

УДК 550.83(26)

Е.Ф. Шнюков¹, Т.С. Куковская¹, А.С. Кузнецов², В.В. Радчук³

¹ Государственное научное учреждение "Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины"

² Экспериментальное отделение Морского гидрофизического института НАН Украины

³ Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины

73-й РЕЙС НИС «ПРОФЕССОР ВОДЯНИЦКИЙ» В ЧЕРНОМ МОРЕ — ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ, ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплексные геолого-геохимические, гидроакустические и гидробиологические исследования в 73-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (7—17 августа 2013 г.) проводились в рамках целевых комплексных программ научных исследований НАН Украины «Комплексный мониторинг, оценка и прогнозирование динамики состояния морской среды и ресурсной базы Азово-Черноморского бассейна в условиях возрастающей антропогенной нагрузки и изменения климата», «Стратегические минеральные ресурсы Украины», а также ведомственных тем фундаментальных исследований НАН Украины: «Минералогия и минералообразующие процессы грязевого вулканизма Азово-Черноморского бассейна»; «Разработка критериев оценки чувствительности планктонных сообществ пелагиали к антропогенной нагрузке по характеристикам биофизических полей».

Программа работ включала изучение поверхностных проявлений дегазации, развития сульфидной минерализации и связанного с ними ресурсного потенциала геологическими, гидроакустическими методами и гидробиологические исследования в глубоководной зоне, на внешней границе шельфа и материковом склоне северо-западной части Черного моря.

В исследованиях приняли участие 27 ученых и специалистов (среди них 3 доктора и 12 кандидатов наук) из 8 институтов, учреждений и высших учебных заведений НАН Украины и МОН Украины: Государственного научного учреждения «Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины»

© Е.Ф. ШНЮКОВ, Т.С. КУКОВСКАЯ, А.С. КУЗНЕЦОВ, В.В. РАДЧУК, 2013

(г. Киев), Института биологии южных морей (г. Севастополь), Экспериментального отделения Морского гидрофизического института (пгт Кацивели, АРК), Института радиофизики и электроники (г. Харьков), Института телекоммуникаций и глобального информационного пространства (г. Киев), Института геофизики (г. Киев), Таврического национального университета им. В.И. Вернадского (г. Симферополь, АРК) и Национального горного университета (г. Днепропетровск). Экспедицию возглавлял академик НАН Украины Е.Ф. Шнюков.

Схема маршрута рейса приведена на рис. 1. За период экспедиционных работ судно прошло 1036,4 морских миль. Было отработано 6 полигонов и 1 специализированный маршрут. Выполнено 47 станций (в том числе одна методическая).

Геологические исследования проведены на 46 станциях, в том числе выполнены 16 пробоотборов прямооточной геологической трубкой и 30 — драгой (25 из которых были продуктивными).

По маршруту судна и на полигонах велись гидроакустические наблюдения с целью изучения распространения и интенсивности газоотдачи дна и грязевулканической деятельности, а также рельефа дна. Промерные работы выполнены на полигонах и по маршруту следования судна общей протяженностью 812 миль. Всего выполнено 27 рабочих галсов. Одновременно велась регистрация профилей силы объемного рассеяния низкого разрешения (эхограмм), а также профилей силы объемного рассеяния и электрических фазовых углов (между эхо-сигна-

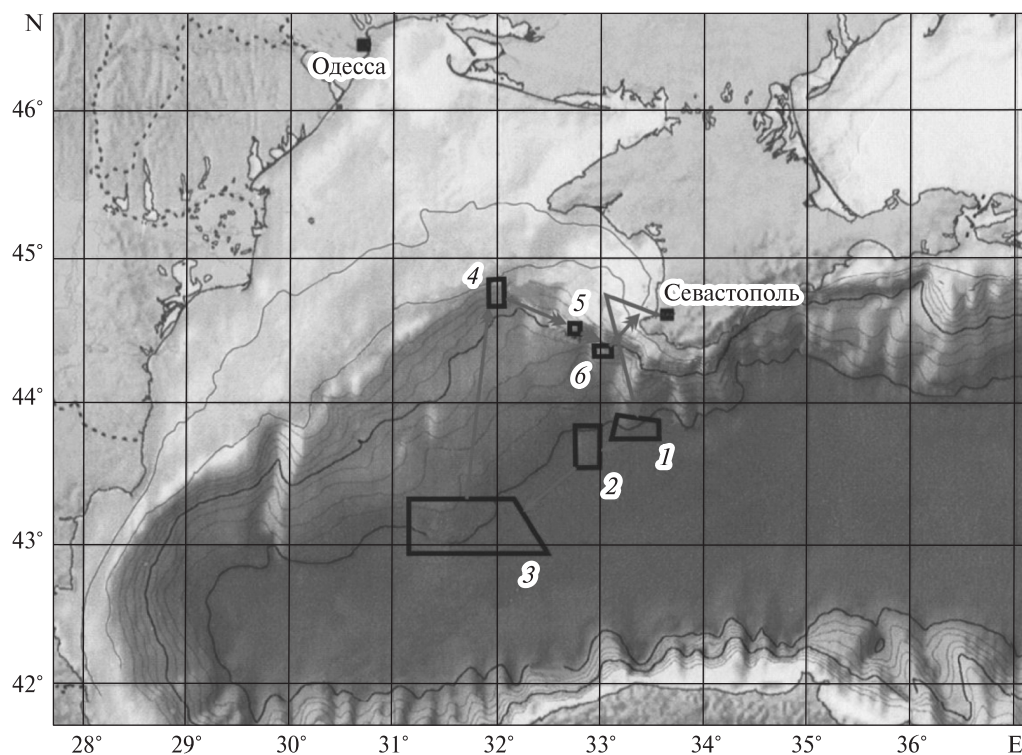


Рис. 1. Схема размещения научных полигонов в рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в Черном море (7–17 июня 2013 г.). Полигоны: 1 — «Грязевые вулканы»; 2 — «Сапропелевый»; 3 — «Кольцевая структура»; 4 — «Сульфидное поле № 1»; 5 — «Сульфидное поле № 2»; 6 — «ЛПЦ» (Ломоносовский подводный центр)

лами от сегментов антенны) высокого разрешения (до 5000 отсчетов с шагом квантования по глубине 10 см). Объем полученных данных составляет 12 Гб.

Гидробиологические и биофизические исследования выполнены в объеме:

- по сбору проб планктона — 18 станций (всего отобрано около 300 проб на разные виды анализа — фитопланктон, фитопланктон сетной, мезопланктон; на питание гребневика; макро и ихтиопланктон; хлорофилл а; поглощение света фитопланктоном; поглощение света окрашенным РОВ; измерения квантового выхода фотосинтеза; измерения прозрачности диском).

- биофизические — 6 станций, где были отобраны с разных глубин пробы: для определения концентрации пигментов — 55; для определения поглощения света фитопланктоном, взвешенным и окрашенным растворенным органическим веществом — 55; для определения видового состава и биомассы фитопланктона в зоне фотосинтеза — 12; а также выполнены 20 измерений показателей переменной флуоресценции для оценки квантовой эффективности фотосинтеза фитопланктона.

- внедрены в практику экспедиционных работ четыре судовые компьютерные программы «BIOPHYSWORLD» (БД по биофизическим параметрам среды), «MacroSeaMap» (БД по макропланктону), «HydrosourсeMap» (БД по гидрологии) и «NavigatorMap» (БД по картографии станций НИС «Профессор Водяницкий»).

Общая характеристика и предварительные результаты проведенных исследований

Непосредственно во время рейса проводились:

- поиск и геологическая оценка поверхностных проявлений дегазации (грязевые вулканы, газовые факелы, карбонатные новообразования, газонасыщенные илы);

- изучение рельефа дна с целью поиска новых диапировых структурных образований;

- геологические исследования, направленные на выявление и изучение развития сульфидной минерализации (площади распространения и вещественный состав);

- геологические исследования, направленные на получение новых и уточненных сведений о распределении и условиях залегания глубоководных органоминеральных осадков, в том числе сапропелевых илов;

- сбор информации о ходе проведения пробоотборных работ глубоководной драгой и прямоточной геологической трубкой для последующего усовершенствования грунтозаборного оборудования, исследование кинематики и динамики процесса глубоководного драгирования, а также отбор проб донных осадков, в т.ч. глубоководных органо-минеральных илов, и кристаллических пород для дальнейших лабораторных исследований;

- сезонный (летний) биоокеанографический мониторинг экологического состояния моря. Особенное внимание уделялось определению распределения концентрации хлорофилла а, биооптических характеристик, эффективности поглощения света, квантовой эффективности фотосинтеза и показателей продуктивности в зоне фотосинтеза в прибрежном и глубоководном районах моря;

- испытания новых гидробиологических приборов;

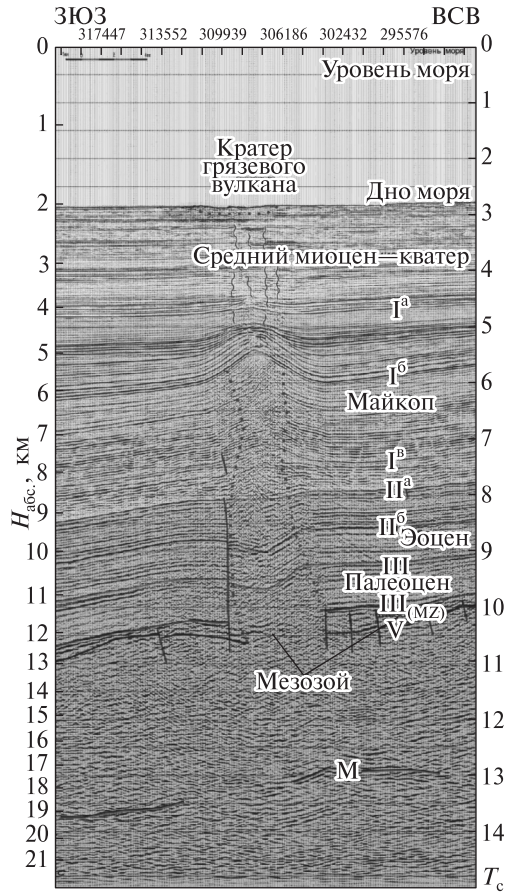
Рис. 2. Фрагмент регионального временного сейсмического разреза, характеризующий глубинную геологическую обстановку в зоне грязевого вулкана с координатами 43°39'56.5" и 33°9'17.5"

- работы, связанные с внедрением в практику экспедиционных исследований автоматизированных методов компьютерной обработки данных: гидрология, биофизика и макропланктон.

Необходимо подчеркнуть, что главная задача этого рейса — геологическая. Поэтому главными объектами исследований были: грязевые вулканы и другие поверхностные проявления дегазации в Черном море; черноморские глубоководные органо-минеральные осадки, в том числе сапропелевые илы; кристаллические породы Ломоносовского подводного массива.

Для поиска и изучения грязевых вулканов было выбрано 2 полигона. Один из них расположен на участке в центральной части Черного моря, к югу от Крымского полуострова на глубинах более 2000 м. Это обширный район дна (площадью около 100 км²) с грязевулканическими постройками (грязевые вулканы «МГУ», «Южморгео», «Трэдмар», грязевой вулкан Григорьева и др.) и интенсивными проявлениями грязевого вулканизма. Цель наших исследований заключалась в оценке глубины и уточнении времени заложения грязевых вулканов.

Показателен грязевой вулкан в точке с координатами 43°39'56,5" и 33°9'17,5" — условно названный Е.Ф. Шнюковым «Мантийный» [1]. Он обозначен на сейсмическом профиле Л.Б.Мейснера и Д.А.Туголесова [2] как погребенный грязевой вулкан и до сегодня не описан по своим выходам на дне. Углубленный анализ регионального сейсмического разреза (рис. 2) в варианте стратификации волнового поля М.С.Победаш (ГГП Укргеофизика, 2011) [1] показал, что вышеуказанный грязевой вулкан чрезвычайно интересен как своего рода флюидный плюм, пронизывающий почти 10-километровый осадочный покров — четвертично-миоценовую толщу (3 км), майкопские (5км), эоценовые (2км), палеоценовые (1,2 км) отложения, маломощные мезозойские отложения (0,25 — 0,75км) и далее углубляющийся в верхи фундамента, предположительно до поверхности Мохо [3]. Весьма возможно, что этот грязевой вулкан, равно как и другие аналогичные структуры, является, по выражению А.Н. Дмитриевского и Б.И. Валяева [4], «каналом вторжения углеводородов, ассоциирующихся с глубинными разломами или инъекционными зонами».



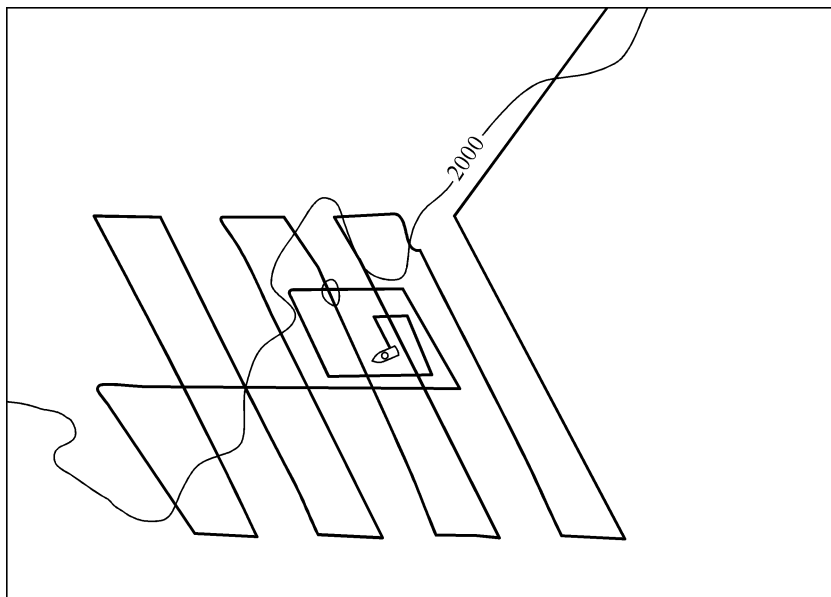


Рис. 3. Галсы промера на полигоне «Кольцевая морфоструктура»

Мысль о связи грязевых вулканов с мантией, глубокими горизонтами недр иногда высказывается специалистами, занимающимися геохимией, но, к сожалению, обычно это только предположения или общие положения.

Контактные геологические методы исследований гораздо менее информативны, чем геофизические материалы. Информацию о геологическом возрасте вулканов в условиях морской специфики можно получить путем изучения обломочного материала брекчии.

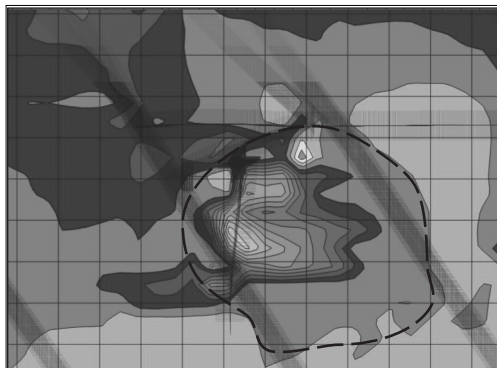
Поэтому одной из задач в 73-м рейсе было изучение вещественного состава выбросов грязевых вулканов (грязевые вулканы «Южморгео», «Трэдмар», «МГУ», «Мантийный») путем геологического опробования. На станциях нами производился пробоотбор, литологическое описание и стратиграфическое расчленение колонок донных осадков, отбор проб на лабораторные анализы, а также изучался рельеф дна на полигоне.

Предварительно можно сказать, что обнаружение минерализации киновари и целого ряда других минералов в поднятых во время рейса пробах донных отложений (полигон 1 «Грязевые вулканы») дает перспективы для оценки роли глубинного фактора в поверхностных проявлениях дегазации Земли (в первую очередь, грязевых вулканов). К сожалению, не был найден «Мантийный вулкан» (как предполагалось). Скорее всего, это связано с тем, что он покрыт мощным осадочным слоем и в настоящее время не работает (т.е. является практически недоступным).

Полигон 3 «Кольцевая морфоструктура». Работы в глубоководной зоне моря проводились с целью поиска новых диапировых структур и уточнения контура кольцевой морфоструктуры.

В результате изучения рельефа по системе промерных галсов были закрыты участки с западной и с восточной сторон морфоструктуры, рельеф которых ранее для нас оставался неизвестным, и таким образом выявлен ее общий абрис (рис. 3).

Рис. 4. Карта рельефа «Кольцевой морфоструктуры», уточненная по результатам промеров в рейсе НИС «Профессор Водяницкий» в Черном море (7–17 июня 2013 г.).



Установлено, что юго-западное замыкание структуры, так же, как и большая часть ее границ, представлены уступами высотой 20–25 м, а на юго-восток днище котловины раскрывается и полого понижается. К юго-западу от структуры была выявлена субширотная система чередующихся валов и рвов, очевидно отражающих грядово-холмистый рельеф этой части глубоководного ложа в зоне ее перехода к континентальному склону. Детальные промеры, выполненные на северо-западной окраине структуры, подтвердили наличие нескольких уступов, ограничивающих котловину, а промеры центральной части структуры выявили отдельные невысокие сопки.

Таким образом, оконтуренная площадь представляет собой полукольцевую подковообразную структуру — котловину, которая несколько прогнута к центру и раскрыта на юго-восток, а ее краевые части — кольцевые в плане уступы — возвышаются над субабиссальной равниной. Центральная ее часть состоит из двух концентров, имеющих более крутые западные и северные борта, восточные края более пологие, а их котловины раскрываются на восток — юго-восток (рис. 4).

Происхождение изученной нами кольцевой морфоструктуры, скорее всего, связано с грязевулканической деятельностью (что указывает на роль эндогеодинамических факторов). Это подтверждается геофизическими материалами (на сейсмограммах прослеживается поле диапировых структур), а также своеобразной литологией, прежде всего, находками грязевулканической брекчии. Морфоструктура представляет собой систему грязевых вулканов, которые расположены по ее периметру. По своему внешнему виду кольцевая морфоструктура в глубоководной части Черного моря напоминает Булганакскую морфоструктуру на Керченском полуострове.

Полигон 2 «Сапропелевый». Глубоководные органико-минеральные осадки, в том числе сапропелевые илы, которые на протяжении многих лет являются объектом наших исследований, представляют интерес в связи с идеей их освоения как комплексного сырья, в том числе для производства удобрений. Ранее нами был выбран полигон на перспективной для освоения этого ресурса площади в глубоководной северо-западной части Черного моря.

В ходе морской экспедиции на выбранном полигоне проведено изучение горно-геологических условий; произведен отбор проб донных осадков, в том числе крупномасштабных: отобраны образцы глубоководных органико-минеральных осадков нарушенного сложения общей массой 150–200 кг, требуемые для проведения исследований по обоснованию параметров добычного и обогатительного оборудования, а также колонки грунта условно ненарушенной структуры для изучения физико-механических свойств органико-минеральных отложений по глубине залегания; выполнено исследование кинематики и динамики процесса глубоководного драгирования. Был испытан разработанный в Национальном горном

университете (г. Днепропетровск) прибор, позволяющий производить замеры усилия натяжения каната при драгировании и ускорения по трем осям координат с возможностью записи регистрируемых данных на носитель информации. Получены ценные данные, необходимые для разработки новых и совершенствования существующих грунтозаборных устройств ковшового типа; обеспечен сбор информации о ходе проведения пробоотборных работ при помощи глубоководной драги и трубки: сняты фото- и видеоматериалы, требуемые для разработки нового и совершенствования существующего пробоотборного оборудования.

Полигон 6 «Кристаллические породы Ломоносовского подводного центра». Находки вулканитов на Ломоносовском подводном массиве (ЛПМ) еще раз подтверждают его связь с Горным Крымом — ЛПМ является его продолжением. Ранее в результате изучения кристаллических пород на Ломоносовском массиве был установлен их юрский возраст, как и для минеральных находок в Южном Крыму. На ЛПМ в зоне тектонического контакта интрузивного тела с вмещающими породами на глубинах 1120—1738 м зафиксированы газовые факелы, а также обнаружены карбонатные постройки, являющиеся продуктами глубинной дегазации недр. Во время этого рейса не удалось обнаружить активные газовыделения. Если они и были, то рассеивались.

Основные газовые поля были отмечены в районе полигона «Сульфидное поле № 1». В 73-м рейсе по маршруту «Факелы» было выполнено галсирование на известном поле — западный борт палео-Каланчака, которое захватывает область шельфа и простирается до глубин 600—700 м (область редких факелов). Всего в этом рейсе обнаружено 56 факелов, из которых 26 — обнаружены впервые. Наиболее типичные из них представлены на рис. 5, а—г. Установлено изменение размеров пузырьков с глубиной.

Выбранные нами полигоны: «Сульфидное поле № 1» и «Сульфидное поле № 2» расположены в зоне Одесского разлома и представляют интерес в связи с выявленными на дне сульфидными постройками [5, 6]. Результаты их исследования и аномалии в содержании сероводорода у основания склона [7] могут влиять на оценку относительного вклада эндогенных источников в суммарный объем сероводорода в Черном море. При этом обращает на себя внимание локальность поля развития сульфидных построек именно в зоне разлома.

А.И. Рябинин, В.Н. Кравец [7] утверждают, что максимальные концентрации сероводорода обнаруживаются над крупными разломами. Они объясняют это протекающим на глубинах 2,5—3 км при $t = 80—150\text{ }^{\circ}\text{C}$ абиотными процессами восстановления сульфатов углеводородами и последующей миграцией сероводорода в вышележащие горизонты, вплоть до морского дна вместе с углеводородами и глубинными водами.

Взгляды А.И. Рябинина и В.Н. Кравца представляются нам убедительными. Их воззрения вплетаются в развиваемые в последние годы представление П.Н. Кропоткина и других о столбах глубинной углеводородной дегазации, развивающихся прежде всего вблизи глубинных разломов. Ф.А. Летников [8] пишет о существовании автономных восстановленных флюидных систем зон глубинных разломов, которые ассоциируют, в частности, с водородно-сернистыми системами.

Явная связь грязевых вулканов и выходов сероводородных вод прослеживается на Керченском полуострове. Здесь практически каждый грязевой вулкан

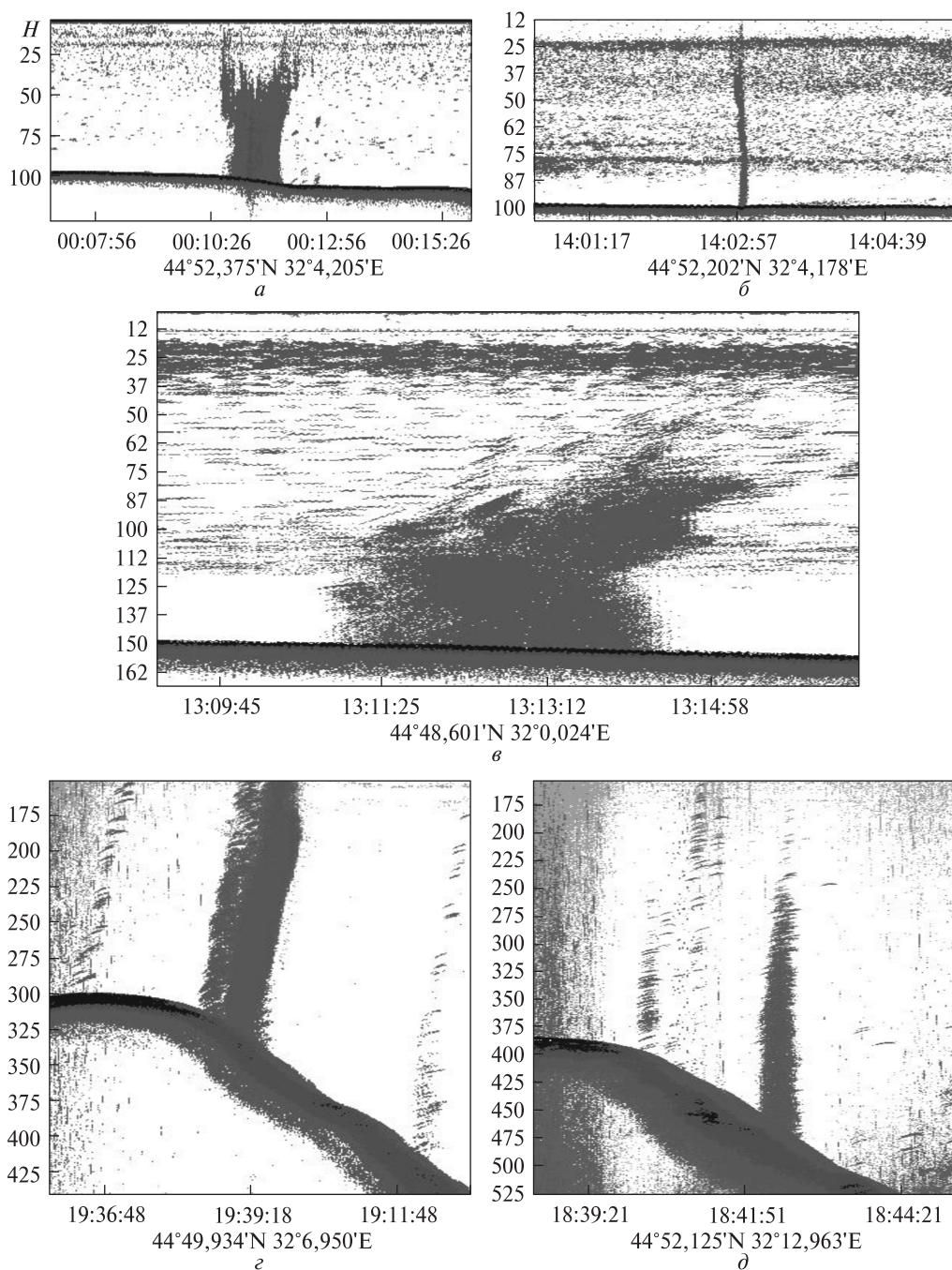


Рис. 5. *а* — эхограмма группового газового факела на внешнем шельфе, образованного близко расположенными газовыми струями; *б* — одиночный газовый факел у бровки склона; *в* — газовый факел у перегиба континентального склона; *з*, *д* — мощные газовые факелы и дискретные спутные газовыделения на склоне с глубинами залегания источников 321 м (*з*) и 465 м (*д*)

сопровождается сероводородным источником. Отмечены многие десятки сероводородных источников разного дебита. Можно ожидать проявления этой зависимости и в Черном море, тем более, что примеры такого рода уже обнаружены. В 2004 и 2005 гг. во время рейсов НИС «Профессор Водяницкий» по нашей просьбе Ю.И.Горячкин и его коллеги из Морского гидрофизического института изучали распределение сероводорода в водной толще возле грязевого вулкана Митин (координаты 44°37,840 с.ш. и 36°01,39 в.д.) и установили повышенные значения содержания сероводорода вблизи вулкана в придонном слое воды [9].

Представляется, что расположенные в зоне Одесского разлома несколько газовых месторождений шельфа, залежи газогидратов в дельте палео-Каланчака, поле сульфидных новообразований на внешнем шельфе, сульфидизация конглобрекчии, повышенные содержания сероводорода у обрыва континентального склона, грязевой вулкан, уходящий корнями в мантию — все эти явления обусловлены существованием здесь глубинного разлома, тектонических узлов в местах пересечения с другими разломами.

На «сульфидных» полигонах было отработано несколько станций, на которых драгами извлечен большой объем темно-серой тугопластичной глины, похожей на майкопскую (образцы отобраны для последующего уточнения возраста).

Таким образом, поставленные задачи выполнены, проведенные геологические исследования позволили получить много нового материала для познания геологических процессов на дне моря.

Выводы

В результате проведенных комплексных геолого-геохимических, гидроакустических и гидробиологических исследований получен значительный объем новой информации, дальнейшая интерпретация и осмысление которой позволит:

- оценить роль глубинного фактора в формировании поверхностных проявлений дегазации Земли — участие глубинного флюида в формировании морфоструктуры вулкана и его деятельности;
- оценить (на примере Черного моря) роль газового вулканизма в процессах дегазации Земли;
- оценить относительный вклад эндогенных источников в суммарный объем сероводорода в Черном море;
- дать перспективную оценку и подготовить практические рекомендации относительно поиска и разработки месторождений нетрадиционных энергоносителей и других минеральных ресурсов;
- оценить влияние гидрофизических и гидрохимических характеристик на вертикальное распределение основного фотосинтетического пигмента — хлорофилла а и показателей эффективности поглощения солнечной энергии всеми оптически активными компонентами и квантовой эффективности фотосинтеза фитопланктона;
- оценить величины первичной продукции в глубоководных (на 5—6 станциях в западном циклональном круговороте моря) и шельфовых районах;
- определить связи между размерно-видовой структурой и показателями продуктивности фитопланктона;

- оценить геоэкологическое состояние морских вод и прибрежных территорий Азово-Черноморского региона ;
- уточнить характеристики полигона для опытного освоения глубоководных органо-минеральных осадков;
- усовершенствовать конструкцию грунтозаборных устройств ковшового типа;
- усовершенствовать методологию гидроакустических наблюдений (для поиска и изучения грязевых вулканов, газовых факелов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Е.Ф. Шнюков, Е.Я. Нетребская.* Корни черноморских грязевых вулканов / Е.Ф. Шнюков, Е.Я. Нетребская В.И. // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2013. — № 1. — С. 87—92.
2. *Мейснер Л.Б., Туголесов Д.А.* Опорные отражающие горизонты в сейсмической записи осадочного выполнения черноморской впадины / Л.Б. Мейснер, Д.А. Туголесов // Стратиграфия, геол. корреляция. — 2003. — Т. 11, № 6. — С. 83—97.
3. *Старостенко В.И., Макаренко И.Б., Русаков О.М. и др.* Геофизические неоднородности Черного моря / В.И. Старостенко, И.Б. Макаренко, О.М. Русаков О.М. и др. // Геофизический журнал. — 2010. — 32. № 5. — С. 3—20.
4. *Дмитриевский А.Д., Валяев А. Б.* Углеродородная дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений: развитие идей П.Н. Кропоткина / А.Н. Дмитриевский, Б.И. Валяев // Материалы Всероссийской конференции [Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы]. — М.: ГЕОС, 2010. — С. 7—10.
5. *Лейн А.Ю., Егоров В.Н., Пименов Н.В. и др.* Сульфидные постройки дна Черного моря. 1995. — 676 с.
6. *Геолого-океанологические исследования континентальной окраины Крыма и прилегающей котловины Черного моря /* Гл. ред. Е.Ф. Шнюкова. — Киев: ОМГОР НАНУ, 2012. — 160 с.
7. *Рябинин А.И., Кравец В.Н.* Современное состояние сероводородной зоны Черного моря (1960—1986). — М.: Гидролит, 1989. — 230 с.
8. *Летников Ф.А.* Геофлюиды в геологической истории Земли / Ф.А. Летников // Материалы Всерос. конф. «Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы. 22—25 апр. 2008 г. — М.: ГЕОС, 2008. — С. 8—10.
9. *Газовый вулканизм Черного моря /* Гл. ред. Е.Ф. Шнюков // Киев: ОМГОР НАНУ, 2005. — 136 с.

Статья поступила 15.08.2013