ЛОКАЛИЗАЦИЯ СТРУЙНЫХ ГАЗОВЫХ ВЫХОДОВ ИЗ ДНА БУХТЫ ЛАСПИ

Ю.Г. Артёмов, Д.Б. Евтушенко, И.Н. Мосейченко

Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН (ИМБИ РАН)
РФ, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail: yu.g.artemov@gmail.com

За время проведения эхо-съемок в открытой части бухты Ласпи был пройден путь протяженностью более 25 км. Площадь морского дна, охваченного акустическими наблюдениями, составила, приблизительно, $41,5 \cdot 10^3 \text{ м}^2$. Суммарно, обнаружено 5 акустических аномалий, идентифицирующих наличие струйных газовыделений в диапазоне глубин 14–24 м. Предполагается, что эти газовыделения связаны с сипами в кутовой части бухты единым глубинным источником углеводородных газов.

Ключевые слова: Черное море, струйные газовыделения, гидроакустический метод, бухта Ласпи.

Введение. Исследования последних лет показали, что струйные газовыделения из морского дна (газовые сипы) повсеместно распространены на шельфе и континентальном склоне Мирового океана. В Черном море впервые струйные газовыделения в сероводородной зоне были обнаружены в 1989 г. по результатам исследований в 28-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» [1]. В дальнейшем акватория Черного моря послужила полигоном для многочисленных исследований, связанных с явлением струйных газовыделений, среди которых следует отметить: анализ локализации, пространственного распределения и экологической роли сипов; изучение геологических условий формирования газовых источников; изучение механизмов бактериального окисления метана и образования карбонатных построек в условиях сероводородного заражения вод; оценка возраста и определение генезиса метана в Черном море; оценка значимости феномена газовых сипов как потенциального источника атмосферного метана [2].

Сравнительно недавно внимание исследователей привлекли прибрежные районы, где визуально определялось наличие пузырьковых выходов метана, в том числе в Севастопольских бухтах: Ласпи, Казачей, Херсонесской и др.

Основной фокус интересов, связанных с этими объектами, смещен в сторону проведения биогеохимических и микробиологических исследований процессов метаногенеза и метаноокисления в прибрежных донных отложениях и в водном столбе. Так, в работе [3] были сделаны оценки химического состава газов, определен генезис метана, получены характеристики его вертикального распределения в толще донных осадков, получены сравнительные оценки потоков струйного метана и активности микробных процессов в зонах газовыделений, а также определены сезонные тренды изменения концентрации метана в водной среде и придном слое атмосферы.

Ранее исследования метановых пузырьковых выделений в бух. Ласпи ограничивались мелководной – кутовой – частью бухты на глубинах до трех метров. В настоящей работе представлены результаты впервые проведенного в 2017 г. поиска струйных выделений в глубоководной части бухты.

Материал и методика. Для поиска и регистрации местоположения газовых струй использовался эхолот SeaChart 480 DF с приемником GPS и выносной гидроакустической антенной 60° Skimmer®, работающей на частоте 200 кГц (рис. 1).

Рис. 1. Переносной гидроакустический комплекс SeaCharter 480 DF в составе: бортовой блок (1), гидроакустическая антенна 50/200 кГц (2), приемник GPS (3), универсальное устройство крепления антенны на борту судна (4), а также лэптоп, оборудованный кард-ридером для чтения и обработки выходных данных эхолота (5)

Эхолот SeaCharter 480 DF является представителем новой серии эхолотов-навигаторов, основное отличие которых состоит в возможности регистрации навигационных данных и эхограмм в цифровой форме на флеш-карту.

Эхолот записывает информацию двоичными блоками постоянной длины (1970 байт), содержащими заголовки и массив отсчетов уровня эхо-сигнала. Длина заголовков может меняться в зависимости от количества и состава содержащихся в нем параметров, что, в свою очередь, определяется значением специального 16-битового маркера заголовка. Эхограммы выводятся эхолотом в виде последовательностей целых чисел, принимающих значение 0–255, соответствующих логарифму значений уровня (квадрата огибающей) эхо-сигнала. По

результатам изучения формата записей эхолота SeaCharter 480 DF была разработана процедура чтения этих записей программой WaveLens [4], применяемой ранее для обработки данных различных видов эхолотов – SIMRAD EK-500, SIMRAD EK60, ATLAS PARASOUND (DS, DS-3).

В качестве плавсредства – носителя акустического прибора использовался катер типа «Зодиак», базирующийся на НИС «Профессор Водяницкий» (принадлежит ИМБИ РАН, г. Севастополь). Из-за конструктивных особенностей катера антенна была закреплена не вертикально, а под углом, обеспечивая, тем не менее, близкую к горизонтальной ориентацию поверхности излучателя антенны (рис. 2).

Рис. 2. Размещение оборудования на катере типа «Зодиак»

Выходы в море состоялись 30.03.2017 и 19.07.2017 в благоприятную погоду. Данные проведенных эхо-съемок (полные профили обратного рассеяния и результаты промера глубин) записывались в реальном масштабе времени на магнитный носитель типа СД-диск для пост-обработки и детального анализа с помощью специализированного математического обеспечения.

Полученные результаты. Общая продолжительность двух эхо-съемок составила 2 ч 20 мин. За это время был пройден путь протяженностью более 25 км. Площадь морского дна, охваченного акустическими наблюдениями, составила, приблизительно, $41,5 \cdot 10^3 \text{ м}^2$. Суммарно обнаружено 5 акустических аномалий, идентифицирующих наличие струйных газовыделений в диапазоне глубин 14–24 м (рис. 3).

Благодаря плотному покрытию исследованного района сеткой галсов, полученные данные промера глубин оказались удовлетворительными для построения ознакомительной батиметрической карты бух. Ласпи. На рис. 4 батиметрическая карта, маршруты эхо-съемок и

местоположение идентифицированных выходов струйного газа вмонтированы в карту Google Earth.

Рис. 3. Фрагмент эхограммы, идентифицирующий струйные газовыделения в открытой (глубоководной) части бух. Ласпи. Эхограмма получена 19.07.2017

Рис. 4. Батиметрическая карта бух. Ласпи (цифры обозначают глубины, м), маршруты эхо-съемок 30.03.2017 и 19.07.2017 (ломаные черные линии) и местоположение идентифицированных выходов струйного газа (красные звезды), вмонтированные в карту Google Earth

Обсуждение результатов. По глубине расположения, обнаруженные выходы газовых струй сопоставимы с метановыми сипами в створе Севастопольской бухты, где в октябре 2011 г. на площади $13,5 \cdot 10^3 \text{ м}^2$ с помощью такого же акустического комплекса было обнаружено 23 сипа в диапазоне глубин 16,7–18,1 м [5]. На эхограммах, полученных на якорных стоянках в этом районе, были зарегистрированы акустические треки одиночных газовых пузырей, по наклону которых определено средствами программы WaveLens, что начальная скорость всплытия пузырьков составляет $20,4\text{--}29,1 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, а их размеры могут принимать значения в диапазоне 1,1–1,3 мм в диаметре. Взятые на якорных станциях пробы грунта показали, что осадки представлены глинистыми алевритами с примесью песчаных зерен, а биогеохимические характеристики поверхностных слоев донных отложений могут быть индикаторами поступления биогенного (холодного) метана из глубинных слоев осадочной толщи. При этом, дальнейшими исследованиями был установлен сезонный характер струйных га-

зопроявления в этом районе, что, вероятно, связано с влиянием различных факторов на баланс процессов метаногенеза и метаноокисления в донных осадках.

В отличие от сипов в Севастопольской бухте, обнаруженные впервые сипы в бух. Ласпи частично расположены на крутом склоне с уклоном, достигающем 46%. При такой особенности ландшафта образование современных илистых грунтов в районе выхода сипов невозможно. Тем более, что подобный тип осадков не наблюдался и в ранее исследованной кутовой части бух. Ласпи, где участок газовыделения находится на абразионной террасе, перекрытой маломощным чехлом морских пляжных отложений, представленных отдельными валунами, галечником, гравием и песками, а микробиологический анализ не выявил каких-либо признаков развития активных микробных процессов в донных осадках [3]. Соответственно, струйные газовыделения отмечались в июле, сентябре, октябре 2014 г. и сезонных изменений в их активности обнаружено не было. Обобщая результаты исследований в кутовой

части бух. Ласпи, включая анализ компонентного и изотопного состава газовыделений, авторы [3] заключают, что газ имеет глубинное происхождение и источник газовыделения, возможно, находится в угленосных породах средней юры (возраст $199,6 \pm 0,6$ млн лет). Если это справедливо и сипы в открытой и кутовой частях бух. Ласпи имеют одинаковый генезис, то район бух. Ласпи может быть отнесен к геодинамически активной зоне, заключающей в себя флюидопроницаемые разрывные нарушения, глубинные разломы, участки повышенной трещиноватости.

В любом случае, полученные данные свидетельствуют о существовании возможной аномальной зоны в непосредственной близости от популярного рекреационного объекта г. Севастополя, в связи с чем представляется необходимым проведение комплексных исследований в бух. Ласпи и выработка инженерно-геологических и экологических рекомендаций для этого района.

Заключение. В результате проведенных исследований обнаружены струйные газовыделения в открытой (глубоководной) части бух. Ласпи, которые, возможно, связаны с сипами в кутовой части единым глубинным источником углеводородных газов.

Работа подготовлена по теме государственного задания ФГБУН ИМБИ "Изучение механизмов адаптации,

трансформации и эволюции морских и океанических экосистем в условиях климатических изменений и антропогенного влияния", номер гос. регистрации 115081110014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Поликарпов Г.Г., Егоров В.М.* Выявлено активні газовиділення з дна Чорного моря // Вісн. АН УРСР. 1989. № 10. С. 108–111.
2. *Егоров В.Н., Артёмов Ю.Г., Гулин С.Б.* Метановые сипы в Чёрном море; средообразующая и экологическая роль / под ред. Г.Г. Поликарпова. Севастополь: НПП ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 405 с.
3. *Микробные процессы и генезис струйных метановых газовыделений прибрежных районов Крымского полуострова / Т.В. Малахова, Т.А. Канапацкий, В.Н. Егоров [и др.] // Микробиология. 2015. 84, № 6. С. 743–752.*
4. *Artemov Yu.G.* Software support for investigation of natural methane seeps by hydroacoustic method // Marine Ecol. J., 2006. Vol. 5. P. 57–71.
5. *Биогеохимические характеристики распределения метана в воде и донных осадках в местах струйных газовыделений в акватории Севастопольских бухт / В.Н. Егоров, Н.В. Пименов, Т.В. Малахова [и др.] // Морск. экол. журнал. 2012. Т. XI. № 3. С. 41–52.*

LOCALIZATION OF GAS BUBBLE STREAMS FROM THE BOTTOM OF THE LASPI BAY

Yu.G. Artemov, D.B. Evtushenko, I.N. Moseichenko

Institute of Marine Biological Research, Russian Federation, Sevastopol, Nakhimov Av., 2

During the echo-survey at the open part of the bay of Laspi, a path of more than 25 km was passed. The area covered by acoustic observations was, approximately, $41,5 \cdot 10^3$ m². In total, 5 acoustic anomalies were revealed, identifying the presence of gas bubble streams in the depth range 14 - 24 m. It is assumed they are originated from the same deep source of hydrocarbon gases from which methane emits at the apex of the bay.

Keywords: Black Sea, gas bubble streams, hydroacoustics, the bay of Laspi.