

Е.Ф. Шнюков¹, В.П. Коболев²

¹ Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины, Киев

² Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев

СТРУЙНЫЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ДНА ЧЕРНОГО МОРЯ — УНИКАЛЬНЫЙ СРЕДООБРАЗУЮЩИЙ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ И РЕСУРСНЫЙ ФЕНОМЕН

Рассмотрены результаты исследований, приведенные в монографии В.Н. Егорова, Ю.Г. Артемова, С.Б. Гулина «Метановые сипы в Черном море — средообразующая и экологическая роль», вышедшей в свет в 2011 г. под редакцией академика НАН Украины Г.Г. Поликарпова.

Ключевые слова: газовые гидраты, газовые сипы, северо-западный шельф Черного моря.

Явление активного газовыделения со дна Черного моря известно достаточно давно. Первое описание выбросов газа на северо-западном шельфе Черного моря принадлежит известному советскому геологу, профессору С.П. Попову (1928). Во время Крымского землетрясения 11 сентября 1927 г. он наблюдал между Севастополем и мысом Лукулл серию огромных вспышек огня в виде одиноких столбов и длинных полос высотой до 500 м и шириной до 30 м. По его мнению, причиной взрывов являлся метан, который мигрировал из глубины недр вдоль нарушений земной коры под действием тектонических сил, вызвавших это катастрофическое событие.

И только спустя полстолетия, первые случайные выходы пузырьков газа были визуальным образом зафиксированы на мелководье в прибрежной части Черного моря в бухте Балчик на побережье Болгарии (Dimitrov et al., 1979). Несколько позже в 1985 г. на мидиевой банке к югу от косы Тендра и острова Джарыглич с помощью подводной лаборатории «Бентос-300» на глубине моря до 40 м были обнаружены конические сооружения размером 0,5—0,7 м, из вершин которых выделялись пузырьки газа (Геворкьян, Бураков, Исагулова и др., 1991).

Ради чистоты изложения следует отметить, что подводные газовые выделения на западном шельфе Черного моря по утверждению А.К. Рязанова (Рязанов, 1996) были впервые обнаружены и

© Е.Ф. ШНЮКОВ, В.П. КОБОЛЕВ, 2013

описаны в 1988 г. * Надо отдать должное авторам, которые этот факт не оставили без внимания.

Однако обнаружение феномена широкого распространения струйных метановых газовыделений со дна Черного моря все же принадлежит сотрудникам Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины. В 1989 г. в 28-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» под руководством начальника экспедиции Г.Г. Поликарпова (в то время член-корр. АН УССР) в северо-западной части Черного моря было зафиксировано около 100 акустических аномалий в виде отдельных сипов, фонтанов и облаков. Они были приурочены к вершине Дунайского каньона и располагались в зоне перехода от шельфа к материковому склону. Результаты этих исследований впервые стали достоянием научной общественности в 1989 г. (Поликарпов, Егоров, 1989, Поликарпов, Егоров, Нежданов и др., 1989).

Начиная с этого времени струйные газовыделения со дна Черного моря стали предметом многочисленных отечественных и международных мультидисциплинарных экспедиционных исследований, ввиду их потенциального влияния на геосферу, биосферу, гидросферу и атмосферу. Прежде всего, интенсивные исследования были сосредоточены на проблеме глобального потепления, а именно — в какой степени газовые сипы способствуют увеличению концентрации метана в атмосфере, и как они могут повлиять на углеродный цикл. В поле зрения ученых-гидробиологов остаются вопросы механизма бактериального метаноокисления и отложения метанового углерода в карбонатных постройках сероводородной зоны Черного моря, их распределения на различных глубинах, влияния газовых сипов на биогеохимические характеристики метанового цикла в анаэробной зоне Черного моря. Кроме того, газовые сипы рассматриваются как поисковые признаки скоплений углеводородов, а также представляют прикладной технологический интерес ввиду их влияния на прочностные свойства осадков и, следовательно, на устойчивость донных отложений.

Организаторами и активными участниками различных международных проектов и экспедиционных исследований струйных метановых газовыделений в Черном море на протяжении более чем двух десятков лет являются сотрудники отдела радиационной и химической биологии Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского НАН Украины (зав. отделом — академик НАН Украины В.Н. Егоров). Поэтому появление в свет в 2011 г. под редакцией академика НАН Украины Г.Г. Поликарпова монографии В.Н. Егорова, Ю.Г. Артемова, С.Б. Гулина «Метановые сипы в Черном море — средообразующая и экологическая роль», как результат обобщения и переосмысления полученных в эти годы данных, явилось закономерным и знаменательным событием.

Монография построена в строго логической последовательности — от исторического экскурса, методических особенностей гидроакустических наблюдений и геолого-географического районирования газовыделений в Черном море, через моделирование процессов газообмена метановых пузырьков к оценке интенсивности струйной разгрузки, ее средообразующей, экологической и ресурсной роли.

* Докладные записки военных моряков-подводников И. Файзулина и О. Рогозы. — Архив АШ «Океанотехнология», 1988. 5 л.

Следует отметить, что благодаря участию авторов в международных экспедиционных проектах на самых современных научно-исследовательских судах и аппаратурных комплексах, приведенный в монографии круг использованных средств и методов исследования площадей активного газовыделения представляет существенный интерес. В дополнение к традиционному эхолотированию и акустическому профилированию высокого разрешения, для обнаружения газовых сипов и придонного газа в экспедиционных исследованиях использовались многолучевые акустические системы и гидролокаторы бокового обзора. Эти методы способны не только обнаруживать изменения в морфологии дна, связанные с газовыми сипами, но и выявлять убедительные свидетельства наличия, например, аутигенных карбонатов, обычных для холодных сипов. При картировании газовых сипов и отборе проб донных отложений и газа использование подводных аппаратов и дистанционных телеметрических систем, как свидетельствуют авторы, стало обычной практикой.

В Черном море задокументировано несколько тысяч газовыделений. Наблюдения авторов показали, что большая часть газовых сипов приурочена к нижнему шельфу и верхней части практически всего континентального склона и располагается, как правило, в пределах палеоречных долин и грязевых вулканов. Число обнаруженных газовыделений увеличивается по мере расширения площади исследований Черного моря. В приложении приведена сводка о локализации более четырех тысяч метановых сипов и фонтанов, известных к моменту написания монографии. Это свидетельствует об уникальности Черного моря как самого большого анаэробного бассейна в мире, в котором водная масса центральной части содержит аномально высокую концентрацию CH_4 . На больших глубинах газовые струи полностью растворяются в водной толще, а газ, поступающий с глубин менее 250 м, может достигать поверхности моря и поступать в атмосферу. Авторами разработана модель взаимодействия пузырьковых струй с растворенными в морской воде газами с учетом температуры, плотности и солености вод Черного моря.

Представляют несомненный интерес материалы о поступлении ртути в водную среду, которое зарегистрировано не только в районах грязевого вулканизма, но и практически на всех площадях активного газовыделения в пределах глубин от 100 до 1000 м.

На основании скрупулезного обобщения материалов по латеральному распределению и интенсивности метановых сипов в Черном море, авторы изложили свои взгляды на их средообразующую и экологическую роль. В монографии изложены современные представления о влиянии метановых сипов на гидрохимические характеристики морской среды, вертикальный водообмен, метанотрофный хемосинтез и трофическую структуру вод.

На основании применения современных гидроакустических методов и информационных технологий в монографии дана оценка метановой разгрузки дна Черного моря в $25 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$, из которых $4 \times 10^5 \text{ м}^3/\text{год}$ достигает атмосферы и тем самым вносит свой вклад в глобальный парниковый эффект.

Следует подчеркнуть, что междисциплинарную проблему струйных метановых газовыделений в рецензируемой монографии авторы рассматривают, прежде всего, как новый хемэкологический фактор, и, по их собственному утверждению, «... не позиционируют себя в качестве ведущих специалистов в других, связанных с метановой разгрузкой дна Черного моря, областях» (с. 15).

Вместе с тем, в монографии затронут широкий круг вопросов, связанных с природой такого мощного газовыделения со дна Черного моря. Приведенные авторами фрагментарные изотопные сведения и суждения отдельных авторов в целом свидетельствуют о неоднозначности решения этой сложной задачи. Пользуясь случаем, нам представляется небезынтересным высказать свою точку зрения по этой проблеме, поскольку в монографии обсуждаются вопросы, связанные с оценкой перспектив использования характеристик струйных газовыделений в качестве поискового признака морских углеводородных месторождений, в частности газогидратных скоплений. К настоящему времени в мировой литературе собрано достаточное количество информации, позволяющей однозначно увязывать газовые выделения со скоплениями углеводородов в земной коре. В глобальном масштабе установлена прямая корреляция между количеством газовых проявлений и запасами углеводородов в отдельных продуктивных провинциях. Такая же зависимость присуща для месторождений нефти и газа во многих акваториях.

Проблема дегазации дна Черного моря самым тесным образом связана с генезисом углеводородов и новыми подходами при поисках скоплений нефти и газа. Происхождение углеводородов объясняют органическая либо неорганическая гипотезы. Согласно первой источником метана являются процессы разложения органического вещества осадочных пород и генерация CH_4 микроорганизмами в поддонных отложениях, а второй — поступление к поверхности глубинных углеводородных газов. Обе точки зрения на происхождение метана не лишены проблем. Первая не предлагает источника биогенного метана, необходимого для образования наблюдаемого мощного газовыделения. Вторая не может объяснить механизм удаления из биосферы поступающего глубинного углерода. Ведь при современном темпе дегазации недр земная атмосфера была бы полностью им насыщена за тысячу лет (Дмитриевский, Валяев, 2002).

В монографии приведена диаграмма изотопного состава углерода метана для разных биогеохимических и геологических структур Черного моря (рис. 6.3.1, стр. 292), которая по соотношению легкого и тяжелого стабильных изотопов углерода δ^{13} достаточно убедительно свидетельствует о биогенном происхождении струйного метана (Лейн, Иванов, 2005). Нисколько не умаляя роли биогенного фактора, который вносит существенный вклад в общий баланс генерации метана, мы не считаем его единственным источником по следующим причинам.

К сожалению, формальный подход визуального сравнения мелкомасштабной карты с неполным распределением метановых сипов (рис. 2.9.1, стр. 136) и общей схемы структурно-тектонического районирования Черного моря (рис. 2.2.2, стр. 100) привел авторов монографии к ошибочному заключению об отсутствии связи или, в тексте «...мало коррелируют ..» (стр. 289). И это естественно. Вот если бы авторы сравнили более полные и детальные карты распределения площадей активного газовыделения с разломно-блоковой структурой Черного моря, то связь донных сипов с глубинными активными разломами проявилась бы более четко. Последнее дает возможность более доказательно оценить масштабы образования метана разными механизмами, и наряду с биогенным, свидетельствует о существенной роли глубинного источника метана.

В прогибе Сорокина, ось которого совпадает с глубинным Циркумчерноморским разломом, в метане из осадков насыщенные углеводороды преобладают над ненасыщенными. Здесь отмечается аномально высокая концентрация поли-

циклических ароматических углеводородов (Стадницкая, Беленькая, 2000), что также указывает на преимущественно глубинное происхождение метана. В верхние слои он поступает путем фильтрации и/или струйной миграции.

Содержание и вертикальное распределение газов в кернах осадков кратера вулкана Двуреченского также убедительно свидетельствует о вертикальной миграции метана из глубинных горизонтов земной коры (Blinova, Ivanov, Bohrmann, 2003). Анализ состава газа из осадков, отобранных в зоне разлома на континентальном склоне в северо-западной части Черного моря, а также низкое содержание органического вещества (медианное значение 1,5 %) в глинах грязевых вулканов привели к такому же выводу о происхождении метана Р.П. Круглякову и др. (Kruglyakova et al., 2004).

Состав газа (процентное содержание гомологов метана, концентрация углекислого газа и азота) в устьях разведочных скважин, пробуренных в зонах глубинных разломов вблизи периферийной части газовых месторождений, и в пробах грунта бухт Тарханкутского полуострова идентичен, что однозначно исключает биогенное происхождение метана в донных осадках (Юровский, 1982). Эффективность биогенного механизма образования газовых фонтанов сводится к минимуму, поскольку уже на стадии седиментогенеза и диагенеза морские осадки подвержены воздействию локализованных потоков глубинных углеводородных флюидов (Дмитриевский, Валяев, 2002).

Приведенные факты убедительно указывают на глубинную природу углеводородов, но это не означает, что единственным источником метановых выделений на дне Черного моря является дегазация глубинных горизонтов. Небольшие выходы газа на ограниченных участках могут быть результатом разложения четвертичного органического вещества при активном участии метанобразующих бактерий, о чем свидетельствует приведенная в монографии диаграмма изотопного состава А.Ю. Лейн и М.В. Иванова (Лейн, Иванов, 2005).

Выходы газа встречаются в местах, где сконцентрированные потоки флюидов превышают вмещающий объем порового пространства, в результате чего метан просачивается через донные осадки в толщу воды (Judd, 2003). При нормальных условиях, большая часть метана окисляется посредством консорциумов сульфатредуцирующих бактерий в анаэробных условиях или в зоне их аэробной активности (Michaelis et al., 2002). Миграция флюидов осуществляется через тектонические нарушения придонных осадочных горизонтов, зоны более глубоких разломов и грязевые диапиры путем диффузии растворенного или с помощью пузырьков свободного газа (Hovland and Curzi, 1989; Moore et al., 1991), или в виде геоморфологических сфокусированных потоков (Orange and Breen, 1992; Orange et al., 1994). Частично этот газ может быть газогидратным (Kvenvolden, 1993). При изменении давления и/или температуры газовые гидраты могут диссоциировать и тем самым подпитывать газовые сипы на дне моря, что в результате приводит к дестабилизации осадков (Bunz et al., 2005).

В пользу глубинного происхождения газов свидетельствуют, прежде всего, локализация большинства газовых проявлений в зонах внешнего шельфа и материкового склона, где трассируется Циркумчерноморский разлом, и в зонах палеодолин, являющихся отражением региональных или глубинных разломов. О глубинном происхождении метана свидетельствует и локализация газовых месторождений (Голицынское, Южно-Голицынское, Штормовое, Крымское, Архангельское)

на северо-западе в узлах пересечения разломов Одесского и северо-восточного простирания. Еще одним аргументом в пользу глубинного происхождения является наличие газовых сипов над кристаллическими породами — плагиогранитами, диоритами, вулканитами Ломоносовского подводного массива.

Таким образом, анализ геолого-геофизических и геохимических данных позволяет отдать предпочтение эндогенному происхождению углеводородов, которые по тектоническим нарушениям мигрируют в верхние горизонты донных отложений вместе с глубинными флюидами. Именно анализ путей миграции глубинных флюидов, зон разгрузки глубинной энергии позволит разработать новую стратегию поиска залежей нефти и газа и нестандартно подойти к оценке запасов углеводородного сырья Черного моря.

Приведенные выше наши рассуждения в какой-то мере дополняют выводы авторов монографии о геологических и биогеохимических механизмах газовой разгрузки Черного моря, изучение которых в настоящее время является одной из самых актуальных задач.

В краткой журнальной рецензии невозможно детально осветить все аспекты этой многоплановой научной работы. Поэтому за пределами обсуждения остаются такие интересные проблемы, как средообразующая и экологическая роль струйных газовыделений Черного моря, газогидратоносность и пр.

Переходя к общей оценке рассмотренного издания, считаем, что монография В.Н. Егорова, Ю.Г. Артемова, С.Б. Гулина «Метановые сипы в Черном море — средообразующая и экологическая роль», вне всякого сомнения, представляет собой крупный научный труд. Все теоретические выкладки авторов подкреплены богатым экспериментальным материалом, что представляется очень ценным и вызывает доверие к конечному результату. Завершить рецензию хочется словами ответственного редактора монографии академика НАН Украины Г.Г. Поликарпова «Их книга представляет собой большое событие в изучении Черного моря, закрепляет приоритет авторов и, несомненно, окажет значительное влияние на последующее развитие новой области знания — хемозологии метана в Черном море».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геворкьян В.Х., Бураков В.И., Исагулова Ю.К. и др. Газовыделяющие постройки на дне северо-западной части Черного моря // ДАН УССР. — 1991. — № 4. — С. 80—85.
2. Дмитриевский А.Н., Валиев Б.М. Флюидогеохимические и генетические аспекты гидратоносности разреза осадков дна Мирового океана // Геодинамика и нефтегазоносные структуры Черноморско-Каспийского региона. — 2002. — С. 58—59.
3. Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Метановые сипы в Черном море — средообразующая и экологическая роль. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. — 405 с.
4. Лейн А.Ю., Иванов М.В. Крупнейший на Земле метановый водоем // Природа. — 2005. — № 2. — С. 18—26.
5. Поликарпов Г.Г., Егоров В.Н., Нежданов А.И. и др. Явление активного газовыделения из поднятий на свале глубин западной части Черного моря // Докл. АН УССР. — 1989. — Сер. Б, № 12. — С. 13—15.
6. Поликарпов Г.Г., Егоров В.М. Виявлено активні газовиділення з дна Чорного моря // Вісн. АН УССР. — 1989. — № 10. — С. 108—111.
7. Попов С.П. Грязевые вулканы // Природа. — 1928. — № 6. — С. 541—554.
8. Рязанов А.К. Газ и газовые вулканы на шельфе Черного моря // Докл. АН УССР. — 1996. — № 4 — С. 90—94.

9. Стадницькая А.Н., Бельняк І.Ю. Состав и происхождение углеводородных газов и их влияние на диагенетические карбонатообразования (прогиб Сорокина, СВ часть Черного моря) // Геология Черного и Азовского морей. К. Гносис, 2000. — С. 155—163.
10. *Blinova, V.N., Ivanov, M.K., Bohrmann, G.*, 2003. Hydrocarbon gases in deposits from mud volcanoes in the Sorokin Trough, northeastern Black Sea. *Geo Mar. Lett.* 23. — P. 250—257.
11. *Bunz, S., Mienert, J., Bryn, P., Berg, K.*, 2005. Fluid flow impact on slope failure from 3D seismic data: a case study in the Storegga Slide. — *Basin Res.* 17. — P. 109—122.
12. *Dimitrov P., Dachev V., Nikolov H., Parlichev D.* Natural gas seepages in the offshore area of the Balchik Bay // *Oceanology.* — 1979. — 4. — P. 43—49.
13. *Hovland, M., Curzi, P.*, 1989. Gas seepage and assumed mud diapirism the Italian Central Adriatic Sea. // *Mar. Pet. Geol.* — 6. — P. 161—169.
14. *Judd, A.G.* The global importance and context of methane escape from the seabed. // *Geo Mar. Lett.* — 23. — 2003. — P. 147—154.
15. *Kruglyakova, R.P., Byakov, Y.A., Kruglyakova, M.V., Chalenko, L.A., Shevtsova, N.T.*, 2004. Natural oil and gas seeps on the Black Sea floor. // *Geo Mar. Lett.* 24. — P. 150—162.
16. *Kvenvolden K.A.* Gas Hydrates-Geological Perspective and Global Change // *Reviews of Geophysics.* — 31. — 1993. — P. 173—187.
17. *Michaelis W., Seifert R., Nauhaus K., Treude T., Thiel V., Blumenberg M., Knittel K., Gieseke A., Peterknecht K., Pape T., Boetius A., Amann R., Jogensen B.B., Widdel F., Peckmann J., Pimenov N.V., Gulin M.B.*, 2002. Microbial reefs in the Black Sea fuelled by anaerobic oxidation of methane. *Science.* 297. — P. 1013—1015.
18. *Moore, J.C., Brown, K.M., Horath, F., Cochrane, G., MacKay, M., Moore, G.*, 1991. Plumbing accretionary prisms. In: *Tarney, J., Pickering, K.T., Knipe, R.J., Dewey, J.F.* (Eds.), *The Behavior and Influence of Fluids in Subduction Zones.* The Royal Society. — London. — P. 49—62.
19. *Orange D.L., Breen N.A.* The effects of fluid escape on accretionary wedges: 2. Seepage force, slope failure, headless submarine canyons, and vents // *J. Geophys. Res.* 1992. — 97. — P. 9277—9295.

Статья поступила 15.04.2013

Е.Ф. Шнюков, В.П. Коболев

СТРУЙНІ ГАЗОВИДІЛЕННЯ ДНА ЧОРНОГО МОРЯ — УНІКАЛЬНИЙ СЕРЕДОВИЩЕУТВОРЮВАЛЬНИЙ, ЕКОЛОГІЧНИЙ ТА РЕСУРСНИЙ ФЕНОМЕН

Розглянуто результати досліджень, наведені в монографії В.М. Єгорова, Ю.Г. Артемова, С.Б. Гулина, що вийшла під редакцією академіка НАН України Г.Г. Полікарпова. «Метанові сипи в Чорному морі — середовищеутворювальна й екологічна роль», 2011 р.

Ключові слова: газові гідрати, газові сипи, північно-західний шельф Чорного моря.

Eu. F. Shnyukov, V.P. Koblelev

GAS BUBBLE STREAMS FROM THE BLACK SEA FLOOR — UNIQUE ENVIRONMENT-FORMING ECOLOGICAL AND RESOURCE PHENOMENON

It is the results of investigation shown in the monograph V. Egorov, Y. Artemov, S. Gulin editor-in-chief Academic of NAS of Ukraine G. Polikarpov. «Methan seep in the Black Sea — enviromentforming and ecological role,» 2011

Keywords: Gas hydrates, gas seeps, the NW Black Sea shelf.