

В.И. Лысенко¹, В.Н. Шик²

¹ Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова, Севастополь

² ЦТКСЭ, Севастополь

ДЕГАЗАЦИЯ И «КАРБОНАТНЫЕ ПОСТРОЙКИ» В БУХТЕ ЛАСПИ (ЮБК)

Состав газового флюида представлен метаном, этаном, пропаном и сероводородом, что свидетельствует о его глубинном генезисе. Факты наличия в составе газа сероводорода требуют пересмотреть принцип формирования баланса сероводородной зоны только за счет биологических процессов.

Вокруг участка газовых струй в прибрежной пляжной зоне бухты в активной геодинамической среде формируется «карбонатная постройка» с оазисом жизни. Она представлена гравелитами и галечниками, сцементированными пленочным арагонитом и кальцитом. Образование карбонатного цемента конгломератов в пляжной зоне связано с жизнедеятельностью микро- и макрофауны и флоры местного биоценоза. Высокие скорости цементации галечников позволяют сделать предположение о более молодом возрасте современных карбонатных построек больших глубин Черного и других морей.

Ключевые слова: метан, дегазация, арагонит, кислород, возраст, биогеоценоз, конгломераты, карбонатные постройки.

В середине двадцатого века П.Н. Кропоткиным была выдвинута гипотеза о том, что кроме горячей дегазации, связанной с вулканической деятельностью, существует холодная, ответственная за формирование месторождений нефти и газа. Полученные за последний период данные изучения глобальных процессов холодной дегазации позволяют нам сделать вывод, что образование месторождений нефти и газа — это побочное явление на фоне более масштабной углеводородной эманации в литосферу, атмосферу и гидросферу Земли [3, 23]. Не вызывает сомнения тот факт, что холодные комплексные углеводородные флюиды из недр Земли оказывают влияние на климатические процессы в атмосфере и являются крупными поставщиками вещества для создания биогенного материала в результате реакций хемосинтеза на дне морей и океанов [23]. Масса этого органического вещества, созданного на границе гидросферы и литосферы простейшими организмами, сравнима с количеством, полученным в результате фотосинтеза. Поэтому изучение газового состава современных холодных флю-

© В.И. ЛЫСЕНКО, В.Н. ШИК, 2014

идов в бухте Ласпи Черного моря является актуальной для познания генезиса этих газов и влияния процессов дегазации на литосферу, гидросферу, атмосферу и биосферу.

Наиболее детально проявления глубинной дегазации изучены в Черном море. Первые глубинные акустические аномалии, связанные со струйными выходами метана, были обнаружены болгарскими учеными в 1985 г. В последующие годы их наблюдали и изучали отечественные и зарубежные ученые. Сегодня зафиксировано свыше трёх тысяч точек выделения газа, часть из них приурочена к подводным грязевым вулканам. По мнению исследователей, объемы выбросов газа некоторых струйных выходов часто превышают выбросы флюидов грязевых вулканов суши [10, 28]. Поля развития струйных выходов известны на северо-западном шельфе и континентальном склоне Черного моря, около побережья Кавказа, Горного Крыма, Болгарии, Румынии и Турции [6, 8, 10, 13, 19, 21, 24, 29]. С местами подводных выходов газов связаны современные аутигенные карбонатные постройки, отложения газогидратов и известные месторождения нефти и газа [4, 21, 24, 28]. Отдельные наблюдения в течение года, а также исследования сипов подводными аппаратами показали, что струйные газовыделения имеют прерывисто-пульсирующий характер (гейзеровый тип), а по данным единичных замеров активны несколько лет [6, 8, 12, 21, 24, 28, 29].

Струйная дегазация углеводородов в морях и океанах связана с тектоническими зонами, которые часто продолжаются на континенте. Процессы выделения холодных флюидов происходят не только в глубоководной части Черного моря, но и в мелководной прибрежной зоне и на прилегающей суше [27, 28, 29]. Имеются данные изучения пузырьковых выходов газа у берегов Тарханкута, Керченского полуострова, в Севастопольской и Ласпинской бухтах [8, 15, 26, 29, 34]. В ходе их исследований большое внимание уделялось картированию и геохимическому составу газов, меньше — изучению геологических процессов, которые их сопровождают [8, 16, 26].

В качестве примера дегазации в прибрежной части можно привести выделения газа в бухте Очеретай на Тарханкутском полуострове, которые были изучены сотрудниками Института Минеральных Ресурсов г. Симферополь [16]. По данным исследователей, каналами миграции газовых флюидов служат трещиноватые зоны верхней части осадочного чехла, связанные с глубинными зонами разломов. Многочисленные точечные выделения газа происходят в интермитирующем режиме, а крупные выбросы имеют периодичность [16]. Анализ проб газа показал высокое содержание в них метана, наличие значительного количества тяжелых углеводородов, углекислого газа и азота (табл. 1). Сильный запах сероводорода ощущается на расстоянии до ста метров от центра дегазации, а отсутствие его в пробах газа связано с высокой растворимостью в воде [16]. Процессы дегазации сопровождаются разгрузкой минерализованных подземных вод, доказательством чего является повышенная минерализация в придонном слое (выше фоновой на 1,04—1,31 г/л). Грунт в воронках выброса газа характеризуется повышенным содержанием (в два и более раз) меди, свинца, никеля, титана, цинка, ванадия, бора, йода и брома [16]. Геохимическая аномалия связана с разгрузкой глубинных флюидов, которые сопровождают дегазацию. В слабоуплотненных осадках происходят активные процессы метаноокисления, поэтому придонный слой воды становится аномальным по химическому составу. Содержание сероводорода достигает

120 мг/л, а CO_3^{-2} , HCO_3^{-} , Ca^{+2} у поверхности дна во время выбросов увеличивается в несколько раз. Особенно значительно колебание HCO_3^{-} (от 183,0 мг/л в поверхностном слое и до 2318 мг/л на дне воронки). Возможно, эти процессы связаны с окислением углеводородов микроорганизмами в анаэробной среде [16].

Необходимо отметить, что в обрывах бухты Очеретай в сарматских карбонатных отложениях встречаются прослои, обогащенные серо-черными обломками, которые получили название гераклиты. Исследования минерального состава, морфологии, геохимии, газонасыщенности гераклитов указывают на связь их образования с дегазацией недр в неогене [17]. Поэтому следует предположить, что выходы газа из недр, по объёмам превышающие современные выбросы, в районе бухты Очеретай происходили в отдельные периоды позднего миоцена.

Районом наших исследований современной газовой дегазации на мелководье является бухта Ласпи. Выходы газа здесь были обнаружены одним из авторов статьи Н.В. Шиком летом 2004 г. [26]. Участок струйного выделения газа приурочен к центральной части бухты, где она несколько вдаётся в побережье, на расстоянии 15–20 м от береговой линии. Особый интерес представляет геолого-геоморфологическая обстановка. Берег напротив выходов газа представляет собой клиф высотой около двадцати метров. Он сложен породами таврической серии в нижней части, а западнее и восточнее участка — четвертичными пролювиально-делювиальными отложениями, которые представлены глыбами, валунами, гравием и щебнем известняков, песчаников и алевролитов. В рыхлых отложениях отмечаются фрагменты псевдослоистости, указывающие на несколько этапов формирования этой толщи. В них наблюдается прерывистый горизонт погребенных почв, в котором сохранился культурный слой с обилием золы, раковин устриц и орудий человека, что является доказательством молодого возраста пляжной зоны. Нижняя часть подводной абразионной террасы сложена коренными породами таврической серии, на ней залегают пляжные галечники. Породы таврической серии представлены серо-черными глинами с прослоями песчаников, алевролитов и аргиллитов и слагают ядро Ласпинской антиклинали. Прямолинейная береговая линия и смятие пород свидетельствуют о наличии тектонической зоны северо-западного простирания, по которой опущена юго-восточная часть антиклинали. Рядом в овраге перпендикулярно берегу картируется второй разлом. Предположительно, с зоной их пересечения связано поле струйного выделения газовых флюидов из пород таврической серии.

Участок выделения газов находится на абразионной террасе, перекрытой маломощным чехлом морских пляжных отложений (около одного метра),

Таблица 1. Состав газов донных выходов бухты Очеретай [20]

Дата отпробования	Содержание в %								
	Метан	Этан	Пропан	Изобутан	П-бутан	Изопрен	П-пентан	Азот	Двуокись углерода
14.08.81	84,63	6,5	Сл	—	—	—	—	—	8,82
25.05.82	76,1	0,81	0,11	0,06	0,18	0,19	9,09	9,03	13,4
11.09.82	68,15	0,21	0,47	0,09	0,46	0,14	0,13	1,99	28,36
12.09.82	87,79	0,11	0,20	0,05	0,29	0,07	0,11	2,16	9,22

представленных отдельными валунами, галечником, гравием и песками. По составу преобладают галечники и валуны юрских известняков (70 %), песчаников и алевролитов таврической свиты (20 %), кварца (5 %) и магматических пород (5 %). Обломочный материал размером от 0,1 до 200,0 см хорошо окатан, преобладающая часть галек — плоской формы. Размеры и форма обломочного материала указывают на его формирование в активной гидродинамической среде.

Наблюдения за выходами газа проводились в летний период с 2004 по 2013 гг. За это время местоположение конкретных точек выходов пузырьков газа и их количество менялось, но сам участок дегазации остался приблизительно в тех же границах. Его общая площадь составляет около 500 м². Большая часть выходов пузырьков газа находится на поверхности скального образования, представляющего собой асимметричный вал протяженностью 30,0 м, шириной 10,0 м и высотой не больше 0,5 м. Он имеет пологую наклонную поверхность в сторону открытого моря и крутой (до 70 градусов) уступ со стороны берега. Внешняя по отношению к берегу поверхность скального образования погружена под песчаные отложения прилегающего дна, что не позволяет точно оценить его размеры. Вал вытянут вдоль простирания береговой линии. В местах выхода газа отмечаются небольшие воронки (0,5—1,5 см), окруженные миллиметровыми валиками, которые в западной научной литературе получили названия покмарки. Подобные псевдокальдеры характерны для карбонатных построек больших глубин Черного, Охотского и Норвежского морей [8, 13, 21, 22, 24].

За время изучения в бухте Ласпи в разные годы насчитывается от 10 до 20 точек струйных выходов газа. В среднем из точки дегазации наблюдается поток от 30 до 80 пузырьков газа за одну минуту, размером от 5 до 15 мм (возможно существуют и более мелкие пузырьки). Наблюдается периодичность в их выбросах. Вначале происходит отрыв двух-пяти мелких пузырьков, после, в нарастающем темпе — рой (15—30) более крупных, затем наступает затишье на 10—15 секунд. После цикл повторяется. В течение дня количество выбросов из одной точки наблюдения изменяется как в большую, так и в меньшую сторону. За период наблюдения установлен факт увеличения размеров пузырьков и объемов выбросов газа в периоды новолуний и полнолуний.

Точки выходов газа находятся на глубинах от 1,5 до 2 м, что несколько затрудняет их опробование. Отбор газовых проб осуществлялся в полиэтиленовые бутылки с использованием маски и трубки для подводного погружения. Первая проба была взята в июле 2005 г. общим объемом около двух литров. Из-за невозможности исследования материала в лабораторных условиях газ из бутылки был подожжен. Он горел ярким светло-желтым пламенем без запаха и копоти. Было сделано предположение, что мы имеем дело с метаном. В 2013 г. по такой же методике был произведен отбор двух проб газа из разных точек струйных выходов. Из-за сложных условий отбора во вторую пробу удалось отобрать 0,3 литра, а в третью — 0,25 л газа, остальной объем литровых емкостей занимала вода, набранная около пузырьковых выходов. Пробы газа были проанализированы в лаборатории отдела радиационной и химической биологии ИнБЮМ НАНУ. Приборы лаборатории позволяют выполнять анализы только по содержанию низкомолекулярных предельных углеводородов (С₁—С₆). Из-за финансовых проблем не было возможности изучить состав других компонентов газа. Определение концентраций углеводородов в газе производилось по общепринятой методике [2]

на хроматографе HP 5890 с набивной колонкой и пламенноионизационным детектором, укомплектованным интегратором HP3396 серии 2. Сбор газохроматографической информации и её обработку проводили с помощью компьютерной программы PEAK 86. Каждую пробу в хроматограф вводили дважды с повтором для контроля. В качестве эталонных образцов использовали газовые поверочные смеси SUPELCO SCOTTV C₁—C₆ в азоте с концентрациями 100 и 1000 ppm. Ошибка газохроматографического метода определения не превышала 5 %.

Результаты определения концентраций компонентов приведены в таблице 2. Как видно из данных анализов, состав углеводородов в газе принципиально не отличается от флюидов глубоководных сипов Черного моря [6, 12, 16, 19, 21, 24]. Главным компонентом является метан. Наличие невысоких концентраций этана и пропана в пробах, непостоянство газового состава во времени и пульсирующий характер выделения его из пород таврической серии является доказательством глубинного генезиса дегазации. Не определенная неизвестная часть состава газа в пробах составляет от 5 до 40 % от общего объема и возможно представлена азотом, углекислым газом, сероводородом, водородом и инертными газами. Такое предположение можно сделать на основе аналогии с газовым составом из скважин, пробуренных в породах таврической серии в районах Алупки и Ялты. [7]. При проходке ялтинского туннеля в зонах тектонических нарушений в алевролитах и аргиллитах таврической серии были встречены «горючие газы» с вышеприведенным составом [7]. Примером глубинной дегазации в центральной части Горного Крыма является газифицирующий минеральный источник Аджу-Су (Черные воды), который выходит из алевролитов и аргиллитов нижней юры и триаса в зоне Севастопольско-Ульяновского разлома глубинного заложения [7]. Газы из этого источника представлены метаном, углекислым газом, азотом, сероводородом, тяжелыми углеводородами, радоном и инертными газами (He, Ar) [7], что также является доказательством их глубинного генезиса.

Пробы воды, отобранные из точек струйной дегазации в пляжной зоне бухты Ласпи, имеют сильный запах сероводорода, который является одним из компонентов газового флюида. Учитывая, что выходы газа на дне бухты происходят непосредственно из толщи пород таврической серии, следует полностью исключить возможность образования сероводорода в результате разложения современной

Таблица 2. Состав низкомолекулярных предельных углеводородов в газовых флюидах зоны дегазации бухты Ласпи

№ п/п	Дата отбора	Номер пробы	Пробы МКЛ	Содержание в %				
				CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	Другие газы
1	18.08.13	1\1	250	81,9	2,57	0,011	He обн.	15,6
2	18.08.13	1\2	250	90,8	2,83	0,012	»»	6,4
3	18.08.13	1\3	250	91,9	2,87	0,013	»»	5,2
4	18.08.13	1\4	250	84,8	2,66	0,011	»»	12,5
5	18.08.13	1\5	250	90,1	2,81	0,018	»»	7,0
6	12.09.13	2\1	250	61,9	1,41	0,006	»»	36,7
7	12.09.13	2\2	250	54,5	1,24	0,006	»»	44,2

Анализы выполнены в лаборатории отдела радиационной и химической биологии ИнБЮМ НАНУ. Аналитик младший научный сотрудник Т.В. Малахова

органики. Косвенным доказательством этого предположения является присутствие его во многих скважинах и источниках ЮБК, приуроченных к породам таврической серии и средней юры [7]. Высокая растворимость сероводорода в воде не позволяет отобрать пробу газа в водной среде с «первичным» его содержанием в составе флюида. На присутствие сероводорода в составе газов указывают его аномальные содержания в воде [6, 10, 16, 21] и сопутствующая геохимия. Высокие содержания растворимого сероводорода в воде вокруг пузырьков выхода газа в бухтах Ласпи и Очеретай [16] и акватории прибрежной зоны Севастополя [8], около холодных сипов больших глубин и грязевых вулканов подтверждают высказанные ранее предположения академиком Е.Ф. Шнюковым и другими геологами, что процессы глубинной дегазации вносят значительный вклад в формирование сероводородной зоны Черного моря [6, 21, 35].

Следовательно, строение этой зоны и концентрация сероводорода в ней имеет более сложное строение, чем в случае принятой гипотезы о поступлении его со дна за счет переработки мертвого органического вещества сульфатредуцирующими бактериями. Горбообразные поднятия границы сероводородной зоны в центральной части котловины Черного моря проще объяснить дегазацией в зонах глубинных разломов.

На континентальном склоне и на его границе с глубоководной котловиной значительную часть сероводорода поставляют грязевые вулканы [27, 29], большая часть которых находится рядом с зонами современных очагов землетрясений (Ялтинско-Алуштинская и Феодосийско-Керченская зоны). Сейсмической активности региона сопутствуют частые «мгновенные» выбросы крупных объемов углеводородов, сероводорода и других газов. Положение верхней границы сероводородной зоны и изменение содержания газов в ней невозможно объяснить без привлечения фактов о глубинной дегазации флюидов, связанных с Одесско-Синопским, Южнобережным, Николаевским, Салгино-Октябрьским, Ломоносовским [30] и другими глубинными разломами Черного моря и современными сейсмическими зонами [6, 28, 29].

Вертикальное строение вала на площади выходов дегазации в бухте Ласпи: на слабоволнистой поверхности вала имеются места, покрытые тонким слоем желеподобного мата серовато-розового цвета. Под матами поверхность перекрыта тонкой (1.0—3.0 мм) пористой корочкой игольчатого серовато-белого арагонита с шелковистым блеском на изломе. При рассмотрении под микроскопом заметна его микрополосчатость, которая придает ему внешнее сходство с отложениями травертинов. Изучение образцов из средней и нижней части валообразной постройки показало, что она сложена конгломератами и гравелитами на карбонатном цементе (рис. 1). Они имеют слабовыраженную слоистость, повышенную пористость и содержат большое количество мелких створок двухстворчатых моллюсков и трубок серпул. По литологическому составу обломочный материал идентичен галечникам пляжа, отличается гранулометрическим составом и лучшей сортировкой. Это объясняется отложением материала для конгломератов в более спокойной обстановке. Цемент конгломератов и гравелитов — желто-белый карбонат в виде пленки мощностью от 0,5 мм до 5,0 мм вокруг галечного материала (рис. 1). Часть пленочного цемента представлена волокнистым арагонитом белого цвета. На поверхности гальки известняков и в пустотах цемента конгломератов встречаются звездчатые сростки кристаллов арагонита

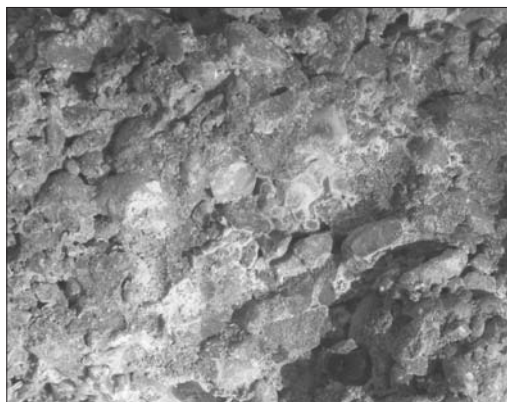


Рис. 1. Конгломераты и гравелиты постройки, сцементированные пленочным карбонатным цементом

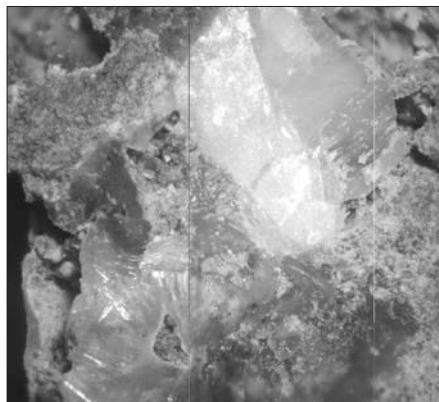


Рис. 2. Звёздчатые сростки кристаллов арагонита и прозрачного кальцита призматической формы на галечном материале конгломератов. Ув. 6

(размером 2,0—4,0 мм) и новообразования прозрачного кальцита призматической формы до 3,0 мм (рис. 2). Иногда между галечным материалом встречаются сферолиты сноповидных удлинённых кристаллов арагонита размером 1,0—3,0 мм. Похожие формы выделения приводятся при описании карбонатных построек Черного, Охотского и Норвежских морей [12, 14, 30]. Часть галек в конгломератах покрыта черной пленкой, иногда такие черные примазки развиваются и по трещинам в породе, что является доказательством образования конгломератов в восстановительной среде. Это черное биоуглеродное вещество при прокаливании сгорает. Процессы покрытия обломочного материала «аутигенных» карбонатных отложений черной пленкой в местах дегазации метана описаны также в Норвежском, Охотском, Черном и Каспийском морях, в озере Байкал и Мексиканском заливе [6, 12, 19, 22, 34].

Данные сравнительных геохимических анализов микрокомпонентов цемента и известняка из галек конгломератов показали, что содержание меди, свинца, никеля, кобальта, цинка, стронция, бария, фосфора, ванадия и бора в карбонатном цементе (таб. 3) в несколько раз выше, чем в галечниковом материале. Повышенные содержания этих элементов характерны для донных выбросов газа бухты Очеретай и современных глубинных карбонатных построек Черного и других морей [16, 30]. По нашему предположению процессы выделения газа в прибрежной части бухты Ласпи имеют одну природу с дегазацией больших глубин морей, океанов и озера Байкал. На связь с глубинной дегазацией и тектоникой указывают следующие факторы: импульсный непостоянный характер выбросов по составу и объёму; присутствие в пробах, кроме метана, ещё газов тяжелых углеводородов, сероводорода и возможно двуокиси углерода, азота и водорода [6, 9, 24, 29, 33]; изменение содержания сероводорода и минерализации морских вод около источников газирования и повышенные содержания Cu, Pb, V, Ni, Zn, Ag, As, V.

Можно предположить, что в зоне выхода метана бухты Ласпи происходит его частичная переработка метанотрофными бактериями с сообществом архей в органическое вещество и углекислый газ. Поэтому процессам накопления галечников сопутствуют процессы их «мгновенного» диагенеза, т.е. превращения

в конгломераты. Поступление галечного материала с волновыми процессами на поверхность карбонатной постройки и его цементация происходят одновременно. На высокую скорость цементации указывают многочисленные находки в центральной части постройки крупных кристаллов арагонита и кальцита, мелких створок раковин двухстворчатых моллюсков и серпул. В наше время возможность таких высоких скоростей образования карбонатного цемента подтверждается экспериментами, проведенными в институте микробиологии РАН. Всего несколько часов требуется для того, чтобы чехлы бактерий окаменели [20]. В сезон активных динамических процессов, связанных с зимними штормами, часто происходит разрушение карбонатной постройки, и на пляж выбрасываются плитчатые глыбы конгломератов. За небольшой промежуток времени к летнему периоду зона дегазации залечивает свои «раны» за счет жизнедеятельности биологических сообществ. Можно считать, что вал вокруг полей струйной дегазации углеводородов, сложенный конгломератами, является своеобразной «карбонатной постройкой» бухты Ласпи — аналогом глубинных построек Черного и других морей. Здесь органическое вещество и карбонаты являются продуктом взаимодействия литосферы (источника поступления гидротермальной энергии и газов из недр), гидросферы (среды образования), атмосферы (газовых пузырьков углеводородов, сероводорода и углекислого газа) и биосферы (строителей карбонатных построек и биогенного органического вещества).

Как уже было сказано, результаты изучения процессов карбонатизации в пляжной зоне свидетельствуют о почти мгновенной цементации галечников. Объемы выбросов газа здесь, по-видимому, в сотни раз меньше, чем на больших глубинах Черного моря. Поэтому скорость и масштабы карбонатизации на шельфе и на континентальном склоне значительно превышают скорость процессов в пляжной зоне. Наличие на образцах, поднятых с больших глубин Черного моря, микробных матов позволяет утверждать, что там идут интенсивные современные процессы образования карбонатного материала [5, 6, 8, 13].

Разнообразие связей между дегазацией, карбонатизацией и наличием жизни на дне Черного моря можно свести к следующим сочетаниям. Большая часть

Таблица 3. Содержание химических элементов в карбонатном цементе конгломератов известняков галек бухты Ласпи и донных пробах бухты Очеретай [20]

Номер пробы	Содержание %										
	n · 10 ⁻³			n · 10 ⁻⁴				n · 10 ⁻⁵	n · 10 ⁻²		
	Cu	Zn	B	Pb	Co	N ₁	V	As	Sr	Ba	P
Л-41-А	0,05	5	6	6,3	8	20	1,2	20,1	20	10	6
Л-42-А	0,1	1,5	2	12,3	3,5	10	3,4	18,5	5	30	1,5
Л-43-А	сл	0,03	0,05	0,01	сл	сл	сл	сл	0,02	0,03	0,6
N2(воронка)	1,2	1,2	4	10	5	15	8	—	—	—	—

Примечание. Л-41, Л-42-А образцы цемента конгломератов из карбонатной постройки бухты Ласпи. Л-43-А известняк галек из конгломератов. Сл — следы; — нет данных. Анализы выполнены рентген-флуоресцентным и спектральным методами в лаборатории филиала МГУ в г. Севастополь, аналитик Е.А. Котельянец. Анализ № 2 из донных отложений бухты Очеретай [20].

участков струйного выделения газов на шельфе и континентальном склоне характеризуется наличием бактериальных матов и процессов карбонатизации. Известны точки дегазации, где отсутствует жизнь и карбонатные постройки, что связано с молодым возрастом газовых струй углеводородов. Встречаются участки дна, где есть карбонатные постройки, но нет бактериальных матов из-за прекращения процессов дегазации углеводородов [6]. Возможно, существуют участки донной дегазации, где старые карбонатные постройки разрушены сейсмическими процессами, а новые ещё не сформированы. [6, 30].

В наше время считается, что возраст карбонатных построек на дне Черного моря с ростом глубины изменяется от трех тысяч до семнадцати тысяч лет и более [8, 12, 13, 19, 38]. Одни исследователи объясняют это процессами колебаний верхней границы сероводородной зоны [19], другие — фазами глобального оледенения [12, 13] и структурной перестройкой зон разломов с участками дегазации [30]. Также высказывается предположение, что для строительства карбонатных построек используется метан, который образуется за счет переработки органического вещества древнечерноморских отложений возрастом более 3,5 тысяч лет [5, 22]. В последнем случае трудно определить время, когда происходил сам процесс строительства постройки, и объяснить, почему нижняя часть её сложена углеводородом из более древних пород, а верхняя — из более молодых.

С чем же связаны такие большие цифры возраста современных карбонатных построек, полученные с помощью радиоуглеродного метода? По мнению одного из авторов, при интерпретации результатов возраста не учитывались следующие факторы: образование изотопа углерода ($\delta^{14}\text{C}$) из азота происходит в верхних слоях атмосферы [1, 18], а поступление его из атмосферы в водную среду Черного моря происходит через значительный промежуток времени [1, 18]; в сероводородной зоне вертикальная циркуляция водных масс отсутствует или очень слабая, что связано с градиентом солености; колебания содержаний углерода $\delta^{13}\text{C}$ в образцах построек [3, 8, 13, 14] означает открытость системы его поступления [18]; образование карбонатных построек происходит в основном за счет поступления метана и углекислого газа из недр, а незначительная часть — за счет углекислоты из окружающей водной среды; при осаждении карбоната процессами биологического окисления метана используется в основном легкий углерод и происходит обеднение его тяжелыми изотопами.

Перечисленные факторы позволяют считать, что возраст карбонатных построек завышен, а на их современное образование указывают следующие факты: обрастание бактериальными матами [5, 6, 12, 13, 14, 22]; обнаруженные в них мелкие карбонатные включения (бактериальный жемчуг) [5]; сохранность хрупких древовидных карбонатных построек высотой до пяти метров в сейсмической зоне и существование в их районах активного накопления осадочного материала [7, 11, 26, 37, 36, 8, 21, 30]. В наше время исследователи, занимающиеся радиоуглеродным датированием, установили факты удревления возраста органических соединений, получающих углерод с процессами глубинной дегазации. Так, возраст современного мха, растущего в гидротермальных источниках поверхностных вулканов, определённый радиоуглеродным методом, оказался от шести до восьми тысяч лет [25]. Об искажении датировок раковин моллюсков около очагов флюидов впервые говорится в работе П. Аарона с соавторами [31]. Результаты получены при изучении карбонатных образований и раковин двух-

створчатых моллюсков из Мексиканского залива в зонах дегазации. Данные анализов позволили исследователям сделать вывод, что датировать можно только раковины, имеющие изотопный состав нормальных морских карбонатов ($\delta C^{13} = 0-3 \text{ ‰}$) и высокие значения δC^{14} . Датировка остальных образцов содержит значительную ошибку [31]. Используя за основу этот метод, работы по уточнению возраста карбонатных построек были проведены на материале, взятом около очагов разгрузки флюидов на склонах котловины Дерюгина в Охотском море. Сравнивая возраст карбонатных образований и моллюсков, исследователи постарались дать оценку искажению возраста и выполнить корреляцию результатов радиоуглеродного датирования карбонатов с помощью соотношения $\delta C^{13} / \delta C^{12}$ [15]. В результате пересчета поправка в возрасте составила от одной до девяти тысяч лет [15]. Образование аутигенных карбонатов склонов котловины Дерюгина происходило за период не более двух тысяч лет, и большинство из них имеют современный возраст [15].

Для Черного моря подобную работу по корреляции возраста можно выполнить для карбонатных построек шельфовой зоны, в которых отмечаются включения обломочного материала современных раковин. В будущем, чтобы привести «радиоуглеродный» возраст карбонатных построек сероводородной зоны Черного моря к календарному, необходимо ввести поправки на изотопное соотношение углеводорода, скорость циркуляции водных масс и глубину дна. Численное значение этих показателей можно получить при исследовании конкретных эталонных объектов на шельфе, континентальном склоне и в котловине Черного моря подводными аппаратами в течение нескольких лет.

В бухте Ласпи с валообразной «карбонатной постройкой» связан местный «оазис жизни». Его богатство и разнообразие животного и растительного мира резко отличается от почти безжизненного окружения пляжных отложений галечника, гравия и песка. В «оазисе жизни» большая часть поверхности покрыта зарослями бурых и красных водорослей, колониями мшанок, на которых также отмечены микробные маты розовато-серого цвета. Они цементируют галечниковую часть «карбонатной постройки» в виде корки и консолидируют ее отдельные части в единое целое. Мшанки покрывают галечный материал, створки моллюсков, трубки серпул и нижние части водорослей карбонатными сотовыми ячейками. Водорослевый покров и колонии мшанок являются своеобразной защитой «карбонатной постройки» от поверхностного волнового разрушения. Малоизученной является повышенная пористость в поверхностном цементном покрове и верхней части галек известняка. Возможно, эти поры являются местом обитания для микроорганизмов, а растворенный карбонатный материал используется для образования цемента конгломератов. В большом количестве на поверхности постройки встречаются карбонатные трубки полихет. Это червеобразные закрученные раковины серпул и спиральные кольца спиробусов. Их трубки характеризуются довольно крупными размерами, массивной скульптурой, а в их центральной части часто отмечаются налеты органики черного цвета. Подобное один из авторов наблюдал на стенках серпул из пород верхнего мела и миоцена [17]. Возможно, это следы их симбиоза с метанотрофными микроорганизмами, производящими сложные биоуглеводородные соединения. Перерабатывая метан, микроорганизмы создают биопroduкцию для начального звена пищевой цепочки, в конце которой находятся бентоядные рыбы. Бухта Ласпи в

весенне-зимний период является местом нагула и размножения кефали и пеленгаса. Вопросами существования взаимосвязи кормовой базы промысловых рыб с местами дегазации в Черном море никто не занимался. Это природное явление хорошо изучено в водах Каспийского моря и Мексиканского залива, где по изотопному составу тканей животных установлено их питание за счет органики, созданной метанотрофными бактериями [32, 34], и доказана связь концентраций кормовых ресурсов осетровых рыб с местами дегазации углеводородов на дне Каспийского моря [4].

В заключение следует отметить, что состав газов пузырьковой дегазации бухты Ласпи подтверждает глубинный генезис этого процесса. Наличие в их составе сероводорода делает необходимым учитывать объёмы газовых флюидов дегазации из недр при построении модели сероводородной зоны Черного моря, а также при прогнозировании положения ее верхней границы [6, 29].

Карбонатная постройка в подводной части пляжной зоны бухты Ласпи является уникальным геолого-биологическим объектом и требует дополнительных исследований. Общим для нее и подобных построек на шельфе и континентальном склоне Черного моря является образование карбонатного вещества в местах дегазации метана при наличии бактериальных матов с метанотрофными археями. Различный внешний вид карбонатных построек связан с физико-географическими условиями их формирования.

Авторы выражают свою признательность и благодарность младшему научному сотруднику ИнБЮМ НАН Украины Т.В. Малаховой за оказанную помощь в изучении газового состава флюидов бухты Ласпи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсланов Х.А. Радиоуглерод: Геохимия и геохронология. — Л.: ЛГУ, 1987. — 300 с.
2. Большаков А.М., Егоров А.В. Об использовании методики фазово-равновесной дегазации при газометрических исследованиях // Океанология. — 1987. — 27. — № 5. — С. 861—862.
3. Валаев Б.М., Гринченко Ю. И., Ерохин В. Е. и др. Изотопный облик газов грязевых вулканов // Литология и полезные ископаемые. — 1985. — № 1. — С. 72 — 87.
4. Векилов Э.Х. О процессах биологической ассимиляции углеродных продуктов в морской среде на примере Каспийского моря // Дегазация Земли и генезис углеводородных флюидов и месторождений. М.: ГЕОС, 2002. — С. 316 — 318.
5. Гальченко В.Ф. Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС, 2001. — 500 с.
6. Геворкьян В. Х., Бураков В. И., Исагулова Ю. К. и др. Газовыделяющие постройки на дне северо-западной части Черного моря // Докл. АН УССР. — 1991. — № 4. — С. 80—85.
7. Гидрогеология СССР. Том 8. Крым. М.: «Недра», 1970. — 364 с.
8. Егоров В.Н., Артемов С.Б., Гулин С.Б. Метановые сипы в Чёрном море средообразующая и экологическая роль. Севастополь.: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. — 345 с.
9. Костова С. К., Поповичев В. Н., Егоров В. Н. и др. Распределения ртути в воде и донных отложениях в местах локализации струйных метановых газовыделений со дна Черного моря // Морской экологический журнал. — 2006. — Т.5. — № 2. — С. 47 — 55.
10. Круглякова Р.П., Кругляков М.В., Шевцова Н.Т. Геолого-геохимическая характеристика естественных проявлений углеводородов в Черном море // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2009. — № 1. — С. 37—51.
11. Кутас Р.И. Геотермические условия зон газовыделения и грязевого вулканизма в Черном море // Геология морей и океанов. — М.: 2007. — Т. 4. — С. 108 — 110.
12. Леин А.Ю., Пименов Н.В., Саввичев А.С. и др. Метан как источник органического вещества и углекислоты карбонатов на холодном сипе в Норвежском море // Геохимия. — 2000. — № 3. — С. 268—281.

13. *Леин А.Ю.* Жизнь на сероводороде и метане // Природа. — 2005. — №12. — С. 1—14.
14. *Леин А.Ю., Гальченко В.В., Покровский Б.Г. и др.* Морские карбонатные конкреции как результат процессов микробного окисления газогидратного метана в Охотском море// Геохимия. — 1989. — № 10. — С. 1396 — 1406.
15. *Логвина Е.А., Прасолов Э.М., Арсланов Х.А. и др.* Коррекция измерений радиоуглеродного возраста карбонатов из очагов разгрузки углеводородных флюидов // Геохимия. — 2012. — № 11. — С. 1065 — 1069.
16. *Лущик А.В., Морозов В.И., Палин В.П. и др.* Особенности формирования подземных вод в западной части Равнинного Крыма (на примере района бухты Очеретай) // Геол. журн. — 1985. — Т. 45 — № 3. — С. 101—107.
17. *Лысенко Н. И., Лысенко В. И.* Необычный камень — «гераклит» и проблемы дегазации метана в миоцене Крыма// Геодинамика и нефтегазоносные системы Черноморско-Каспийского региона: Сб. докл. III Междунар. конф. «Крым-2001». — Симферополь, 2001. — С. 76—82.
18. *Николаев С.Д., Свиточ А.А.* Ядерные методы абсолютной геохронологии. Методы палеографических реконструкций. М.: МГУ, 2010. — С 332—342.
19. *Пименов Н. В., Русанов И. И., Поглазова М. Н. и др.* бактериальные обрастания на коралло-видных постройках в местах выхода метановых газовыделений в Черном море // Микробиология. — 1997. — №6. — С. 7 — 14.
20. *Розанов А. Ю., Заварзин Г. А.* бактериальная палеонтология// Вестник РАН. — 1997. — Т. 67. — № 3. — С. 241—245.
21. *Рязанов А. К.* Газ и газовые туманы на шельфе Черного моря // Докл. АН УССР. — 1996. — №4. — С. 90 — 94.
22. *Совга Е.Е., Любарцева С.П., Любицкий А.А.* Метан стратиграфический ресурс Украины. Севастополь: МГИ, 2007. — 68 с.
23. *Сывороткин В.Л.* Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. —250с.
24. *Ткешелашвили Г.И., Егоров В.Н., Мествиришвили Ш.А. и др.* Метановые газовыделения со дна Черного моря в приустьевой зоне реки Супса у побережья Грузии // Геохимия. — 1997. — № 3. — С. 331—335.
25. *Тюрин А.М.* Три постулата радиоуглеродного датирования // Сборник статей по новой хронологии. — 2009. — вып. 8. — С. 1—7.
26. *Шик Н.В.* Газовые выделения на дне бухты Ласпи //Геология и полезные ископаемые мирового океана.—2006. — №1.— С. 135—136.
27. *Шнюков Е.Ф., Гнатенко Г.И., Нестеровский В.А. и др.* Грязевой вулканизм Керченско-Таманского региона. Киев.: Наук. Думка, 1992. — 199 с.
28. *Шнюков Е.Ф.* Газогидраты метана в Черном море //Геология и полезные ископаемые мирового океана.—1998. — № 1.— С. 41—52
29. *Шнюков Е.Ф.* Грязевой вулканизм в Черном море // Геол. журн. —1999. — № 2. — С. 38—47.
30. *Шнюков Е.Ф., Щербаков Е.Е., Шнюкова Е.Е.* Палеоостровная дуга севера Черного моря. — Киев.: Чернобыльинформ, 1997. — 287 с.
31. *Aharon P., Schwarcz H.P., Roberts H.H.* Radiometric dating of submarine hydrocarbon seeps in the Gulf of Mexico// Geol. Soc. Amer. Bull. 1997.5.109.№ 5., P. 568—579.
32. *Brooks, J. M., Konnicut M. C., Fisher C. R., Macro S. A. и др.* (1987) Deep-sea hydrocarbon seep communities/ Evidence for energy and nutritional carbon sources. Science 238: — P. 1138—1142.
33. *Holzner C.P., McGinnis D.F., Schubert C.J.* Noble gas anomalies related to high-intensity methane gas seeps in the Black Sea// Earth and Planetary Science Letters. — 2008. — Vol. 256. — № 3/4. — P. 396 — 409.
34. *Konnicut II M.C., Books J.M., Bidigare R. R.* (1985) Venttyre taxa in hydrocarbon seep region on the Louisiana slope. Nature 317. — P. 351—355.

Статья поступила 22.12.2013

В.І. Лисенко

ДЕГАЗАЦІЯ Й «КАРБОНАТНІ ПОБУДОВИ» В БУХТІ ЛАСПІ (ПБК)

Склад газового флюїду представлений метаном, етаном, пропаном і сірководнем, що свідчить про його глибинний генезис. Факти наявності в складі газу сірководню вимагають переглянути принцип формування балансу сірководневої зони тільки за рахунок біологічних процесів.

Навколо ділянки газових струменів у прибережній зоні бухти Ласпі в активному геодинамічному середовищі формується «карбонатна побудова» з оазисом життя. Вона представлена гравелітами й галечниками, зцементованими плівковим арагонітом і кальцитом. Утворення карбонатного цементу конгломератів у пляжній зоні пов'язане з життєдіяльністю мікро- і макрофауни й флори місцевого біоценозу. Високі швидкості цементації галечників дозволяють зробити припущення про молодший вік сучасних карбонатних побудов значних глибин Чорного й інших морів.

Ключові слова: метан, дегазация, арагонит, кисень, вік, біогеоценоз, конгломерати, карбонатні споруди.

V.S. Lysenko

OUTGASSING AND «CARBONATE BUILDUPS» IN THE LASPI BAY (SOUTH COAST OF CRIMEA)

Composition of gas fluid is presented by methane, ethane, propane and hydrogen sulfide; it is indicative of its deep genesis. Facts about the presence of hydrogen sulfide in the gas require to review the principle of the formation the balance of hydrogen sulphide zone only due to biological processes. Without regard modern geological processes, taking place in the Black Sea, is impossible to predict the geo-ecological condition of the hydrogen sulphide zone and the position of its upper border.

As the results of cold degassing of hydrocarbons on shoreface of the bay Laspi carbonate structure with oasis of life is formed in the active geodynamic environment around the gas jets. It is represented by gravel and pebble conglomerate cemented by aragonite and calcite. The formation of carbonate cement conglomerates is connected with vital activity of micro- and macro fauna and flora of local biocenosis. High cementation rate allows to suppose younger age of modern carbonate structures at great depths in the Black Sea and other seas.

Keywords: methane, conglomerates, «carbonate buildups», oxygen, age, biogeocenosis.