дна, таких как сейсмический метод отраженных и метод преломленных

волн. Оценка литологии донных осадков с определенной вероятностью может осуществляться с помощью геолокаторов – технических систем, решающих на статистическом уровне задачи распознавания типов грунта, т.е. определения вероятности принадлежности полученных реализаций акустических портретов грунта дна к одному из классов состояний (типов) грунта [15].

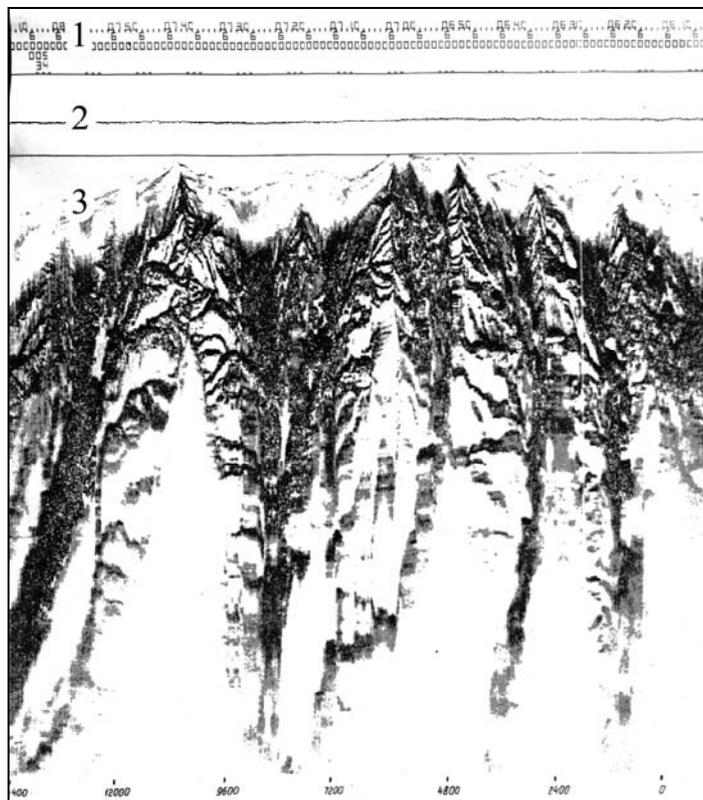


Рис. 5. Пример панорамной съемки ГКБО-2000 в районе Пицунды: 1 – время съемки и другая служебная информация, 2 – ход буксируемого носителя с антеннами гидролокатора, 3 – эхограмма участка дна, показывающая резкие изменения морфологических и литологических характеристик донной поверхности.

Вместе с тем сложные геологические особенности в районе вулканических построек и достаточно слабо выраженная акустическая контрастность полостей сложной формы затрудняют непрерывный сейсмический мониторинг. Для надежного активного мониторинга сложных вулканических структур необходимо создание специальных акустических источников, генерирующих интенсивные низкочастотные колебания, распространяющиеся на достаточно большие глубины и позволяющие оперативно изучать и контролировать резонансные особенности вулканических образований. Учитывая, что реальная геофизическая среда является своего рода «высокочастотным фильтром», эффективная реализация подобных генераторов в области высоких звуковых частот представляется проблематичной. В этой связи возникает необходимость развития специализированных геофизических технологий, использующих новые подходы и методики при решении задач активного мониторинга сложных структурных образований в наведенных акустических полях. При выборе различных методологических подходов к решению этой важной проблемы методы механико-математического моделирования могут оказаться в числе весьма перспективных, так как на их основе возможен предварительный теоретический анализ волновых процессов в сложных геофизических средах [16-18].

3. Геоморфология района развития грязевых вулканов

Сейсмоакустические исследования позволили выявить и охарактеризовать структуру района развития грязевых вулканов. На рис. 6А представлена карта расположения сейсмиче-

ских профилей, выполненных во время научно-исследовательских рейсов геологического факультета МГУ. Максимальная глубинность записи по разрезу не превышала 1,4 км с разрешением около 20 м. Расположение грязевых вулканов и других структурных особенностей этого участка дна показано на рис. 6Б.

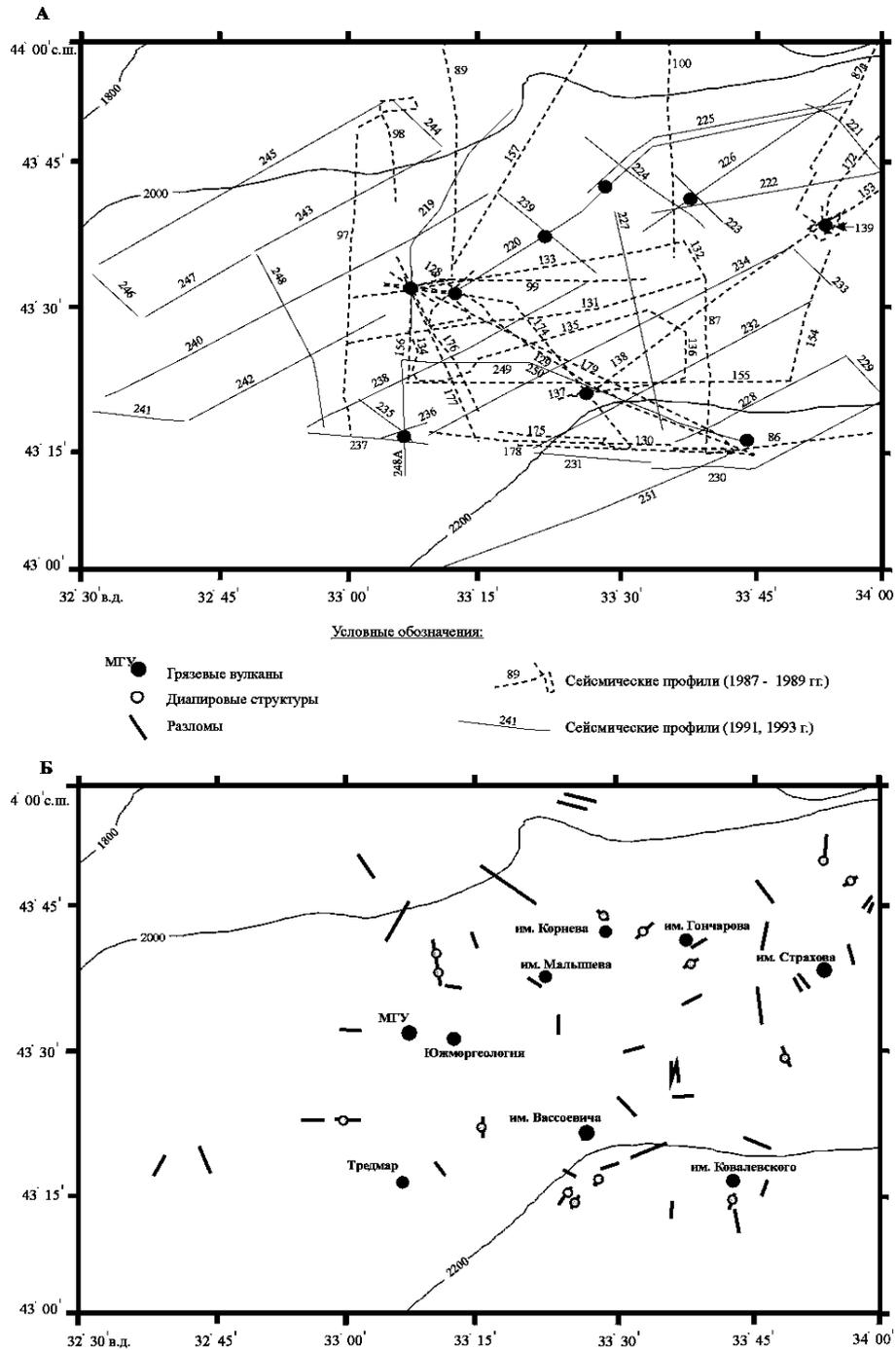


Рис. 6. Карта расположения сейсмических профилей (А) и местонахождение грязевых вулканов, диапировых структур и разрывных нарушений (Б).

В районе исследований осадочные образования залегают, как правило, без значительных нарушений. Лишь местами их залегание осложняется разрывными нарушениями, диапирами и подводными каналами грязевых вулканов. Выявленные по сейсмическим записям разрывные нарушения в большинстве своем характеризуются незначительной амплитудой, некоторые из них, по всей вероятности, выходят на поверхность морского дна. К таким отно-

сятся разломы (вероятно концентрические), обнаруженные вокруг грязевулканических построек. Кроме них обнаружены также линейные разломы с разнообразными простираниями. Интересная их особенность заключается в том, что большинство из них не выходят на поверхность, обрываясь на глубине 280-350 м ниже морского дна [10].

Осадочная толща в районе исследований нередко осложняется присутствием диапировых структур. На сейсмических профилях они хорошо видны за счет нарушения сплошности осадочной толщи на значительном интервале временного разреза и отличаются хаотическим типом записи или акустической прозрачностью.

Многие диапиры в исследованном районе перекрыты горизонтально залегающими осадками, но некоторые сминают вышележащие слои в пологие складки, разбитые разрывами. Над диапирами обычно наблюдаются сейсмические аномалии типа «яркого пятна», которые, скорее всего, указывают на насыщенность осадков газом [19, 20]. При анализе распространения диапировых структур, было обнаружено, что своды диапиров располагаются в определенных интервалах глубин от дна моря: большинство - 280-350 м, а некоторые - в интервале 490-550 м.

На сейсмических профилях все вулканы имеют характерное изображение и хорошо выделяются в рельефе морского дна (рис. 7). По данным глубинной сейсмологии НПО «Южморгеология» подводящие каналы вулканов обладают поперечными размерами от 1,5 до 3,5 км и прослеживаются, по крайней мере, на глубину 7-9 км.

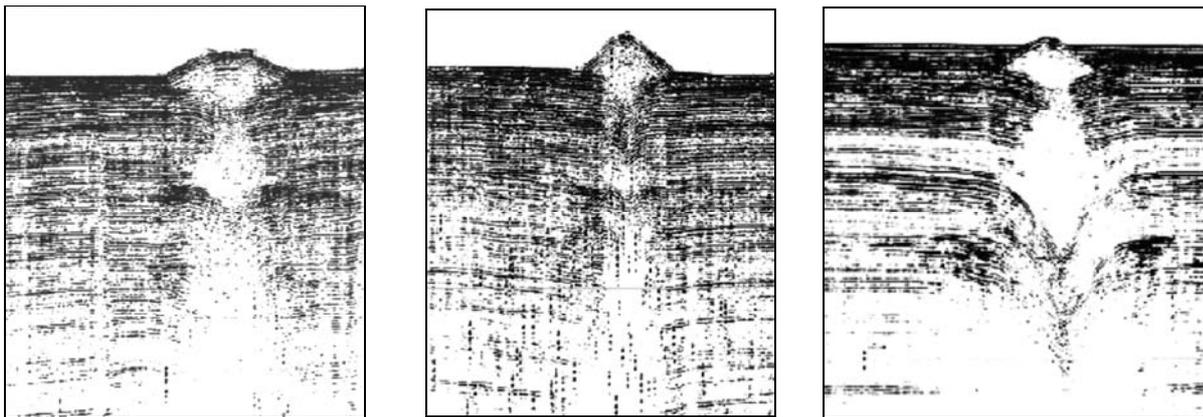


Рис. 7. Сейсмические записи грязевых вулканов МГУ (профиль ПР-173), Южморгеология (профиль ПР-173), Страхова (профиль ПР-172). Хорошо видна внутренняя структура подводящих каналов, для которой характерно наличие крупномасштабных неоднородных образований дилатантного типа.

Вулканы различаются по строению подводящих каналов. Большинство из них имеет столбообразный подводящий канал без каких-либо осложнений его формы; некоторые вулканы - МГУ, Страхова и Южморгеология - имеют такую же форму канала, но с некоторыми раздувами – «камерами» на глубинах около 70 и 280-350 м. Эти раздувы связаны либо с разными этапами активизации деятельности вулканов, либо с латеральным внедрением продуктов извержения во вмещающую толщу осадков [5].

Морфология грязевых вулканов исследовалась при помощи гидролокатора бокового обзора МАК-1 с профилографом, а также многолучевого эхолота. Форма и основные морфологические черты грязевулканических построек видны из трехмерных диаграмм рельефа дна (рис. 8). Вулканы имеют характерную конусовидную форму с относительно пологими склонами.

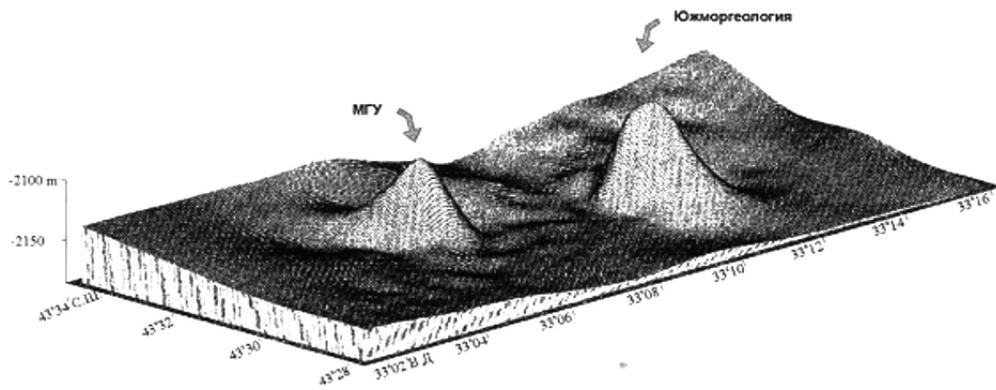


Рис. 8. Форма и основные морфологические черты грязевулканических построек

Положение района работ вблизи подножия континентального склона обуславливает сложную морфологию его северной части. Здесь широко развиты оползневые структуры, что создает сложную мезотопографию морского дна. В центральной и южной частях района следы оползания осадков отсутствуют. На эхограмме высокого разрешения (100 кГц) выявлены пересекающиеся линии, хорошо заметные вблизи вулканов МГУ и Южморгеология (рис. 9).

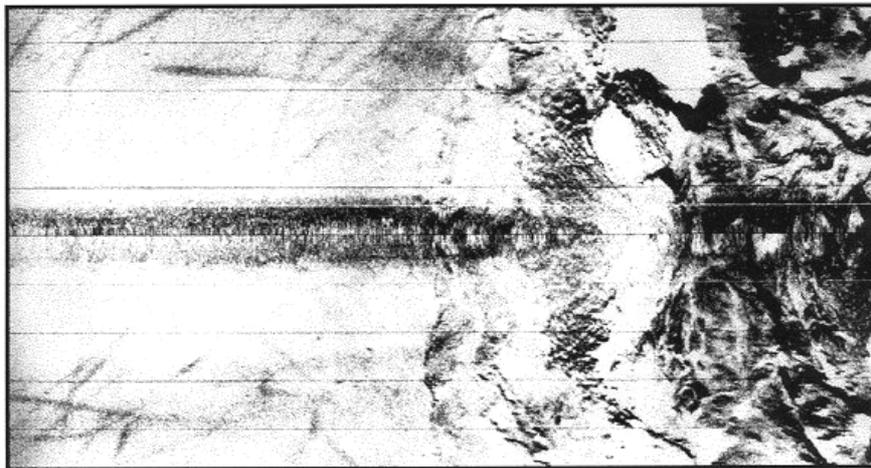


Рис. 9. Эхограмма морского дна возле грязевых вулканов МГУ и Южморгеология.

Эти полосы интерпретированы как мелкомасштабные разрывные нарушения в осадках, по которым на поверхность просачивается метан, что приводит к повышенному осаждению карбонатов. Кроме того, на записях профилографа МАК-1 с частотой 5,5 кГц видны локальные участки насыщения газом осадков на глубине 70-100 м ниже морского дна. По форме, размерам и морфологическим чертам грязевые вулканы центральной части Черного моря могут быть подразделены на три основных типа [10].

Первый тип. К этому типу вулканов относятся самые крупные вулканы - МГУ и Южморгеология.

Вулкан МГУ характеризуется правильной, конусовидной формой постройки. Высота вулкана достигает 80-90 м от уровня морского дна при диаметре кратера около 2,0 км. Постройка характеризуется относительно пологими склонами: обычно их крутизна составляет 2-3°, но в отдельных местах она достигает 6°. Грязевулканические потоки вулкана МГУ, видимые на эхограммах (рис. 10) отражают по крайней мере три разновозрастных извержения и простираются от центра кратера вулкана на расстояние около 2 км. К северу от вулкана находится структура, выраженная в рельефе в виде холма и отчетливо выделяющаяся на эхограмме МАК-1. Эта структура интерпретирована как молодой грифон, генетически связанный с очагом вулкана МГУ. Детальная съемка глубоководным акустическим комплексом

МАК-1 с частотой 100 кГц выявила сложное строение кратера вулкана. На эхограмме высокого разрешения (рис. 11) хорошо видно, что внутри основного кратера расположены два кратера меньшего диаметра (около 500 и 350 м), которые, вероятно, отвечают более молодым фазам извержения. Кроме того, вулкан осложнен нарушениями, неровностями, созданными застывшей плотной грязевулканической брекчией, и присутствием небольших грифонов.

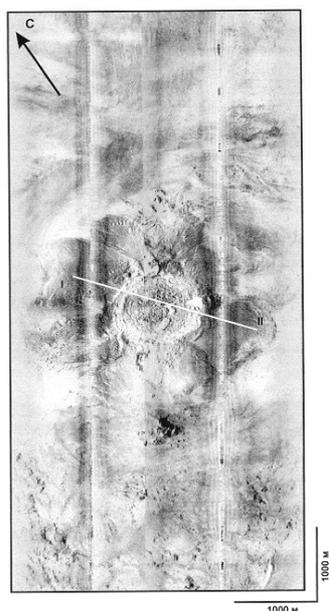


Рис. 10. Эхограмма вулкана МГУ.

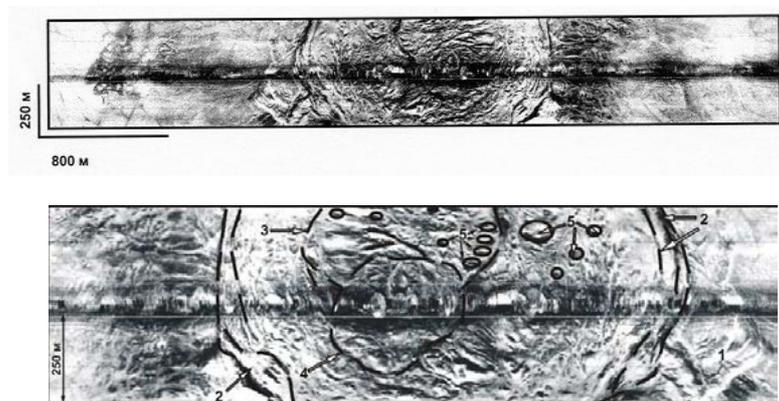


Рис. 11. Строение кратера вулкана МГУ:

- 1 - потоки грязевулканической брекчии,
- 2 - кольцевой вал главного, более древнего кратера,
- 3 - остатки кольцевого вала более молодого кратера, частично разрушенного извержением,
- 4 - кольцевой вал самого молодого кратера,
- 5 - кольцевые структуры (локальные грязевулканические постройки и места выхода газа на поверхность).

Вулкан Южморгеология по размерам (высота около 120 м, диаметр кратера около 2 км) сопоставим с вулканом МГУ, но по радиусу распределения потоков уступает ему. На эхограмме высокого разрешения (рис. 12) видно, что вулкан имеет асимметричное строение: восточный склон более пологий, чем западный. Это связано, вероятно, с тем, что грязевые потоки при извержениях распространялись, в основном, в восточном направлении. Более молодые генерации потоков (более темные участки эхограммы) распространялись в северо-восточном и юго-западном направлениях. Эхограмма демонстрирует также строение центральной части вулкана, где хорошо видна структура грязевулканического потока с характерными наплывами, повторяющими очертания потока.

Второй тип. К этому типу относятся вулканы Малышева, Корнева и, возможно, Страхова. Вулканические постройки этого типа характеризуются довольно крутыми, по сравнению с вулканами первого типа, склонами (4-5° вулкан Малышева и 10-11° вулкан Корнева) и выположенной вершиной конуса. Они имеют несколько меньшие размеры: диаметр около 1-1,5 км, высота - 40-60 м. Кратеры этих вулканов обычно плохо выражены. Кроме меньших размеров отличительной чертой этих вулканов является практически полное отсутствие мощных грязевулканических потоков (отмечены лишь узкие радиальные потоки в верхней части склона), что может указывать на начальный этап их развития.

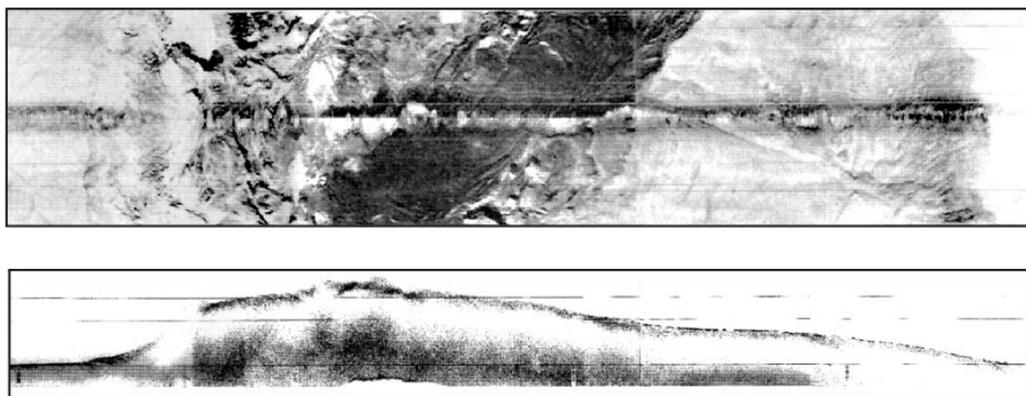


Рис. 12. Грязевой вулкан Южморгеология.

Третий тип. К этому типу относится вулкан Тредмар, который по своим морфологическим чертам резко отличается от всех остальных. Диаметр вулкана достигает 2 км при высоте 30-40 м. На поверхности морского дна вулкан выражается как отрицательная структура рельефа, окруженная по периферии кольцевым валом, что, по всей видимости, указывает на взрывной характер его извержения (рис. 13).

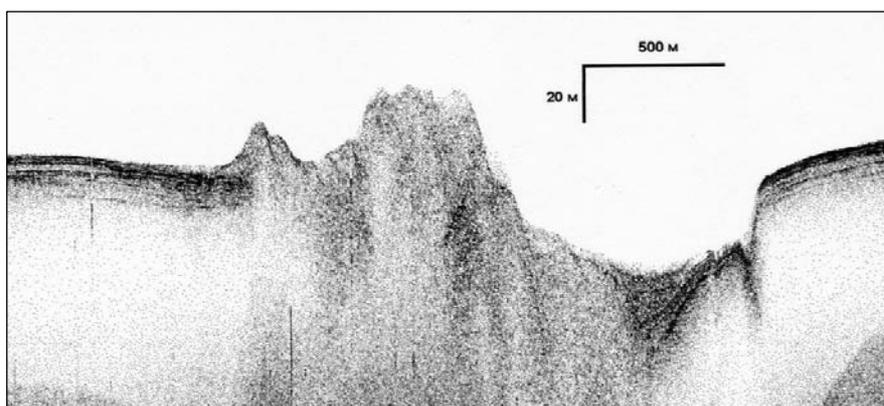


Рис. 13. Профилограмма вулкана Тредмар.

Примечательно, что северная и северо-восточная части вулкана обрушены и заполнены хорошо стратифицированными (по данным профилографа МАК-1) отложениями. Такое строение вулкана объясняется, вероятно, тем, что вынос вулканом материала из недр на поверхность компенсируется проседанием части вулканической постройки и прилегающих участков дна. При этом на месте проседания образуется депрессия, в которой происходит накопление чередующихся нормальных пелагических осадков и грязевулканической брекчии. Судя по своему строению и составу сопочной брекчии (сильно насыщенной газом), обнажающейся на морском дне, вулкан Тредмар, по всей вероятности, является активным в настоящее время.

4. Заключение

Исследованиями последних лет выявлено широкое развитие процессов грязевого вулканизма в пределах Черноморского региона. Установлено, что это явление широко распространено не только на Таманском и Керченском полуостровах, где грязевые вулканы достаточно хорошо изучены с точки зрения морфологии и характера деятельности, но и в пределах глубоководной котловины Черного моря, где оно было открыто сравнительно недавно, и где целенаправленное изучение грязевого вулканизма по существу только начинается.

Сопоставление данных по наземным и подводным грязевым вулканам Черноморского региона позволяет выявить многие сходные черты в строении грязевых вулканов и в составе поставляемых на поверхность или морское дно пород во всех изученных районах (Таманский

полуостров, прогиб Сорокина, центральная часть Черного моря). Это указывает на единую генетическую природу грязевого вулканизма и общность геологических процессов в осадочной толще, следствием которых является возникновение грязевулканической активности. Сравнительный анализ морфологических особенностей и строения грязевых вулканов дает основание полагать, что, несмотря на различие условий их формирования, они обладают целым рядом общих признаков. К числу таких общих черт относятся размеры и формы вулканических построек, а также их строение.

Размеры вулканических построек в Черном море варьируют в незначительных пределах. Подводные вулканы имеют средние размеры 1-2 км в поперечнике. В глубоководной котловине Черного моря их высота колеблется от 30-40 м (вулкан Тредмар) до 110 м (вулкан Южморгеология).

В глубоководной котловине Черного моря грязевулканические постройки имеют разную форму. Выявлены вулканы относительно небольшого размера в виде правильного конуса с довольно крутыми склонами (вулканы Малышева и Корнева) и вулканы большего размера в виде конуса с сильно усеченной вершиной и меньшей крутизной склонов (вулкан МГУ). Аналогичные формы подводных вулканических построек отмечались также и в других морских бассейнах (например, в Средиземном море). Различия в форме вулканов могут отражать разные стадии их развития и вариации состава продуктов извержения.

Практически все элементы строения, присущие наземным грязевым вулканам, обнаруживаются также у грязевых вулканов в глубоководной котловине Черного моря. Так, например, вулкан МГУ имеет четко выраженную постройку с кратером, который окружен кольцевым валом. На эхограмме хорошо видны небольшие структурные кольцевые формы, расположенные в пределах кратера. Эти формы могут быть интерпретированы как небольшие грифоны. В центральной части кратерной площадки вулкана МГУ расположены два не выраженных в рельефе кратера второго порядка. Вулкан Тредмар характеризуется обрушением части постройки и формированием компенсационной депрессии, которую можно рассматривать в качестве аналога компенсационных депрессий на вулканах Керченского полуострова. На эхограммах большинства подводных вулканов уверенно интерпретируются потоки грязевулканической брекчии разных генераций.

Изучение подводного грязевого вулканизма на шельфе и в глубоководных районах требует развития существующих и создания новых гидроакустических средств панорамного обследования морского дна. В обеспечение решения задач геологии и гидрографии совершенно необходимы полнофункциональные цифровые гидроакустические комплексы нового поколения [14, 15, 21], позволяющие проводить сбор и интегральную обработку данных профилографа (стратификация донных отложений), гидролокатора бокового обзора или многолучевого эхолота (определение морфологических и литологических особенностей донной поверхности). Комплексный характер настоящих и будущих исследований позволит существенно повысить эффективность работ по обнаружению новых грязевых вулканов и детальному обследованию грязевулканических провинций в Азово-Черноморском бассейне.

Литература

1. Иванов М.К. Фокусированные углеводородные потоки на глубоководных окраинах континентов: Автореф. докт. дисс. – МГУ, 1999. – 74 с.
2. Лимонов А.Ф., Козлова Е.В., Мейснер Л.Б. Структура верхней части осадочного чехла в прогибе Сорокина // Геология и полезные ископаемые Черного моря. – К.: ОМГОР НАН Украины, 1999. – с. 167-172.
3. Глебов А.Ю. Круглякова Р.П., Шельтинг С.К. Естественное выделение газов в Черном море // Разведка и охрана недр. – 2001. - № 8. – с. 19-23.

4. Калинин М.К. О механизме и условиях образования грязевых вулканов // Проблемы нефтяной геологии. – М.: Гостехиздат, 1960. – с. 83-90.
5. Иванов М.К., Конюхов А.И. Грязевые вулканы в глубоководной части Черного моря // Вестник МГУ, сер. геол., 1989, № 3, с. 21-31.
6. Конюхов А.И., Иванов М.К., Кульницкий Л.М. О грязевых вулканах и газогидратах в глубоководной впадине Черного моря // Литология и полезные ископаемые, 1990, № 3, с. 12-23.
7. Мейснер Л.Б., Туголесов Д.А., Хахалев Е.М. Западно-Черноморская грязевулканическая провинция // Океанология. – 1996. – Т. 35. - № 1. – с. 119-127.
8. Geological and geophysical investigations in the Mediterranean and Black seas. Ivanov M.K., Limonov A.F. and Woodside J.M. (Eds). Initial results of the "Training-Through-Research" cruise of RV "Gelendzhik" in the Eastern Mediterranean and Black seas (June-July, 1991) // UNESCO Reports in Marine Sciences, 1992, no. 56, 208 p.
9. Mud volcanism in the Mediterranean and Black seas and shallow structures of the Eratosthenes Seamount. Limonov A.F., Woodside J.M. Ivanov M.K. (Eds). Initial results of the geological and geophysical investigations during the Third UNESCO-ESF "Training-Through-Research" cruise of R/V "Gelendzhik" (June-July, 1993) // UNESCO Reports in Marine Sciences, 1994, no. 64, 173 p.
10. Ivanov M.K., Limonov A.F., van Weering Tj. C.E. Comparative characteristics of the Black Sea and Mediterranean Ridge mud volcanoes // Marine geology, 1996, v. 132, pp. 253-271.
11. Басов Е.И., Иванов М., К. Позднечетвертичный грязевой вулканизм в Черном море // Литология и полезные ископаемые, 1996, №2, с. 215-222.
12. Шнюков Е.Ф., Зиборов А.П. Минеральные богатства Черного моря. – К.: ОМГОР НАН Украины, 2004. – с. 70-81.
13. Шнюков Е.Ф. Грязевой вулканизм в Черном море // Геол. журн. – 1999. - № 2. – с. 38-47.
14. Гончар А.И., Голод О.С., Ключан Ю.А., Шлычек Л.И.. Теоретические основы создания панорамных гидроакустических систем. - НТЦ ПАС НАН Украины. Запорожье, 1999. - 290 с.
15. Гидроакустические методы и средства исследования дна Мирового океана. Под ред. А.И.Гончара. - НТЦ ПАС НАН Украины. - Запорожье, 2002. - 222 с.
16. Собисевич А.Л. Мониторинг слоистых неоднородных сред. - ОИФЗ РАН. М.: 2001. - 354 с.
17. Селезнев М.Г., Собисевич А.Л. Современные методы механико-математического моделирования геофизической среды. - ГНИЦ ПГК (МФ) Минобр. РФ. М.: 1996. – 100 с.
18. Ляпин А.А., Селезнев М.Г., Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л. Механико-математические модели в задачах активной сейсмологии. - ГНИЦ ПГК (МФ) Минобр. РФ. М.: 1999. – 294 с.
19. Bouriak S. Mud volcanoes of the deepest part of the Black Sea: some special structures connected with mud volcanism of the region. (According to seismic data of the cruises of 1991 and 1993). - In: Recent Marine Geological Research in the Mediterranean and Black Seas through the UNESCO/TREDMAR Programme and its "Floating University" Project, Abstracts, Free University, Amsterdam, 31 January - 4 February 1994. – MARINF/94, UNESCO, June 1994, p. 25.
20. Bouriak S. Black Sea deep water mud volcano area: seismic and acoustic images probably connected with gas charge: the evidence of gas responsibility for bright spots (data from the 1st and 3rd TTR cruises) - Abstracts, 3rd post-cruise meeting of UNESCO/TREDMAR "Floating University" Programme, Cardiff, 30 January - 3 February 1995, MARINF/99 UNESCO, 1995, pp. 2-3.
21. Проблемы, методы и средства исследований Мирового океана // Сб. докл. конф. - НТЦ ПАС НАН Украины. Запорожье, 2003. - 238 с.