

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Артёмов Юрий Георгиевич

УДК 551.463.2:547.211

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОТОКИ МЕТАНОВЫХ СТРУЙНЫХ
ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ В ЧЕРНОМ МОРЕ**

11.00.08 – океанология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Севастополь – 2014

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Институте биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, г. Севастополь.

Научный руководитель:
академик НАН Украины, доктор биологических наук, профессор
Егоров Виктор Николаевич,
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского НАН Украины,
главный научный сотрудник отдела радиационной и химической биологии.

Официальные оппоненты:
член-корреспондент НАН Украины,
доктор географических наук Коновалов Сергей Карпович,
Морской гидрофизический институт Национальной академии наук Украины,
заведующий отделом биогеохимии моря;

кандидат географических наук
Мезенцева Ирина Владимировна,
Севастопольское отделение Государственного океанографического института
им. Н.Н. Зубова,
заведующая лабораторией гидрохимии.

Защита диссертации состоится “25” декабря 2014 г. в 11⁰⁰ часов на заседании специализированного ученого совета Д 50.158.01 в Морском гидрофизическом институте Национальной академии наук Украины по адресу:
299011, Крым, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2, малый конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Морского гидрофизического института НАН Украины по адресу: г. Севастополь, ул. Капитанская, 2.

Автореферат разослан “ ” 2014 г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета Д 50.158.01
кандидат географических наук

Е.А. Скрипалева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В морской акватории Украины струйные газовыделения впервые были обнаружены в сероводородной зоне Черного моря на глубинах 200 – 250 м сотрудниками Института биологии южных морей НАН Украины под руководством В.Н. Егорова и Г.Г. Поликарпова (Полікарпов, Єгоров, 1989) в рейсе НИС «Профессор Водяницкий». Возникшая вслед за этим событием волна исследований показала, что явление струйных газовыделений широко распространено во всем диапазоне глубин Черного моря (Егоров и др., 2003), а газовые струи почти полностью состоят из метана (Иванов, Поликарпов и др., 1991). Помимо экономической зоны Украины, известно также о существовании полей струйных газовыделений на шельфе Грузии, Румынии и Болгарии, нефте- и газопроявления наблюдались в водах России и Турции. В связи с этим, возник научный и практический интерес к изучению средообразующей, экологической, ресурсной и поисковой на углеводородные месторождения роли струйных газовыделений в Черном море.

Струйные газовыделения и грязевые вулканы связывают с процессами вертикальной миграции через слои донных осадков газообразных, а также растворенных форм углеводородных соединений, преимущественно метана CH_4 (Judd, Hovland, 2007). Там, где возникают условия для подъема миграционных потоков к поверхности морского дна, образуются очаги дегазации – газовыделения свободной фазы метана в форме струй газовых пузырьков, которыми осуществляется значительно более быстрый, по сравнению с диффузионным переносом, транспорт метана в водный столб и атмосферу (Leifer, Judd, 2002). Эффективность такого транспорта зависит от размеров пузырьков, их формы, наличия на их поверхности поверхностно-активных веществ или газогидратных кристаллов, концентрации в окружающей водной среде растворенного метана и других факторов (Leifer, Patro, 2002). Традиционные контактные и визуальные способы изучения струйных газовыделений с использованием водолазного снаряжения, подводных аппаратов и телевизионных комплексов предоставляют ограниченные возможности охвата наблюдениями лишь отдельных газовых струй в пределах доступных глубин. Данные, получаемые в результате таких исследований, часто оказываются фрагментарными и несопоставимыми в методическом отношении, поэтому ощущается потребность в интегральных оценках потока газообразного метана на обширных площадях газовой разгрузки как шельфовых, так и глубоководных районов океана. Большим потенциалом для картирования очагов газовой разгрузки и изучения количественных характеристик струйных газовыделений обладает технология дистанционного акустического зондирования, позволяющая детектировать звукорассеивающие объекты при сканировании значительных объемов водной толщи в квазинепрерывном режиме (Clay, Medwin, 1977).

Представленная работа посвящена исследованию распределения струйных газовыделений и оценке потоков пузырькового метана во всем диапазоне глубин Черного моря на основе акустических данных, собранных в экспедициях последних лет на научно-исследовательских судах Украины и Германии. Эти данные позволили изучить особенности пространственно-батиметрического распределения метановых сипов и их приуроченность к разведанным углеводородным месторождениям, оце-

нить потоки метана от отдельных струй и получить осредненные потоки по районам Черного моря, определить уровень поступления свободного метана в атмосферу.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в соответствии с планами научных исследований Института биологии южных морей НАН Украины в рамках следующих завершенных научно-исследовательских тем и проектов:

- тема НАН Украины «Изучение биогеохимических закономерностей формирования потоков радиоактивных, минеральных, органических веществ природного и техногенного происхождения и обусловленного ими экологического риска для популяций критических видов в Чёрном море», ГР № 0103U001050, 2003-2007 гг., исполнитель;

- тема НАН Украины «Изучение биогеохимических закономерностей формирования критических зон в Чёрном море», ГР № 0107U012019, 2008-2012 гг., исполнитель;

- проект «Разработка технологии регистрации и количественной оценки параметров струйных метановых газовыделений как поисковых признаков газоносности морских осадочных пород» целевой комплексной программы НАН Украины «Минеральные ресурсы Украины и их добыча», ГР № 0104U005009, 2004-2006 гг., ответственный исполнитель;

- проект «Исследование газовой разгрузки недр Черноморского бассейна как средообразующего и поискового ресурсного фактора» целевой комплексной программы научных исследований НАН Украины «Программа комплексных биоресурсных, гидрофизических и геолого-геофизических исследований морской среды, перспективных нефтегазовых структур и картирования распределения газогидратов в акватории Чёрного и Азовского морей», ГР № 0107U003631, 2007-2009 гг., исполнитель, ученый секретарь;

- проект «Исследование локализации и интенсивности струйных метановых газовыделений со дна украинской акватории Чёрного моря» целевой комплексной программы НАН Украины «Минеральные ресурсы Украины и их добыча», ГР № 0107U005584, 2007-2009 гг., исполнитель, ученый секретарь;

- проект «Изучение газосодержащих структур в подповерхностных донных осадках на площадках струйных метановых газовыделений в Чёрном море с использованием гидроакустического метода для определения перспективных на углеводородные месторождения районов в экономической зоне Украины» целевой комплексной программы научных исследований НАН Украины «Стратегические минеральные ресурсы Украины», ГР № 0110U006150, 2010-2012 гг., исполнитель, ученый секретарь;

- проект «Исследование географического распределения и интегральная оценка интенсивности источников метановой разгрузки недр в водную толщу Чёрного моря с детализацией для наиболее перспективных потенциально ресурсных Северо-западного и Керченско-Таманского регионов» целевой комплексной программы научных исследований НАН Украины «Комплексная оценка состояния и прогнозирования динамики морской среды и ресурсов Азово-Черноморского бассейна», ГР № 0110U006203, 2010-2012 г., исполнитель;

– международный проект Европейского Союза «Европейские системы река-море (EROS-2000, EROS-21)», № 1C20-CT96-0065 и № EV5VCT 94-0501, 1995-1998 гг.), исполнитель;

– международный проект Европейского Союза INCO-COPERNICUS «Биогенные газы в Чёрном море» (BIGBLACK) № IC15-CT96-0107, 1997-2000 гг., исполнитель;

– международный проект Европейского Союза «Вклад высокоинтенсивных газовых сипов в Чёрном море в эмиссию метана в атмосферу (CRIMEA)», контракт № EVK2-CT-2002-00162, 2002-2006 гг., исполнитель, ученый секретарь;

– международный проект Европейского Союза «Поток метана в осадках морского дна: микробиологический и геохимический контроль (METROL)», № EVK3-CT-2002-00080, 2002-2005 гг., исполнитель.

Цель исследования. Цель диссертационной работы заключалась в определении локализации газовых сипов и оценке метановой струйной разгрузки дна Чёрного моря в водный столб и атмосферу.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

– разработать методику регистрации и обработки акустических данных и осуществить поиск природных газовых факелов во всем диапазоне глубин Чёрного моря методом дистанционного акустического зондирования;

– выполнить картирование и выявить геоморфологические особенности основных районов струйной разгрузки метана в Черном море;

– получить количественные оценки интенсивности струйной разгрузки метана и эмиссии газообразного метана в атмосферу и водный столб по акустическим данным с применением метода математического моделирования.

– оценить значимость струйных газовыделений как ресурсного фактора и поискового признака при поиске углеводородных месторождений.

Объект исследований: природные метановые струйные газовыделения в Черном море.

Предмет исследований: локализация и расход метановых сипов.

Методы исследований: дистанционное акустическое зондирование, математическое моделирование, статистический анализ данных, объектно-ориентированное программирование, численные эксперименты. Для практической реализации математических моделей использовался интегрированный пакет MatLab 7.0, программное обеспечение сбора, обработки и визуализации акустической информации разрабатывалось в среде Borland C++ Builder 5.0, пространственный анализ данных акустических измерений производился с применением геоинформационной системы ESRI ArcView GIS. Первичная обработка данных многолучевых эхолотов производилась с помощью специализированных программных пакетов Kongsberg Neptune и НУРАС. Для построения батиметрических карт и картирования струйных газовыделений применялось программное обеспечение IVS Fledermaus и GMT.

Материал для исследований. Настоящая работа основана на базе данных ОРХБ за 1989 по 1991 и результатах самостоятельных гидроакустических наблюдений в период 1992-2012 гг. в Черном море с использованием калиброванного эхоло-

та с расщепленным лучом, а также параметрических и многолучевых акустических систем при непосредственном участии автора. Данные были собраны в 16 научных рейсах, в том числе 12 международных. Общий объем данных наблюдений составил 255 Гбайт. Акустические данные дополняли ≈ 140 часов визуальных наблюдений природных струйных газовыделений, проведенных автором с борта обитаемого исследовательского аппарата «Jago» на глубинах 200 – 290 м и с помощью необитаемого роботизированного комплекса «QUEST – 4000» на глубинах 900 – 2100 м. Использовались также литературные данные по газовому составу пузырьков струйных газовыделений в Черном море и тектоническому строению Черноморской впадины.

Научная новизна. Автором диссертации впервые получены следующие результаты:

- создан банк электронных эхограмм, содержащий информацию о локализации, интенсивности и вертикальной протяженности 5197 газовых факелов в диапазоне глубин от 14 до 2100 м, по которым однозначно идентифицирована 4381 площадка газовой разгрузки дна в Черном море;

- предложен новый метод детектирования газовых факелов и измерения физических параметров газовых струй с использованием эхолота с расщепленным лучом;

- установлено, что абсолютное большинство струйных метановых газовыделений в Черном море приурочено к палео-дельтам крупных рек и континентальному склону, пространственно совпадая на многих участках с геодинамическими зонами. Показано, что свыше 98% газовыделений расположено выше фазовой границы стабильности метановых гидратов в Черном море (725 м). В глубоководной части Черного моря струйные газовыделения привязаны, в основном, к районам активного развития грязевого вулканизма и диапиризма;

- рассчитаны потоки газовой разгрузки в Черном море в диапазоне глубин от 14 до 2100 м с использованием акустических данных и математической модели газообмена между газовым пузырьком и водной средой, основанной на уравнении состояния реальных газов Пенга-Робинсона. Оценено, что интегральное поступление метана от исследованных в Черном море площадок струйной разгрузки в водный столб составляет $37.2 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \text{ год}^{-1}$, а эмиссия свободного метана в атмосферу не превышает $4.9 \cdot 10^5 \text{ м}^3 \text{ год}^{-1}$.

Практическое значение полученных результатов. Проведенные исследования позволяют уточнить баланс метана в Черном море и оценить региональный вклад в глобальный парниковый эффект. Данные по локализации очагов газовой разгрузки и потоку метана дают представление о струйных газовыделениях как экологическом и ресурсном факторе, а также могут использоваться как компонент системы поиска углеводородных месторождений. Разработанное программное обеспечение и методика обработки акустической информации применялись при выполнении научно-исследовательских проектов Института биологии южных морей НАН Украины, Отделения морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины, Института микробиологии РАН, Европейского Сообщества, а также научных организаций Греции, Германии, Швейцарии и Южной Кореи.

Личный вклад соискателя. Соискателем совместно с научным руководителем проводилась постановка задач, обсуждение основных результатов и формулировка выводов. Соискатель принимал участие в эхо-съемках струйных газовыделе-

ний в морских экспедициях, создании базы данных, определении локализации очагов струйной разгрузки, определении потока струйного метана и оценке их ресурсной значимости, выполнял разработку и программную реализацию алгоритмов сбора и обработки акустической информации, математической модели газовых пузырьков, а также решал методические вопросы проведения акустических наблюдений и получения оценок потока метана от струйных газовыделений в водный столб и атмосферу.

Часть работ опубликована в соавторстве с научным руководителем и другими исследователями: академиком НАН Украины В.Н. Егоровым, академиком НАН Украины Г.Г. Поликарповым, д.б.н. С.Б. Гулиным, к.б.н. М.Б. Гулиным, академиком НАН Е.Ф. Шнюковым, др. Г. Борманом, др. Х. Салингом, др. Л. Наудсом, др. Е. Грейнертом, др. М. Де Батистом, др. Д. МакГиннесом.

В работах, опубликованных с соавторами, личный вклад соискателя заключается в следующем:

- в работах [3, 14] по исследованию пространственного распределения струйных газовыделений в акватории г. Севастополя соискатель проводил сбор, обработку и анализ акустических данных, выполнял картирование и графическое представление газовых факелов, участвовал в формулировке выводов;

- в работах [2, 24, 25] по исследованию пространственного распределения струйных газовыделений в грузинской части Черного моря соискатель проводил сбор, обработку и анализ акустических данных, выполнял картирование и графическое представление газовых факелов, участвовал в формулировке выводов;

- в работах [6, 7] по исследованию приуроченности струйных газовыделений в палео-дельте р. Днепр геоморфологическим особенностям донных осадков соискатель проводил сбор, обработку и анализ акустических данных, выполнял картирование и графическое представление газовых факелов, участвовал в формулировке выводов;

- в работах [4, 17] по исследованию пространственно-временного распределения струйных газовыделений от грязевых вулканов в прогибе Сорокина соискатель проводил сбор, обработку и анализ акустических данных, выполнял картирование и графическое представление газовых факелов, участвовал в формулировке выводов;

- в работе [12] по исследованию пространственного распределения струйных газовыделений в западной части Черного моря соискатель проводил сбор, обработку и анализ акустических данных, выполнял картирование и графическое представление газовых факелов, участвовал в формулировке выводов;

- в работе [13] по исследованию пространственного распределения струйных газовыделений в прикерченском районе Черного моря соискатель проводил сбор, обработку и анализ акустических данных, выполнял картирование и графическое представление газовых факелов, участвовал в формулировке выводов;

- в работах [5, 8, 10, 23] по исследованию интенсивности разгрузки метановых сипов и характеристик газообмена метановых пузырьков струйных газовыделений с водным столбом соискатель проводил расчетные и графические работы, принимал участие в формулировке выводов;

- в работах [15, 19] по исследованию пространственного распределения потоков струйного метана палео-дельте р. Днепр соискатель занимался подготовкой мас-

сивов данных, выполнял расчеты и статистический анализ исследуемых параметров, участвовал в формулировке выводов;

– в работах [1, 9, 11, 16] по оценке обобщенных параметров пространственного распределения потоков струйного метана в Черном море и их средообразующей и экологической роли соискатель занимался подготовкой массивов данных, выполнял расчеты и статистический анализ исследуемых параметров, участвовал в формулировке выводов.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, неоднократно докладывались в ИнБЮМ НАН Украины на заседаниях отдела радиационной и химической биологии, на Общеинститутских научных семинарах МГИ НАН Украины, а также на международных и всеукраинских научных конференциях: Международный симпозиум «Северо-западная часть Черного моря: уникальная область направления антропогенных изменений прибрежной зоны», Испра (Италия), 11–13 июня 1998 г.; Международная конференция «Исследование кромки океана», Париж (Франция) 15–17 сентября 2003; 30-я международная конференция программы «Мир в Океане» – «Управление океаном и устойчивое развитие: океан и побережья – взгляд в будущее», Киев (Украина), 27–30 октября 2003 г.; Международная конференция «Метановые сипы, грязевые вулканы и газогидраты в Черном море», Киль (Германия), 6 февраля 2004 г.; 1-я Генеральная Ассамблея Европейского Геологического Союза, Ницца (Франция), 25–30 апреля 2004 г.; 7-я Европейская конференция по гидроакустике, Дельфт (Нидерланды), 5–8 июля 2004; Международный симпозиум «Метан в донных осадках и водном столбе Черного моря: образование, пути распространения и роль в углеродном цикле», Севастополь (Украина), 17–23 мая 2005 г.; Летнее заседание Американского Общества Лимнологии и Океанографии 2005, Сантьяго де Компостела (Испания), 19–24 июня 2005 г.; 8-я международная конференция «Газ в морских осадках», Виго (Испания), 5–9 сентября 2005 г.; 10-я международная конференция «Газ в морских осадках», Листвянка (Россия), 6–12 сентября 2010 г.; FABA Symposium. Fisheries and Aquatic Sciences, Самсун (Турция), 07–09 September 2011.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 25 работах. Из них: монографий – 1 (в соавторстве); статей в научных журналах – 17; тезисов в сборниках материалов научных конференций – 4. Публикации [1 – 9] полностью отражают основные результаты диссертации и содержатся в изданиях, включенных в перечень ДАК МОН Украины: «географические науки». Публикации [4 – 8] включены в международную наукометрическую базу “SCOPUS”. Работы [18, 20 – 22] выполнены без соавторов.

Объем и структура диссертации. Общий объем диссертационной работы составляет 152 страницы и включает в себя вступление, 5 разделов, общие выводы и список использованных источников. Таблицы и рисунки, которые полностью занимают площадь страницы, и список использованных источников составляют 21 страницу. Всего таблиц – 5, рисунков – 65. Список использованных источников содержит 165 наименований, в том числе на иностранных языках – 122.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Вступлении** приведено обоснование актуальности проведения исследования, его связь с научными программами; сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, личный вклад соискателя и апробация результатов.

В **Разделе 1** описывается объект исследования (рис. 1) и проводится анализ современного состояния проблемы, изучению которой посвящена настоящая работа.

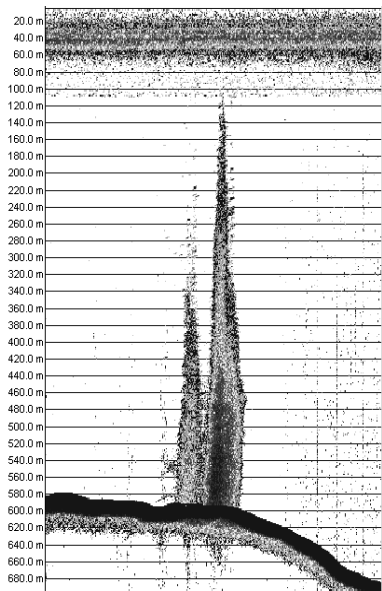


Рис. 1. Эхограмма метановых струйных газовыделений (метановых сипов) на материковом склоне Черного моря.

На основе обзора литературных данных показано, что контактные методы позволяют обследовать лишь отдельные газовые струи в пределах доступных глубин; приведены основные предпосылки применения дистанционного акустического метода для исследования струйных газоразделений (метановых сипов) и сформулирована задача оценки потоков струйного метана.

Струйные газоразделения характеризуются местоположением газовых выходов на дне моря и газовыми факелами, с которыми связаны три составляющие потока метана: начальный (входящий) поток Φ_0 ; распределенный вдоль факела поток растворенного метана в водный столб Φ_w и поток свободного (газообразного) метана в атмосферу Φ_a . Составляющие потока метана предполагаются линейно зависящими от продуктивности газоразделения N (1/м), комбинированного параметра, определяющего частоту выделения газовых пузырьков из дна и численно равного количеству пузырьков в тонком придонном слое в основании газового факела:

$$\Phi_0 = N \cdot \overline{s_0} \cdot \overline{m_0}, \quad (1)$$

$$\Phi_w = N \cdot \int_0^{H_0} \overline{s(h)} \cdot \frac{\partial \overline{m(h)}}{\partial h} \cdot dh, \quad (2)$$

$$\Phi_a = \Phi_0 - \Phi_w, \quad (3)$$

где $\overline{s_0}$ – средняя начальная скорость подъема пузырьков в придонном слое; $\overline{m_0}$ – среднее начальное содержание метана в пузырьках придонного слоя; $\overline{s(h)}$ – средняя скорость подъема пузырьков в водном столбе в зависимости от глубины; $\partial \overline{m(h)} / \partial h$ – среднее изменение содержания метана в пузырьках в водном столбе в зависимости от глубины.

Согласно (1) – (3), для решения задачи оценки потоков метана акустические наблюдения параметров начального потока в (1) комбинировались с результатами математического моделирования динамических характеристик в (2), которые крайне сложно определить *in situ* при удалении всплывающих пузырьков от выхода газа.

Раздел 2 посвящен методическим аспектам обработки акустических данных и содержит описание программно-аппаратного комплекса на базе калиброванного эхолота с расщепленным лучом Simrad EK-500 [18]. Наблюдения показали, что га-

зовые факелы в Черном море имеют, обычно, малые поперечные размеры и разрешаются антенной эхолота, вследствие чего возникают дополнительные источники погрешностей при определении уровня эхо-сигнала от струйных газовыделений и их положения на морском дне, если факел не «попал» в центр звукового луча (рис. 2).

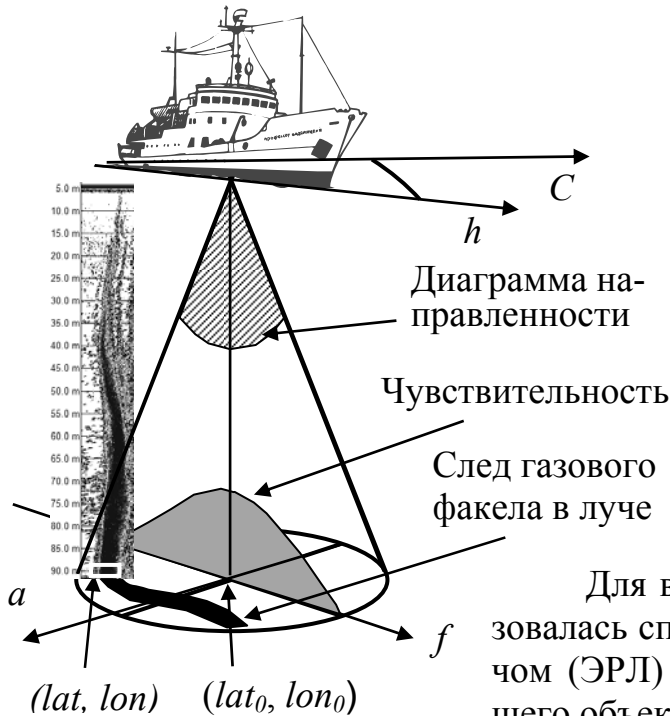


Рис. 2. Схема акустического детектирования пространственно разрешенного факела. h – курс судна, C – направление на север, lat_0, lon_0 – географические координаты центра звукового луча, lat, lon – действительные координаты сипа, a, f – углы направления на факел, отсчитываемые от центра антенны поперек и вдоль судна, соответственно.

Для введения необходимых поправок использовалась способность эхолотов с расщепленным лучом (ЭРЛ) определять положение звукорассеивающего объекта в акустическом луче [19].

Такая возможность применительно к газовым струям была установлена практикой акустических наблюдений. С помощью имитационной модели показано, что в типичных для Черного моря случаях, когда площадь газовыделения не превышает 5 – 7% площади звукового луча, оценки продуктивности сипов N с применением «точечной» модели рассеяния (МРТО) заведомо предпочтительнее оценок, использующих классическую модель объемного рассеяния звука (МОР).

Данные эхо-съёмок исследованных районов обрабатывались поэтапно:

1. Определялось количество и локализация струйных газовыделений в районе исследований на основе визуального анализа акустической информации, после чего участки эхограммы, потенциально идентифицированные как газовые факелы (рис. 3), подвергались дополнительному анализу с использованием специализированного математического обеспечения и геоинформационной системы (ГИС).

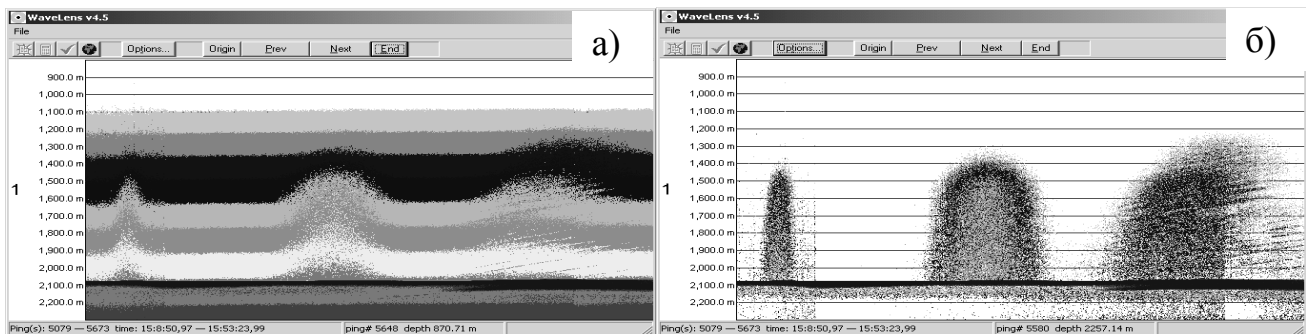


Рис. 3. Распознавание газового факела от грязевого вулкана на фоне шумов приемного тракта эхолота: а) исходная и б) «чистая» эхограмма.

Выходные данные ЭРЛ и навигационной системы, относящиеся к одному и тому же сипу, при проецировании на планшет ГИС группировались в кластер, указывающий на местоположение этого сипа. Количество таких кластеров и координаты их центров служили оценками реальной численности и локализации обнаруженных струйных газовыделений (рис. 4).

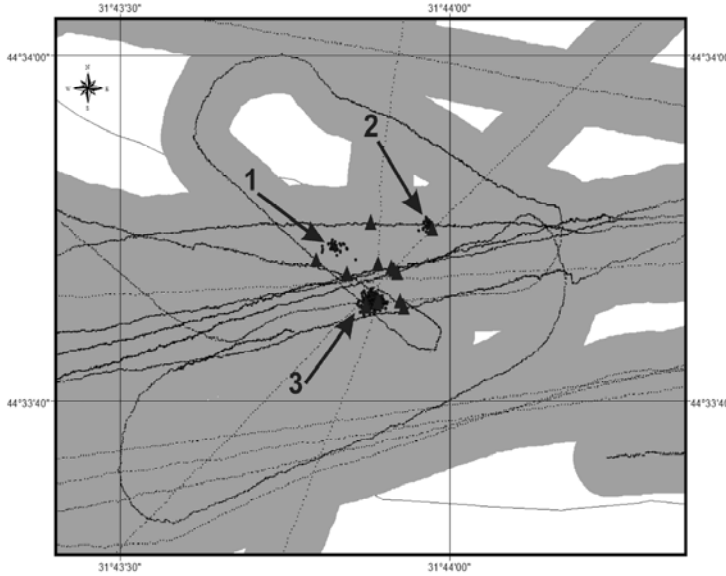


Рис. 4. Отображение данных на планшете ГИС. Линии – маршрут судна; треугольники – кажущееся местоположение сипов ($lat0, lon0$), определенное по эхограммам на различных галсах; точки – рассчитанное по каждой посылке эхолота местоположение сипов (lat, lon) с учетом их отклонения от оси антенны ЭРЛ; серые полосы – зона покрытия морского дна акустическими наблюдениями. Цифрами со стрелками показаны детектированные газовыделения.

2. Продуктивность j -го сипа $\bar{N}_j$ оценивалась усреднением по кластеру, представляющему данный сип:

$$\bar{N}_j = \frac{r^2 \Psi}{\bar{\sigma}_{bs} m_j} \sum_{i=1}^{m_j} \frac{s_v^i}{G^2(a_s^i, f_s^i)}, \quad (4)$$

где индекс i обозначает номер точки из кластера и принимает значения от 1 до m_j ; r – глубина моря; s_v , G^2 , Ψ , и $\bar{\sigma}_{bs}$ – акустические параметры.

В Разделе 3 анализируется пространственное распределение струйных газовыделений и приводятся краткие сведения о геологическом строении основных районов струйной разгрузки метана в Черном море.

В созданном на основе данных многолетних акустических наблюдений банке струйных газовыделений содержится информация о локализации, интенсивности и вертикальной протяженности 5197-ти газовых факелов в диапазоне глубин от 14 до 2100 м, по которым однозначно идентифицирована 4381-а площадка газовой разгрузки дна в Черном море, в том числе у 2955-и географические координаты определены с точностью до метров (рис. 5).

Исследования показали, что струйная газовая разгрузка в Черном море проявляется в районах с различными геоморфологическими характеристиками: в палеоруслах рек Дунай, Днепр-Каланчак, Дон-Кубань, конусе выноса закавказских рек, западном континентальном склоне с прилегающим шельфом, северо-западном шельфе. Свыше 98% газовыделений располагались выше фазовой границы стабильности метановых гидратов (725 м для Черного моря), что свидетельствует о барьерном эффекте газогидратов в донных осадках, препятствующих восходящей миграции метана (рис. 5, 6, а).

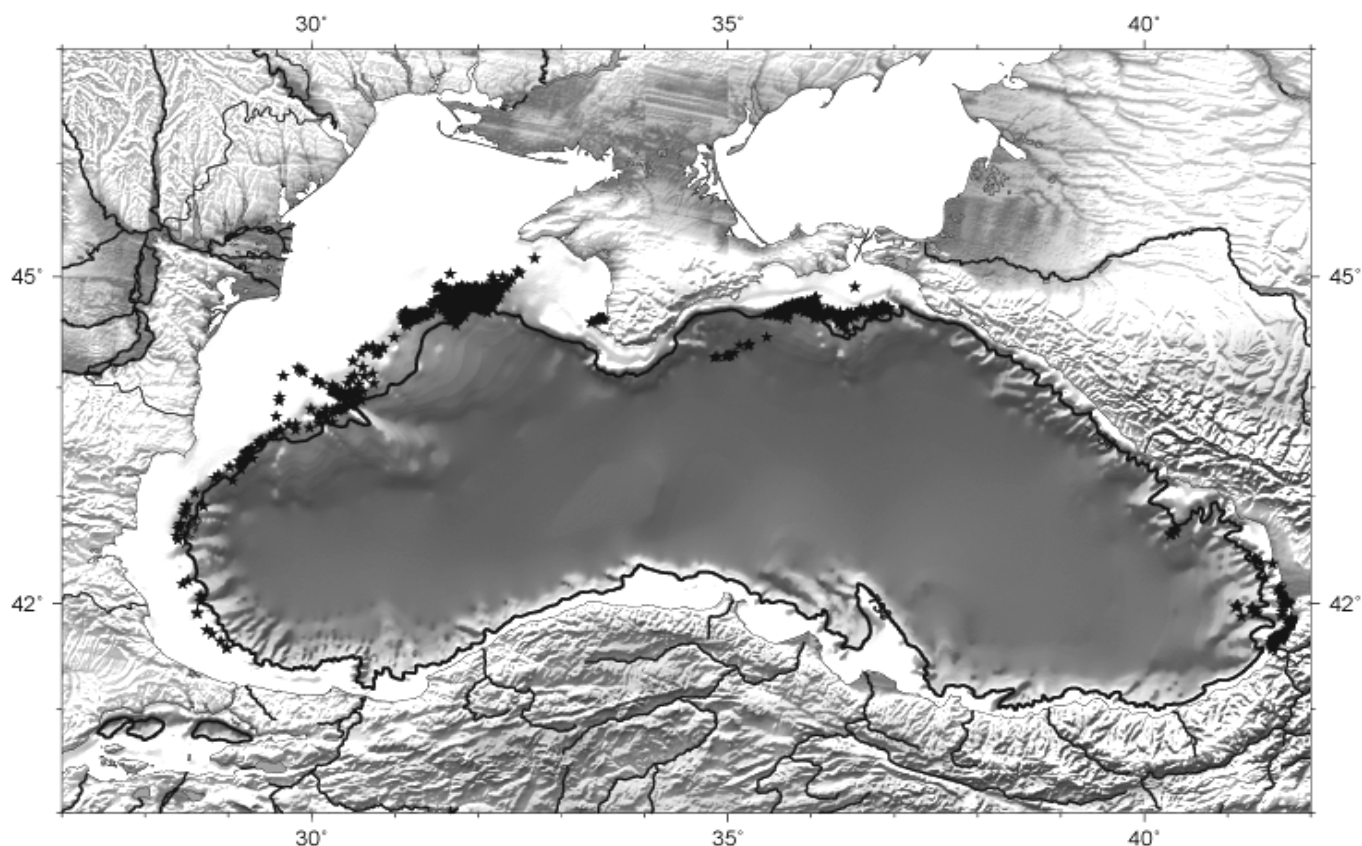


Рис. 5. Распределение метановых сипов в Черном море (точки). Линией отмечена изобата 725 м.

При этом, лишь в мелководной части Черного моря (в прибрежных районах, на шельфе и у верхней кромки континентального склона) газовые струи могут достигать поверхности моря (рис. 6, б) из-за высокой скорости растворения содержащегося в пузырьках метана, как было показано в численных экспериментах с математической моделью газообмена метановых пузырьков с водной средой (раздел 4).

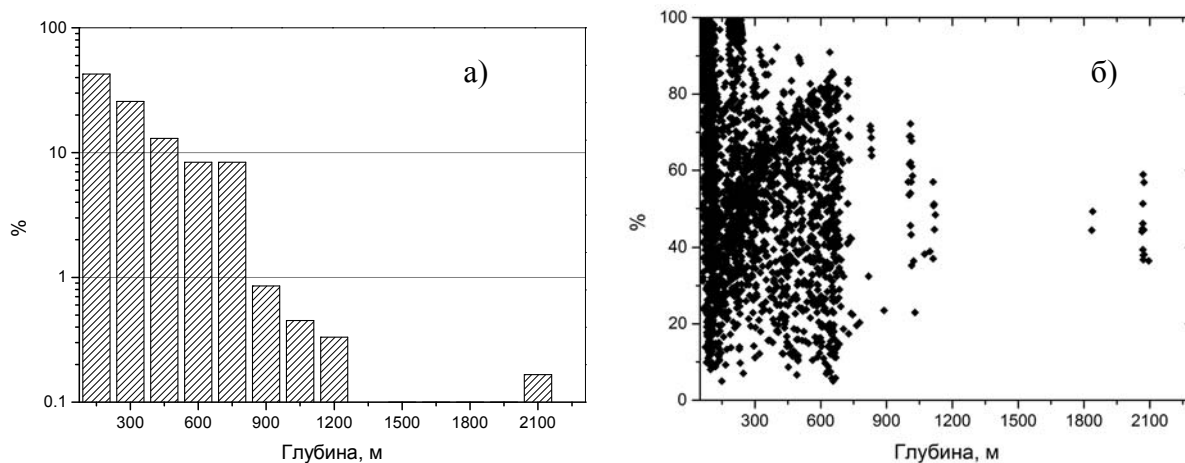


Рис. 6. Гистограмма распределения газовыделений по глубине (а) и вертикальная протяженность газовых факелов относительно глубины моря (б).

Существование метановых сипов в зоне стабильности газогидратов на глубинах свыше 725 м связано, в основном, с явлениями грязевого вулканизма и диапиризма во впадине Сорокина и в глубоководной части грузинского сектора. Всего за период исследований было выявлено в разные годы 11 активных грязевых вулканов

во впадине Сорокина, над вершинами которых наблюдались газовые факелы высотой до 1300 м. Данные свидетельствуют о периодической временной изменчивости газового потока от грязевых вулканов с длительностью полного цикла «активная фаза – неактивная фаза», составляющей, приблизительно, 4.5 года (рис. 7).

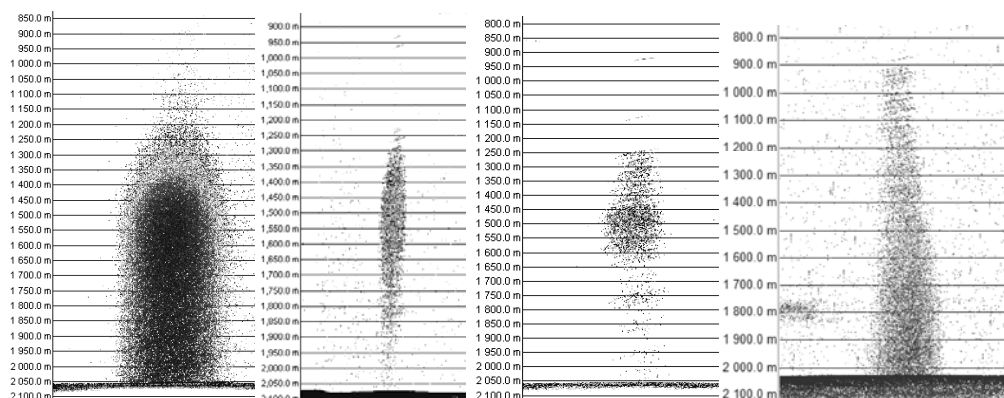


Рис. 7. Эхограммы газового факела над вулканом Двуреченский в различные годы: (а) – июнь 2002 г., (б) – май 2003 г., (в) – июнь 2004 г., (г) – апрель 2007 г.

Наибольшее количество струйных газовыделений было обнаружено и закартировано на батиметрической карте высокого разрешения (с шагом сетки 2"×2") в палео-дельтах рек Днепр-Каланчак и Дон-Кубань (суммарно 3343 сипа) на участках, прилегающих к кромке шельфа Черного моря. На континентальном склоне газовые выходы обнаруживались, преимущественно, на вершинах образованных осадочными породами горных хребтов, на испещрённых рвами стенках каньонов и на откосах подводных оползней. Меньшее количество сипов было детектировано на дне каньонов (рис. 8).

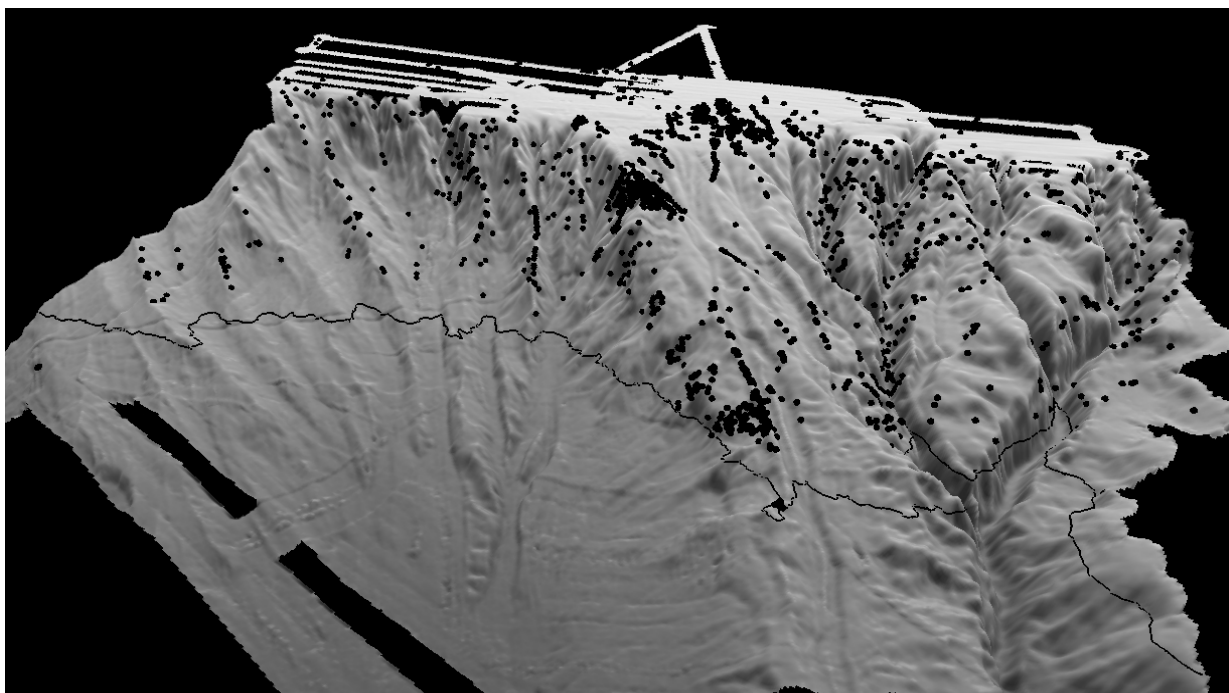


Рис. 8. Струйные газовыделения (черные точки) на батиметрической карте морского дна в районе палео-дельты р. Днепр-Каланчак. Линия – изобата 725 м.

Согласно полученным данным, распределение сипов в исследованных районах было неравномерным и пространственно совпадало на отдельных участках с геодинамическими зонами различных рангов и порядков, причем, метановые сипы встречались в непосредственной близости от месторождений нефти и газа, а расположение некоторых из них совпадало с перспективными, по данным нефтегазоразведки, структурами: Палласа, Дрейфовая, Моряна, Ю. Керченская и др. Вместе с тем, проведенные исследования не выявили однозначного соответствия между пространственным распределением струйных газовыделений и разведанными углеводородными залежами в Черном море.

В **Разделе 4** описываются результаты исследования особенностей газообмена между пузырьками струйных газовыделений и водным столбом [1]. В ходе исследований выполнялись визуальные и акустические наблюдения газовых факелов и отдельных пузырьков над площадками струйной разгрузки во всем диапазоне глубин в различных районах Черного моря. Ненаблюдаемые параметры, в том числе, газовый состав пузырьков, оценивались методом математического моделирования.

Полученные данные выявили консервативность формы и размерного состава выделяющихся из морского дна природных метановых пузырьков, которые, независимо от района и глубины, принимали простую сферическую или эллиптическую форму диаметром от 2.0 до 17.0 мм, поэтому эволюция пузырьков в водном столбе полагалось зависящей, в основном, от двух параметров, имеющих одинаковую размерность (см/сек), – скорости подъема пузырька v_b и скорости массопереноса газа k_b через окружающий пузырек тонкий пограничный слой газ-вода (Clift et al., 1978). В отличие от моделей, основанных на параметризации v_b и k_b эмпирическими аппроксимациями, авторская модель осуществляет автоматический пересчет значений v_b и k_b для любого момента времени пребывания пузырьков в водной среде в зависимости от размеров «жесткого» сферического сегмента, формирующегося в результате перемещения набегающим водным потоком молекул поверхностно активных веществ в нижнюю часть пузырька и вызывает «эффект Марангони».

Впервые для параметризации модели применен показатель адсорбционной способности поверхностно-активных веществ в Чёрном море, значение которого оценено по данным акустических наблюдений скорости подъёма, эволюции размеров, а также высоты подъёма одиночных метановых пузырьков струйных газовыделений в водном столбе.

Для расчета состояния газовых пузырьков выбрано уравнение Пенга-Робинсона (PREOS), обеспечивающего высокую точность и возможность получения аналитических решений для многокомпонентных газовых смесей в широком диапазоне глубин.

Расчеты потоков Φ_a для газовыделений с типичным для Черного моря размерным составом метановых пузырьков позволили установить, что подавляющее количество газообразного метана, поступающего с пузырьками в водный столб, переходит в растворенную форму. Результаты численных экспериментов с моделью показали, что прямая эмиссия газообразного метана возможна лишь на глубинах, не превышающих 262 м, что полностью согласуется с данными полевых исследований (рис. 7, б, 9).

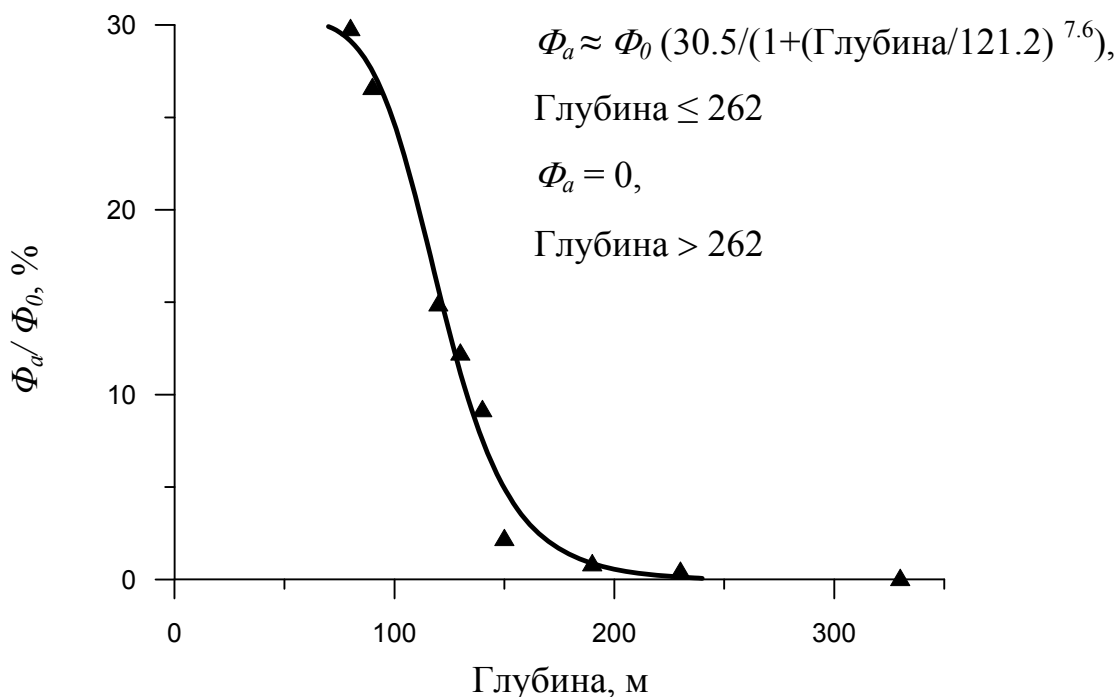


Рис. 9. Зависимость Φ_a / Φ_0 от глубины расположения сипов (▲). Сплошная линия – аппроксимирующая кривая. Приведено уравнение аппроксимации.

В Разделе 5 представлены основные результаты оценки потоков струйного метана в Черном море [10, 19, 1].

Впервые по единой методике были рассчитаны потоки газовой разгрузки в Черном море в диапазоне глубин от 14 до 2100 м с использованием акустических данных и математической модели газообмена между газовым пузырьком и водной средой, основанной на уравнении состояния реальных газов Пенга-Робинсона. Получены оценки потока метана от струйных газовыделений, статистическое распределение которых соответствует логнормальному закону (рис. 10).

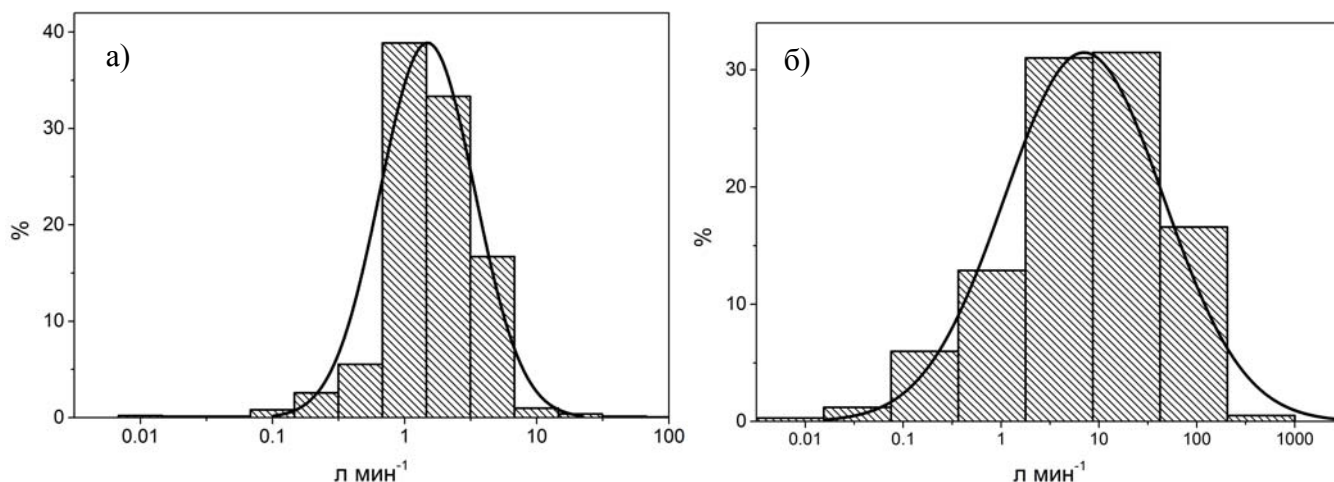


Рис. 10. Гистограммы распределения индивидуальных начальных потоков сипов в шельфовом (а) и глубоководном (б) участках Черного моря.

Оценено, что интегральное поступление метана от зарегистрированных в Черном море очагов струйной разгрузки в водный столб составляет $37.2 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \text{ год}^{-1}$, а поступление в атмосферу не превышает $4.9 \cdot 10^5 \text{ м}^3 \text{ год}^{-1}$ (таблица 1).

Таблица 1

**Интегральные оценки потока метановых газовыделений
в исследованных районах Черного моря**

Район	Количество сипов	Поток метана в водный столб м ³ /год	Поток метана в атмосферу м ³ /год
Западный (включая каньон Витязь, палео-Днепр с прилегающими областями, акваторию г. Севастополя)	3119	24.6 10 ⁶	4.2 10 ⁵
Прикерченский	645	6.6 10 ⁶	2.0 10 ⁴
Впадина Сорокина	11	2.9 10 ⁵	0
Всего	4381	37.2 10 ⁶	4.9 10 ⁵

Поступление в водный столб пузырькового метана от грязевых вулканов «Двуреченский» и «Водяницкий» во впадине Сорокина составляет в периоды активности 9 – 70 м³ сут⁻¹.

Согласно полученным оценкам, водный столб Черного моря является эффективным фильтром, улавливающим поступающий из литосферы свободный метан. При этом, прямой вклад струйных газовыделений в атмосферную эмиссию метана в масштабах всего Черного моря не представляется значительным. Напротив, почти весь углерод метана струйных газовыделений растворяется в водной толще и вносится в биогеохимические циклы и биолого-продукционные процессы Черного моря.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Создан банк электронных эхোগрам, содержащий информацию о расположении, интенсивности и вертикальной протяженности 5197 газовых факелов в диапазоне глубин от 14 до 2100 м, по которым однозначно идентифицирована 4381 площадка газовой разгрузки дна в Черном море.
2. Предложен новый метод детектирования газовых факелов и измерения физических параметров газовых струй с использованием эхолота с расщепленным лучом.
3. Установлено, что абсолютное большинство струйных метановых газовыделений в Черном море приурочено к палео-дельтам крупных рек и континентальному склону, пространственно совпадая на многих участках с геодинамическими зонами. Показано, что свыше 98% газовыделений расположено выше фазовой границы стабильности метановых гидратов в Черном море (725 м). В глубоководной части Черного моря струйные газовыделения привязаны, в основном, к районам активного развития грязевого вулканизма и диапиризма.

4. Впервые по единой методике рассчитаны потоки газовой разгрузки в Черном море в диапазоне глубин от 14 до 2100 м с использованием акустических данных и разработанной математической модели газообмена между газовым пузырьком и водной средой, основанной на уравнении состояния реальных газов Пенга-Робинсона. Оценено, что интегральное поступление метана от зарегистрированных в Черном море очагов струйной разгрузки в водный столб составляет $37.2 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \text{ год}^{-1}$, а поступление в атмосферу не превышает $4.9 \cdot 10^5 \text{ м}^3 \text{ год}^{-1}$.
5. Обнаружено, что струйные газовыделения могут достигать поверхности моря с глубин менее 250 м, метан струйных газовыделений с больших глубин полностью растворяется в водном столбе. Над вершинами глубоководных грязевых вулканов газовые струи могут подниматься на 1000 и более метров при образовании на поверхности метановых пузырьков газогидратной пленки, препятствующей газообмену пузырьков с водной средой.
6. Впервые зарегистрирована пузырьковая метановая разгрузка грязевых вулканов и газовыделяющих структур в диапазоне глубин 900-2000 м в Черном море и получены оценки периодичности активной фазы грязевых вулканов во впадине Сорокина. Поступление в водный столб пузырькового метана от грязевых вулканов «Двуреченский» и «Водяницкий» во впадине Сорокина составляет в периоды активности $9 - 70 \text{ м}^3 \text{ сут}^{-1}$.
7. Показано, что ресурсный фактор струйных метановых газовыделений исследованных районов Черного моря оценивается 2.5% от объема добычи природного газа ГАК «Черноморнефтегаз» за сопоставимый период в 2013 г.
8. Установлено, что в в палео-дельте р. Днепр и в Керченско-Таманском регионах Черного моря метановые сипы встречаются в непосредственной близости от месторождений нефти и газа, а расположение некоторых из них совпадает с перспективными, по данным нефтегазоразведки, структурами, однако наличие струйных газовыделений не является однозначным индикатором углеводородных залежей.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ,
которые содержатся в изданиях, включенных в перечень ДАК МОН Украины
«географические науки»

1. Егоров В. Н. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль / В.Н. Егоров, Ю.Г. Артемов, С.Б. Гулин, ИнБЮМ НАНУ, Под ред. Г. Г. Поликарпова – Севастополь. НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. – 405 с.
2. Метановые газовыделения со дна Черного моря в приустьевой зоне реки Супса у побережья Грузии / Г.И. Ткешелашвили, В.Н. Егоров, Ш.А. Мествиришвили, Г.Ш. Пархаладзе, М.Б. Гулин, С.Б. Гулин, **Ю.Г. Артемов** // Геохимия. – 1997. – 35, № 3. – С. 331 – 335.
3. Нові струминні метанові газові виділення із дна моря в акваторії Севастополя / В.М Єремєєв, В. М. Єгоров, Г.Г. Полікарпов, **Ю.Г. Артемов**, С.Б. Гулін, Д.Б.

- Євтушенко, В.М. Поповічев, М.О. Нежданов О.І. Стокозов // Вісник НАН України. – 2007. – № 4. – С. 47 – 50.
4. 1300-m-high rising bubbles from mud volcanoes at 2080 m in the Black Sea: Hydroacoustic characteristics and temporal variability / J. Greinert, **Yu.G. Artemov**, V. Egorov, M. De Batist, D. McGinnis // Earth Planet. Sci. Lett. – 2006. – 244. – P. 1 – 15.
 5. Fate of rising methane bubbles in stratified waters: How much methane reaches the atmosphere? / D. F. McGinnis, J. Greinert, **Yu.G. Artemov**, S.E. Beaubien, A. Wüest // J. Geophys. Res. – 2006. – 111, no. C09007. – P. 1 – 15.
 6. Geological and morphological setting of 2778 methane seeps in the Dnepr paleo-delta, northwestern Black Sea / L. Naudts, J. Greinert, **Yu.G. Artemov**, P. Staelens, J. Poort, P. Van Rensbergen, M. De Batist // Marine Geology – 2006. – 227. – P. 177 – 199.
 7. Geo - and hydro-acoustic manifestations of shallow gas and gas seeps in the Dnepr paleo-delta, northwestern Black Sea / L. Naudts, M. De Batist, J. Greinert, **Yu.G. Artemov** // The Leading Edge. – 2009. – 28(9). – P. 1030 – 1040. Режим доступа к информации: doi:10.1190/1.3236372.
 8. Vodyanitskii Mud Volcano, Sorokin Trough, Black Sea: Geological characterization and quantification of gas bubble streams / S. Sahling, G. Bohrmann, **Yu.G. Artemov**, A. Bahr, M. Bruning, S.A. Klapp, I. Klaucke, E. Kozlova, A. Nikolovska, T. Pape, A. Reitz, K. Wallmann // Marine and Petroleum Geology. – 2009. – Vol. 26 (9). – P. 1799 – 1811.
 9. Methane seeps in the Black Sea: discovery, quantification and environmental assessment / Viktor N. Egorov, **Yuriy G. Artemov**, Sergei B. Gulín, Gennadiy G. Polikarpov // J. Black Sea / Mediterranean Environment. – 2011. – Vol. 16(1). – P. 171. – 185.

СПИСОК СТАТЕЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

в других изданиях и тезисов в сборниках материалов научных конференций

10. Влияние струйных метановых газовыделений из дна Черного моря на мелко-масштабные процессы вертикального перемешивания вод / В.Н. Егоров, Г.Г. Поликарпов, М.Б. Гулин, **Ю.Г. Артемов**, Н.А. Стокозов, С.Б. Гулин // Доповіді НАН України. – 1999. – № 8. – С. 186 – 190.
11. Современные представления о средообразующей и экологической роли струйных метановых газовыделений со дна черного моря / В.Н. Егоров, Г.Г. Поликарпов, С.Б. Гулин, **Ю.Г. Артемов**, Н.А. Стокозов, С.К. Костова // Морской экологический журнал. – 2003. – 2, № 3. – С. 5 – 26.
12. Новое поле газовых факелов в западной части Черного моря / Е. Ф. Шнюков, С. А. Клещенко, **Ю.Г. Артемов** // Геофизический журн. – 2003. – Т. 25, № 2. – С. 153 – 160.
13. Газовые факелы на Керченско-Таманском взморье / Е. Ф. Шнюков, А.А. Пасынков, С.А. Клещенко, **Ю.Г. Артемов**, В.Н. Егоров, С.Б. Гулин // Геофизический журн. – 2003. – Т. 25, №2. – С. 161 – 169.

14. Струйные газовыделения в акватории внешнего рейда г. Севастополя / В.Н. Егоров, М.Б. Гулин, С.Б. Гулин, **Ю.Г. Артемов**, И.А. Гусева // Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка. Сер. Біологія. Спец. вип. – 2005. – Гідроекологія, № 4(27). – С. 80 – 82.
15. Эмиссия метана в гидро - и атмосферу струйными газовыделениями в районе палео-дельты р. Днепр в Черном море / **Ю.Г. Артемов**, В.Н. Егоров, Г.Г. Поликарпов, С.Б. Гулин // Доповіді НАН України. – 2007. – № 5. – С. 110 – 116.
16. Оценка потенциальной экологической опасности от струйных метановых газовыделений со дна Черного моря / В.Н. Егоров, **Ю.Г. Артемов**, Г.Г. Поликарпов, С.Б. Гулин, Л.В., Малахова Т.В. Малахова // Морской экологический журнал. – 2008. – 7, № 1. – С. 23 – 29.
17. Новые каналы струйной разгрузки метана во впадине Сорокина в глубоководной части Черного моря / **Ю.Г. Артемов**, В.Н. Егоров, С.Б. Гулин, Г.Г. Поликарпов // Морской экологический журнал. – 2013. – 12, № 4. – С. 27 – 36.
18. **Artemov Yu.G.** Software support for investigation of natural methane seeps by hydroacoustic method / **Yu.G. Artemov** // Marine Ecological Journal. – 2006. – 5, no. 1. – P. 57 – 71.
19. Methane emission to the hydro – and atmosphere by gas bubble streams in the Dnieper paleo-delta, the Black Sea / **Yu.G. Artemov**, V.N. Egorov, G.G. Polikarpov, S.B. Gulin // Marine Ecological Journal. – 2007. – 6, no. 3. – P. 5 – 26.
20. **Artemov Yu.G.** Flare Imaging / **Yu.G. Artemov** // RV Meteor. Cruise Rep. M52/1/ Margash Marine Gas Hydrates of the Black Sea. Kiel, 2002. – P. 47 – 49.
21. **Artemov Yu.G.** Acoustic observations of gas bubble streams in the NW Black Sea as a method for estimation of gas flux from vent sites / **Yu.G. Artemov** // EGS-AGU-EUG Joint Assembly: intern. conf., 6–11 April, 2003. abstr. – Nice, France, 2003. – V. 5, 09421.
22. **Artemov Yu.G.** Methane flux to the water column and atmosphere from natural seepages in the Black Sea: a modeling approach based on hydroacoustic observations / **Yu.G. Artemov** // International Workshop on methane in sediments and water column of the Black Sea: Formation, transport pathways and the role within the carbon cycle: int. conf., Sevastopol, Ukraine, May 17-22, 2005: abstr. – Bremen, Germany, 2005. – P.8—9.
23. **Artemov Yu.G.** Dispersed methane flux to the water column from natural gas bubble streams at the Black Sea shelf / **Yu.G. Artemov**, J. Greinert, D. McGinnis, M. De Batist, V.N. Egorov // EGU General Assembly 2005: int. conf., 24–29 April, 2005: abstr. – Vienna, Austria, 2005. – V. 7, 01361
24. Subbottom profiling and plume imaging / A. Nikolovska, **Yu.G. Artemov**, H. Sahling, M. Brüning, S. Althoff. // Report and preliminary results of RV Meteor Cruise M72/3, Istanbul – Trabzon – Istanbul, 17 March – 23 April 2007. Marine gas hydrates of the Eastern Black Sea. Bremen. – 2007. – P. 25 – 32.
25. Gas and oil seeps on Kobuleti ridge, South-Eastern Black Sea – seepage from various sources / G. Bohrmann, M. Ivanov, H. Sahling, T. Pape, **Yu.G. Artemov**, A. Bahr, S. Klapp, E. Kozlova, H. Keil, V. Spiess, M. Wagner-Friedrich, K. Wallmann Gas and oil seeps on Kobuleti ridge, South-Eastern Black Sea – seepage from various sources

// 10th International Conference on Gas in Marine Sediments: int. conf., September 6-12, 2010: abstr. – Listvyanka, Lake Baikal, Russia, 2010. – P. 20.

АНОТАЦІЯ

Артемюв Ю.Г. Розподіл і потоки метанових струменевих газовиділень в Чорному морі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук за спеціальністю 11.00.08 – океанологія. Морський гідрофізичний інститут НАН України, Севастополь, 2014.

Робота присвячена дослідженню бульбашкових газовиділень і отриманню кількісних параметрів субмариною газового розвантаження у всьому діапазоні глибин Чорного моря на основі акустичних даних, зібраних в експедиціях останніх років на науково-дослідних судах України та Німеччини. Ці дані дозволили вивчити локалізацію метанових сипів, особливості їх просторово-батиметричного розподілу і приуроченість до розвіданих вуглеводневих родовищ, оцінити потоки метану від окремих струменів і отримати осереднені потоки по районах Чорного моря, визначити рівень надходження вільного метану в атмосферу і води Чорного моря. Проведені дослідження дозволяють уточнити баланс метану в Чорному морі і оцінити внесок регіону в парниковий ефект. Дані щодо локалізації осередків газового розвантаження і потоку метану дають уявлення про явище струменевих газовиділень як екологічному та ресурсному факторі, а також використовуватися як компонент системи пошуку вуглеводневих родовищ.

Ключові слова: Чорне море, струменеві газовиділення, банк електронних ехограм, потоки метану, акустичний метод.

АННОТАЦИЯ

Артемюв Ю.Г. Распределение и потоки метановых струйных газовыделений в Черном море. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.08 – океанология. Морской гидрофизический институт НАН Украины, Севастополь, 2014.

Работа посвящена исследованию пузырьковых газовыделений и получению количественных параметров субмариной газовой разгрузки во всем диапазоне глубин Черного моря на основе акустических данных, собранных в экспедициях последних лет на научно-исследовательских судах Украины и Германии. Предложен новый метод детектирования газовых факелов и измерения физических параметров газовых струй с использованием эхолота с расщепленным лучом. Создан банк электронных эхограмм, содержащий информацию о локализации, интенсивности и вертикальной протяженности газовых струй с 5197 площадок газовой разгрузки дна в Черном море в диапазоне глубин от 14 до 2000 м, из которых однозначно идентифицировано 4381 площадка газовой разгрузки дна в Черном море, в том числе для 2955 площадок географические координаты определены с точностью до метров. Установлено, что распределение очагов газовой разгрузки в Черном море неравномерно по акватории и глубине и зависит от барьерного эффекта газогидратов в донных осадках, препятствующих восходящей миграции метана. Свыше 98% газовыделений

располагаются выше фазовой границы стабильности метановых гидратов (725 м для Черного моря) и приурочены к палео-руслам рек Дунай, Днепр-Каланчак, Дон-Кубань, конусу выноса закавказских рек и западному континентальному склону с прилегающим шельфом, пространственно совпадая на многих участках с геодинамическими зонами различных рангов и порядков. Оценено, что интегральное поступление метана от зарегистрированных в Черном море очагов струйной разгрузки в водный столб составляет $37.2 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \text{ год}^{-1}$, а поступление в атмосферу не превышает $4.9 \cdot 10^5 \text{ м}^3 \text{ год}^{-1}$. Поступление в водный столб пузырькового метана от грязевых вулканов «Двуреченский» и «Водяницкий» во впадине Сорокина составляет в периоды активности $9 - 70 \text{ м}^3 \text{ сут}^{-1}$.

Ключевые слова: Черное море, струйные газовыделения, банк электронных эхограмм, потоки метана, акустический метод.

THE SUMMARY

Artemov Yu.G. Distribution and fluxes of streaming (bubbling) methane in the Black Sea. –Manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in geographical sciences, speciality 11.00.08 – Oceanology. Marine Hydrophysical Institute National Academy of Sciences of the Ukraine, Sevastopol, 2014.

The work is dedicated to the study of bubble gas emission and obtaining quantitative parameters of submarine gas discharge over the entire range of depths of the Black Sea based on acoustic data collected during expeditions in recent years on research vessels of Ukraine and Germany. These data allowed studying the localization of methane seeps, particularly of their spatial and bathymetric distribution and confinement to proven hydrocarbon fields, to assess fluxes of methane from individual jets and get averaged flows from areas of the Black Sea, to determine the level of the free flow of methane into the atmosphere and waters of the Black Sea. The studies conducted allow to clarify the balance of methane in the Black Sea and to evaluate the contribution of the region to the greenhouse effect. Data on the localization of gas discharging sites and methane flux give an idea about the phenomenon of gas bubble streams as an environmental and resource factor, as well as used as a component of the investigation of hydrocarbon deposits.

Keywords: the Black Sea, gas bubble streams, bank of electronic echograms, methane fluxes, acoustic method.

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук
Артёмова Юрия Георгиевича

Подписано к печати __.__.2014 г.

Формат бумаги 60 × 90/16

Объем 0.9 авт.л.

Заказ

Тираж 100 экз.

Напечатано в НРЦ «Экоси-Гидрофизика»

299011, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

тел/факс (+78692) 54-31-46

Свидетельство о государственной регистрации

серия ДК № 914 от 16.02.02