

УДК 551.351.553.55

**ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ
ЛАСПИ (ЮБК) В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ
ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ, АТМОСФЕРЫ И БИОСФЕРЫ**

Лысенко В. И.¹, Шик В. Н.²

¹ *Филиал Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова в Севастополе,
Севастополь*

² *ГБОУ ДО «СЦТКСЭ», г.Севастополь*

Примером холодной дегазации недр на шельфе является выход газов в подводной части пляжной зоны бухты Ласпи. Состав пузырьков газового флюида представлен метаном, этаном, пропаном, сероводородом и другими газами. Факты наличия в составе газа сероводорода требуют пересмотреть гипотезу о формировании сероводородной зоны только за счет биологических процессов. Результаты геологических исследований подтверждают, что вокруг газовых струй в активной геодинамической среде формируется «карбонатная постройка» с оазисом жизни. Образование карбонатного цемента связано с жизнедеятельностью метанотрофных и метаногенных архей и прокариот, а также флоры местного биоценоза.

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

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое развитие Крыма в том понимании, каким его видел Багров Н. В., должно сопровождаться, а точнее – предвлекаться, научным решением проблемы саморегуляции и самоорганизации «...в системе “природа – общество”, междисциплинарность которой обязывает рассматривать ее на уровне управляемых гетерогенных систем географической оболочки...» [1]. География, как никакая другая наука, способна решать проблему устойчивого развития современной цивилизации. Естественно, что такая экологическая проблема Земли, как глобальное потепление, не может найти решения без непосредственного участия географов и геологов. Багрова Н. В. творчески развивал идеи ноосферы, выдвинутые Вернадским В. И. На страницах своей книги «География в информационном мире» он продолжил [1] спор, который вот уже 100 лет ведется между сторонниками и противниками идеи Аррениуса о роли цивилизации в увеличении содержания углекислого газа в атмосфере. В. И. Вернадский, не отрицая определенной роли углекислоты в создании парникового эффекта, резонно отмечал, что причины изменения климата «гораздо более сложны, и колебания в содержании угольной кислоты явно не могут их объяснить» [2]. К сожалению, эти пророческие слова оказались не востребованы в современном мире, и основные материальные ресурсы планеты брошены на борьбу с выбросами в атмосферу только углекислого газа. Споря с таким подходом, Багров Н. В. писал: «Без надлежащего географического (геоэкологического) обоснования пространственно-временной детализации обсуждаемое политическое решение, подкрепленное мощным

экономическим механизмом, может увести человечество в технократическую сферу» [1].

Одним из достижений современной геологии и физической географии можно назвать признание роли метановой составляющей атмосферы Земли в создании парникового эффекта. Изучение процессов дегазации углеводородных флюидов из недр Земли доказали, что они являются крупными поставщиками вещества для создания биогенного и карбонатного материала в результате реакций хемосинтеза [3, 4, 5]. Холодная дегазация оказывает влияние на климатические процессы в атмосфере и ее состав [6]. Объемы органического вещества, созданного на дне морей и океанов простейшими организмами, сравнимы с количеством органики, полученной в результате фотосинтеза [7, 8]. Поэтому каждый новый факт проявления дегазации позволяет более точно представить масштабы этого процесса, его роли в формировании внешних оболочек Земли – литосферы, атмосферы, гидросферы, биосферы. Изучение этих оболочек и их взаимодействие является одной из задач естественных наук.

На протяжении последних тридцати лет большой научный интерес вызывают струйные выделения газа на дне морей и океанов [9]. В этом отношении Черное море представляет собой один из самых изученных регионов Земли, где поля струйных выходов за последние 30 лет были открыты на северо-западном шельфе, континентальном склоне Черного моря (от глубин 51 метра до 1770 м), около побережья Кавказа, Крыма, Болгарии, Румынии и Турции [7, 8, 9, 11, 12, 13, 14], в палеodelьте Днепра, а также в приустьевой зоне р. Супса. Уже к середине 2010 года в акватории Черного моря выявлено до 4000 таких факелов, нередко составляющих группы до 5, 10, 12 струй, а то и целые их «леса» [9, 12]. Выходы газа связаны с тектоническими зонами, которые часто продолжают на континентах. Многочисленными работами установлена связь подводных выходов газов с современными аутигенными карбонатными постройками, отложениями газогидратов, месторождениями нефти и газа [7, 13, 15, 16, 17].

Процессы выделения холодных флюидов происходят не только в глубоководной части Черного моря, а также в прибрежной зоне и на прилегающей суше [14, 15, 18, 19, 20, 21]. Уже имеются данные исследования пузырьковых выходов газа, выходящих непосредственно у берега в акватории Болгарии, Тарханкутского и Керченского полуостровов, Севастопольской и Ласпинской бухт [9, 14, 18, 19, 20, 21, 22]. В научных работах, описывающих эти выходы, исследователи уделяли большое внимание картированию выходов, определению геохимического состава газов, меньшее – изучению геологических процессов, которые их сопровождают [9, 19, 22].

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Процессы глубинной дегазации бухты Ласпи

Наиболее интересным примером глубинной дегазации у береговой линии является выход газа в бухте Ласпи (западная часть Южного берега Крыма). Явление выхода газа в прибрежной части дна этой бухты было обнаружено одним из авторов

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...

летом 2004 года на участке площадью 2500 квадратных метров [19]. Точечные выходы газа находятся на расстоянии от 10 до 50 метров от уреза воды современной береговой линии на глубине от одного до трех метров [20, 21]. Участок струйного выделения газа приурочен к центральной части бухты, где она несколько вдается в побережье (Рис. 1).



Рис. 1. Общий вид Ласпинской бухты со склона горы Куш-Кая (фото авторов).

По геологической обстановке район выхода газа приурочен к осевой зоне небольшой Ласпинской антиклинали, входящей в состав антиклинория западной части Южного берега Крыма [17]. Осевая часть представлена обнажением коренных пород таврической серии в клифе (высотой около двадцати метров) и в абразионной террасе, которые непосредственно примыкают к месту описываемого подводного выхода газа. Породы таврической серии, слагающие ядро Ласпинской антиклинали, представлены серо-черными глинистыми аргиллитами с прослоями песчаников и алевролитов. Абразионная терраса, сформированная в голоцене, сложена коренными породами таврической серии, на ней залегают пляжные отложения, представленные отдельными валунами, галечником, гравием и крупнозернистым песком [20]. Мощность аллювиальных пляжных отложений района выхода газа не больше метра. В петрографическом отношении 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 15,0 см хорошо обкатан, а преобладающая часть галек имеет плоскую форму. Размеры и форма обломочного материала указывают на его формирование в активной гидродинамической среде.

Прямолинейный характер береговой линии в изучаемом районе и смятие пород свидетельствуют о наличии тектонической зоны северо-западного простирания. Второй разлом северо-восточного простирания контролирует овраги, устья которых выходят рядом в прибрежной части [17]. Предположительно, с пересечением этих

тектонических зон связано поле струйного выделения газовых флюидов из пород таврической серии. Возможно, метан выходит и на сухопутном продолжении северо-восточной тектонической зоны, о чем косвенно свидетельствует засыхание сосен на склоне, примыкающем к участку исследования [21].

Наблюдения за выходами газа проводились в летний период года с 2004 по 2016 гг. За это время местоположение конкретных точек выходов пузырьков газа и их количество менялось, но сам участок дегазации остался приблизительно в тех же границах (Рис. 2). Большая часть выходов пузырьков газа находится на поверхности скального образования. Газ на скальных грядках выходит через круглые отверстия диаметром 0,5–1,0 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 [7, 9, 11, 13, 23].



Рис. 2. Участок основного выхода точек струйной дегазации газовых пузырьков в бухте Ласпи (фото авторов).

В разные годы наблюдения в бухте Ласпи насчитывается от 10 до 20 точек струйных выходов газа. Из точки дегазации обычно выходит поток газовых пузырьков в количестве от 30 до 80 в минуту, размером от 3.0 до 15.0 мм (возможно, существуют и более мелкие пузырьки) [21]. Наблюдается периодичность в их выбросах. Наиболее активные точки практически постоянно выделяют пузырьки в следующем порядке: вначале происходит отрыв двух – пяти мелких пузырьков, после, в нарастающем темпе, – рой (15–30) более. Через несколько секунд цикл повторяется. В течение дня количество выбросов из одной точки дегазации изменяется как в большую, так и в меньшую сторону. Имеются точечные выделения, у которых период затишья может длиться 1–10 минут. За период наблюдения установлен факт увеличения размеров пузырьков и объемов

**ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В
РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...**

выбросов газа в периоды новолуний и полнолуний [21]. С помощью химического мерного сосуда (цена деления – 1 мл) был определен объем выделяемого газа из точек дегазации за единицу времени. Он колеблется от 3 до 10 мл в минуту (3,4–15 л/сутки). Общий дебит газовых струй бухты Ласпи, измеренный в августе 2014 года, равен 40–60 мл/мин. (50–85 л/сутки). Вероятно, интенсивность и объем выделения газа может резко меняться в периоды сейсмической активности, вплоть до возгорания стометровых факелов над морем, как это было при Крымском землетрясении 1927 года. Для Ласпинской бухты известен факт появления дыма в ее акватории, который произошел в первой половине XIX века [24].

С отдельных покмарок были взяты пробы газа с глубины 1,5 метра. Они были проанализированы в лаборатории отдела радиационной и химической биологии ИнБЮМ НАНУ (сейчас ИМБИ РАН). Приборы лаборатории позволяют выполнять анализы только по содержанию низкомолекулярных предельных углеводородов (C₁–C₆). Из-за финансовых проблем не было возможности изучить состав других компонентов газа. Определение концентраций углеводородов в газе производилось по общепринятой методике [25] на хроматографе HP 5890 с набивной колонкой и пламенноионизационным детектором, укомплектованным интегратором HP3396 серии 2. Сбор газохроматографической информации, ее 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 SUPELCOSCOTTVC₁–C₆ в азоте с концентрациями 100 и 1000 ppm. Ошибка газохроматографического метода определения не превышала 5 %. Результаты определения компонентов приведены в таблице № 1.

Таблица 1.
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
	2	3	4	5	6	7	8	9
	18.08.13	1\1	250	81.9	2.57	0.011	*	15.6
	18.08.13	1\2	250	90.8	2.83	0.012	*	6.4
	18.08.13	1\3	250	91.9	2.87	0.013	*	5.2
	18.08.13	1\4	250	84.8	2.66	0.011	*	12.5
	18.08.13	1\5	250	90.1	2.81	0.018	*	7.0
	12.09.13	2\1	250	61.9	1.41	0.006	*	36.7
	12.09.13	2\2	250	54.5	1.24	0.006	*	44.2

Примечание: * не обнаружено. Анализы выполнены в лаборатории отдела радиационной и химической биологии ИнБЮМНАНУ. Аналитик – младший научный сотрудник Малахова Т. В.

Данные анализов свидетельствуют, что состав углеводородов в газе принципиально не отличается от флюидов глубоководных сипов Черного моря [4, 7, 8, 13, 22, 26, 27]. Главным компонентом его 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. Такое предположение подтверждается результатами анализов изотопного состава углерода в метане $\delta^{13}\text{C} = -35,22\text{‰}$, а в этане $-35,33\text{‰}$ [28]. В неопределенную часть состава газа (от 5 до 40 % от общего объема), несомненно, входит сероводород, который был определен авторами органолептическим методом. Кроме него, возможно, присутствуют азот, углекислый газ, водород и инертные газы. Такое предположение можно сделать по аналогии с газовым составом из скважин, пробуренных в аналогичных породах таврической серии в районах Алупки и Ялты. [29]. При проходке Ялтинского туннеля в зонах тектонических нарушений в алевролитах и аргиллитах таврической серии были встречены «горючие газы» с аналогичным составом [29]. Примером глубинной дегазации из аналогичных пород 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 Севастопольского – Ульяновского разлома глубинного заложения [29]. Газы из этого источника представлены метаном, углекислым газом, азотом, сероводородом, тяжелыми углеводородами, радоном и инертными газами (He, Ar) [29], что также является доказательством их глубинного генезиса.

Как было сказано выше, в состав газа из точек струйной дегазации входит сероводород. Он 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 органики. Высокое содержание растворимого сероводорода в воде вокруг пузырьков выхода газа в бухтах Ласпи, Очеретай [9, 18, 22], около холодных сипов больших глубин и грязевых вулканов подтверждают предположения, высказанные ранее академиком НАНУ Шнюковым Е. Ф. и другими геологами, что процессы глубинной дегазации вносят значительный вклад в формирование сероводородной зоны Черного моря [10, 19, 30, 31]. 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. Горбообразное поднятие, границы сероводородной зоны в центральной части котловины Черного моря проще объяснить дегазацией в зонах глубинных разломов, которыми обычно сопровождается земная кора при переходе от континентальной к океанической.

Блок центральной котловины Черного моря с базальтовой корой под осадочным слоем является своеобразным мантийным окном и характеризуется современными процессами дегазации. На континентальном склоне и на его границе с глубоководной котловиной значительную часть поставки сероводорода осуществляют грязевые вулканы [14, 18], большая часть которых находится рядом с

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...

зонами современных очагов землетрясений (Ялтинско-Алуштинская и Феодосийско-Керченская). Сейсмической активности региона сопутствуют частые «мгновенные» выбросы крупных объемов углеводородов, сероводородов и других газов. Следовательно, положение верхней границы сероводородной зоны и изменение содержания газов в ней следует объяснить с привлечением фактов о глубинной дегазации флюидов, связанных с Одесско-Синопским, Южнобережным, Николаевским, Салгиро-Октябрьским, Ломоносовским [10, 26] и другими глубинными разломами Черного моря и современными сейсмическими зонами [10, 14, 15].

Карбонатная постройка в прибрежной части дна бухты Ласпи

Весьма интересным геологическим следствием дегазации на дне бухты Ласпи являются скальные гряды, сформированные в местах выхода газа. Первая гряда имеет протяженность 20 м, ширину 6–8 м и высоту над уровнем дна – 0,5–1,0 м. Ее уступ в сторону суши имеет крутое падение (до 80 градусов), а в основании наблюдается ниша. Еще далее в сторону моря в 2014 году выявлены вторая узкая (1,5–2,5 м) скальная гряда, выступающая над поверхностью песчаного дна лишь на 0,25 м, а местами перекрытая песком, на которой также отмечены шесть точечных выходов газа. Гряды ориентированы по линии простирания берега и покрыты водорослями, то есть представляют собой своеобразный скальный биоценоз. Отбор геологических проб из разных участков гряд показал, что она сложена не мраморовидным известняком (как все скалы в море), а гравийно-галечниковым конгломератом.

Конгломерат гряды имеет слабовыраженную слоистость, повышенную пористость и содержит большое количество мелких створок двухстворчатых моллюсков и трубок серпул. Литологический состав обломочного материала постройки не отличается от галечников пляжа, а разница заключается в том, что в гранулометрическом составе присутствуют преимущественно гравий, мелкая и средняя галька. Этот обломочный материал характеризуется хорошей сортировкой и окатанностью, что объясняется формированием его в однородной гидродинамической обстановке [20]. Цементом конгломератов и гравелитов является желто-белая карбонатная пленка мощностью от 0,5 мм до 5,0 мм, которая находится вокруг галечного материала (Рис. 3).

Часть пленочного цемента представлена волокнистым и удлиненными пластинками белого арагонита. На поверхности гальки известняков и в пустотах цемента конгломератов встречаются звездчатые сростки волосяных кристаллов арагонита (размером 2,0–4,0 мм) и новообразования прозрачного кальцита призматической формы до 3,0 мм (Рис. 3). Часто между галечным материалом и цементом встречаются сферолиты размером 1,0–3,0 мм, представленные сноповидным волосовидным агрегатом арагонита белого цвета. Центральное их ядро обычно приурочено к углублениям в цементирующей массе, из которой в виде лучей выходят тонкие сростки кристалликов, заполняющие пустоты [20].

Таким образом, данные гряды следует считать карбонатными постройками бухты Ласпи – аналогами строений, которые известны в местах холодной

углеводородной дегазации в глубоководных участках Черного моря. Уникальной особенностью наших карбонатных построек является нахождение и сохранение их на протяжении десятилетий в прибрежной полосе, где волны вызывают интенсивный размыв донных отложений и прибрежных форм рельефа.



Рис. 3. Пленочный карбонатный цемент конгломерата постройки; увеличено в 2 раза (фото авторов).



Рис. 4. Звездчатые сростки кристаллов арагонита и прозрачного кальцита призматической формы на галечном материале конгломератов; Увел. 4. (фото авторов).

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...

Высокая прочность карбонатных построек связана с карбонатным цементом, скрепляющим обломки. Формирование карбонатной цементной массы связано биохимическими и геологическими процессами дегазации, а также с бактериальной переработкой метана.

Рассмотрим современные представления образования карбонатов подводных построек. Главным вопросом является механизм осаждения карбонатов в условиях морского мелководья. Описания сферолитов кальцита, имеющих внешнее сходство с нашими образованиями, приводятся в статьях о минералогическом составе карбонатных построек шельфа и континентального склона Черного моря [26, 27].

Исследователи отмечают, что в карбонатных матах шельфовой зоны сферолиты имеют размеры 2.0–3.0 мм, а на континентальном склоне в трубчатых телах – не более 1.0 мм [27]. Описывая сферолиты в карбонатных корках вблизи подводного грязевого вулкана Двуреченского, они указывали на «зачатки сферолитов» карбонатов под бактериальным слоем, которые имели размеры 1.0–2.0 мм [26]. Позже в бактериальном слое матов, сопровождающих карбонатные постройки, В. Ф. Гальченко нашел «мелкие включения (0.5–2,0 мм) карбонатного жемчуга» [32]. Он высказал предположение, что «через некоторый промежуток времени включения карбонатного жемчуга сливаются, образуя карбонатную корку, которая разрастается до толщины мощной плиты» [32]. Природа образования «сферолитов и жемчуга карбонатов» проявилась при изучении поверхности газогидратов метана на дне озера Байкал. Было обнаружено, что на этой поверхности находятся «необычные желеобразные шарики диаметром 2.0–5.0 мм» [33]. В них выявлено богатое морфологическое разнообразие сообществ микроорганизмов, состоящих из нитчатых форм, палочек различной длины и единичных кокков [33]. Это сообщество содержит в своем составе метаногенных и метанотрофных архей [33]. Можно предположить, что этот сложно устроенный консорциум простейших является фабрикой по производству углеводородного органического вещества и карбонатов. Арагонитовые сферолиты в карбонатных постройках морей и океанов позволяют авторам предполагать, что конечным продуктом окисления метана археями является не углекислый газ, а карбонат. Так как в ходе образования карбоната прокариоты и археи получают больше энергии для образования органического вещества, чем при окислении метана в углекислый газ (стандартная энергия образования Гиббса для $-\text{CO}_2$ – 394,38 кДж/моль, а CaCO_3 – 1128,4 кДж/моль).

Следует отметить, что в ходе подводных исследований авторы наблюдали на поверхности карбонатных построек места, покрытые тонким слоем желеподобного мата (пленки) серовато-розового цвета (Рис. 5). Под матами поверхность отложений перекрыта тонкой (1.0–3.0 мм) пористой корочкой игольчатого арагонита серовато-белого цвета с шелковистым блеском на изломе. Под микроскопом видно его микрополосчатость, которая придает ему внешнее сходство с отложениями травертинов. Во внутренних частях образцов конгломерата на гальках встречаются черные пленочные примазки. Иногда они развиваются и по трещинам в породе, это черное вещество при прокаливании сгорает, что является доказательством его биоуглеводородной природы. Неполное окисление органики обычно происходит в

восстановительной среде. Подобные условия создаются в пористой среде карбонатных построек глубинными газами сероводорода и метана. 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 [4, 8, 23, 34, 35, 36].



Рис. 5. Желеподобная пленка, раковины моллюсков на поверхности карбонатной постройки (фото авторов).

Был выполнен сравнительный геохимический анализ микрокомпонентов карбонатного цемента построек и известняка из галек конгломератов. Результаты анализов показали, что содержание меди, свинца, никеля, кобальта, цинка, стронция, бария, ванадия, бора и фосфора в карбонатном цементе (Табл. 2) в несколько раз выше, чем в галечниковом материале.

Таблица 2.

Содержание химических элементов в карбонатном цементе конгломератов, известняков галек бухты Ласпи и донных пробах бухты Очеретай [22]

Номер пробы	Содержание %										
	n 10 ⁻³			n 10 ⁻⁴				n 10 ⁻⁵	n 10 ⁻²		
	Cu	Zn	B	Pb	Co	Ni	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. Севастополе, аналитик – Котельянец Е. А. Анализ № 2 (воронка) – из донных отложений бухты Очеретай [22].

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...

Ореолы повышенных концентраций этих элементов характерны для донных выбросов газа бухты Очеретай и современных глубинных карбонатных построек Черного и других морей [3, 14, 26]. Аномальные содержания в карбонатном цементе фосфора можно объяснить образованием его за счет бактериального синтеза совместно с биоуглеродным веществом.

Геохимия цемента карбонатных построек подтверждает наше предположение, что процессы выделения газа на дне в прибрежной части бухты Ласпи имеют одну природу с дегазацией больших глубин морей, океанов и озера Байкал.

Авторы предполагают, что в зоне бухты Ласпи происходит частичная переработка метана метанотрофными и метаногенными прокариотами в сообществе с археями в органическое вещество и карбонат. Поэтому процессам волнового переноса и накопления галечников на месте дегазации сопровождалась их «мгновенным» диагенезом, т. е. превращением в конгломераты. 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 карбоната подтверждаются экспериментами, проведенными в институте микробиологии РАН. Всего несколько часов требуется для того, чтобы чехлы нитей бактерий окаменели [37]. Таким образом, можно считать гряды из конгломератов, наблюдаемые в зоне струйной дегазации углеводородов, своеобразными карбонатными постройками. Они аналоги глубинных карбонатных плоских и трубчатых строений Черного и других морей [7, 10, 26]. 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). Объемы выбросов газа здесь, по-видимому, в сотни раз меньше, чем на больших глубинах Черного моря. Поэтому масштабы карбонатизации на шельфе и на континентальном склоне значительно превышают скорость аналогичных процессов на дне прибрежной зоны. Наличие на образцах трубчатых карбонатных построек, поднятых с больших глубин Черного моря, микробных матов позволяет утверждать, что там идут интенсивные современные процессы образования карбонатного материала [2, 9, 11, 27].

В наше время считается, что возраст карбонатных построек на дне Черного моря в соответствии с ростом глубины изменяется от трех тысяч до семнадцати тысяч лет и более [4, 8, 9, 11, 26, 27]. Одни исследователи объясняют это процессами колебаний верхней границы сероводородной зоны [8], другие – фазами глобального оледенения [4, 11] и структурной перестройкой зон разломов с участками дегазации [26]. 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 [10, 16, 23, 32]. В этом случае трудно определить время, когда происходил сам процесс строительства постройки, и объяснить, почему нижняя часть ее сложена углеводородом из более древних пород, а

верхняя – из более молодых. С чем же связаны такие большие цифры возраста современных глубинных 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 [30, 38, 39], а поступление его из атмосферы в водную среду Черного моря происходит через значительный промежуток времени [30, 38]; в сероводородной зоне вертикальная циркуляция водных масс отсутствует или очень слабая, что связано с градиентом солености; колебания содержания изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}$ в образцах построек [9, 11, 16, 26, 34, 39, 40] означают открытость системы его поступления [30]; 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 указанный в работах возраст карбонатных построек завышен [4, 8, 9, 11, 26]. На их современный возраст образования указывают следующие факты: обрастание бактериальными матами [2, 4, 10, 11, 16, 23, 26, 27, 34]; обнаруженных в бактериальном слое мелких карбонатных включений (бактериальный жемчуг) [32]; сохранность хрупких древовидных карбонатных построек высотой до пяти метров в сейсмической зоне и существование их в районах активного накопления осадочного материала [7, 9, 10, 26, 27].

В наше время исследователи, занимающиеся радиоуглеродным датированием, установили факты завышения возраста органических соединений, получающих углерод с процессами глубинной дегазации. Так, определённый радиоуглеродным методом возраст современного мха, растущего в гидротермальных источниках поверхностных вулканов, оказался от шести до восьми тысяч лет [31].

Сведения по искажению датировок раковин моллюсков около очагов флюидов впервые описаны в работе Аарона П. с соавторами [35]. Результаты получены при изучении карбонатных образований и раковин двухстворчатых моллюсков из Мексиканского залива в зонах дегазации [41, 42]. Данные анализов позволили исследователям сделать вывод, что датировать можно только раковины, имеющие изотопный состав нормальных морских карбонатов ($\delta^{13}\text{C} = 0 \pm 3 \text{ ‰}$) с высокими значениями $\delta^{14}\text{C} \text{ ‰}$. Датировка остальных образцов содержит значительную ошибку [35, 42]. Используя за основу этот метод, работы по уточнению возраста карбонатных построек были выполнены на материале, взятом около очагов разгрузки флюидов на склонах котловины Дерюгина в Охотском море. Сравнивая время образования карбонатных построек и моллюсков, исследователи постарались дать оценку искажения в определении возраста и выполнить корреляцию результатов радиоуглеродного датирования карбонатов с помощью соотношения $\delta^{13}\text{C} / \delta^{12}\text{C}$ [43]. В результате пересчета поправка в возрасте составила от одной до девяти тысяч лет [43]. Образование аутигенных карбонатных построек склонов

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...

котловины Дерюгина происходило за период не более двух тысяч лет, большинство из них имеют современный возраст [43].

На Черном море 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 углерода, скорость циркуляции водных масс и глубину их находки. 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.

Особенности биоценоза карбонатных построек

Благодаря процессам дегазации и сообществу прокариот, на исследуемом участке карбонатных построек бухты Ласпи сформировался местный «оазис жизни». Его богатое разнообразие животного и растительного мира резко отличается от почти безжизненного окружения отложений гравия и песка. Конгломераты карбонатных построек содержат большое количество мелких створок моллюска митилястера (*Mytilaster lineatus*), карбонатных трубок червей семейств серпулы (*Serpulidae*), спирорбис (*Spirorbidae*), что связано с активными динамическими процессами. Трубки серпул характеризуются довольно крупными размерами, массивной скульптурой, а в их центральной части часто отмечаются налеты органики черного цвета [20].

Для объяснения биохимического механизма образования карбонатных построек следует применить метод сравнения ее с коралловыми рифами как наиболее изученной экосистемой моря. Можно заметить сходные черты: мелководность, постоянство волнового разрушения, относительное богатство растительного и животного мира, исключительно высокая продуктивность, отложение биогенного карбоната кальция. Точно так же, как кораллы образуют симбиоз с фотосинтезирующей водорослей зооксантеллой, живые существа скальной гряды на выходах метана образуют тесные трофические (пищевые) связи [21]. Обитателей карбонатных построек можно разделить на продуцентов: метанотрофные и метаногенные бактерии и археи; водоросли с не минерализованным слоевищем и известковые водоросли. Консументами являются губки, моллюски, мшанки и черви. В карбонатных постройках значительная роль принадлежит организмам, образующим поверхностный цемент. Они облекают в виде корки верхнюю часть галечников карбонатных построек и консолидируют их отдельные части в единую, прочную структуру. К этим организмам следует отнести метанотрофные и метаногенные бактерии и археи, красные водоросли и мшанки.

Активно осаждают карбонат кальция багряные (красные) водоросли. По данным научных исследований ученых Института морских биологических исследований им. Ковалевского А. О. [36], среди водорослей Черного моря, относящихся к группе красных, есть много известь выделяющих, действие которых приводит к скреплению обломочного материала.



Рис. 6. Колония мшанок на поверхности карбонатной постройки бухты Ласпи (фото авторов).

К ним относятся корковые формы багрянок, которые первыми из макроводорослей занимают твердые субстраты. Например, водоросль литотамнион (*Lithothamnion lenormandi*), образующая жесткие корки на камнях – очень красивые, похожие на эпифитные лишайники, только розовые [36, 44]. Больше всего на поверхности карбонатных построек заметны заросли бурой водоросли цистозиры бородатой (*Cystoseira barbata*), на талломах которых также встречаются многочисленные красные водоросли.

Специально следует остановиться на значении мшанок как цементаторов и каркасостроителей. Мшанка, живущая на поверхности карбонатных построек, строит известковые ячейки-соты. Они покрывают поверхность конгломератов и створки других животных (Рис. 6). Такое обволакивание является приспособлением мшанок к жизни в активной гидродинамической среде. Обволакивая твердые формы, колония тем самым предохраняется от разрушения волнами и может существовать в виде подобной достаточно ажурной конструкции.

Многочисленные на поверхности карбонатных постройках трубки сидячих червей-полихет: серпула червеобразная – (*Serpula vermicularis* L) и спирорбис (*Spirorbis pusilla*), которые строят трубки-убежища из секреторной извести, органического вещества и аглютинированных осколков раковин. Трубки серпул характеризуются довольно крупными размерами, массивной скульптурой, а в их центральной части часто отмечаются налеты органики черного цвета. Подобный черный налет один из авторов наблюдал в серпулах из пород верхнего мела и миоцена [5]. Возможно, это следы их симбиоза с метанотрофными микроорганизмами, производящими сложные биоуглеводородные соединения.

Осаждение карбонатов кальция и образование конгломератов происходит только в непосредственной близости от выхода газов на дне Ласпинской бухты. Здесь главную роль играет метан как основа сложной цепочки преобразования вещества, конечными продуктами которой является карбонат кальция и органическое вещество. Водорослевой покров и колонии мшанок являются

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...

своеобразной защитой «карбонатной постройки» от поверхностного волнового разрушения. Указанный выше видовой состав бентосных животных является компонентом своеобразного биоценоза, который сформировался на месте дегазации метана в бухте Ласпи. Первым звеном пищевой цепочки у него являются метанотрофные и метаногенные бактерии и археи.

В отличие от классических карбонатных построек, исследованных в разных частях Мирового океана, осаднение карбонатов, скрепляющих донный обломочный материал Ласпинской бухты, происходит в аэробной среде. Формирование аутигенных минералов является сложным химико-биологическим процессом, основным условием его проявления в очагах разгрузки флюидов является присутствие микробиологических сообществ. Кристаллизация карбонатов в конечном итоге приводит к «мгновенному» образованию конгломерата в виде скального массива, который можно отнести к типу бескаркасных рифов. Обладая высокой устойчивости к абразии (2 класс по классификации Шуйского Ю. Д.), постройки хорошо противостоят волнам, хотя находятся в зоне максимального их воздействия. В сезон активных динамических процессов, связанных с зимними штормами, иногда происходит разрушение карбонатной постройки, на пляж выбрасываются плитчатые глыбы конгломератов, слагавших постройку [20]. За небольшой промежуток времени к летнему периоду зона дегазации залечивает свои «раны» за счет жизнедеятельности биологических сообществ. Несмотря на слабую выраженность в рельефе дна, карбонатные постройки оказывают заметное влияние на перераспределение береговых потоков и выполняют функцию продольных волноломов.

Гипотеза образования кислорода прокариотами на морском дне в зонах дегазации

Для создания биоорганического вещества с помощью хемосинтеза бактериям и археям требуется углерод, кислород, водород, азот, сера, фосфор и вода с катионами К, Mg, Ca, Fe и Mg. Все эти элементы входят в состав морской воды и флюидов из недр. Процессы хемосинтеза, как известно, в основном происходят в анаэробных условиях. В карбонатных постройках бухты Ласпи, где по порам и каналам наблюдаются высокие концентрации сероводорода и метана, такие условия существуют в бактериальных матах и, возможно, во внутренней части конгломератов (Рис. 7)

Получение сложного органического вещества без энергетических затрат невозможно. Поэтому этот процесс осуществляется консорциумом метанотрофных, метаногенных, нитротрофных и сульфатредуцирующих бактерий и архей. По-видимому, между ними происходит своеобразный обмен усвоенными элементами, органикой и энергией, которая получается за счет окисления углерода и серы. Кислород для создания органического вещества и реакций окисления некоторые виды архей, по гипотезе одного из авторов статьи, научились получать за счет разложения молекул воды.



Рис. 7. Анаэробная зона в конгломерате, слагающем карбонатную постройку (фото авторов).

Этот процесс они освоили в период, когда в гидросфере и атмосфере Земли отсутствовали не только кислород, но и какие-либо другие химические соединения с ним. Позднее этот метод извлечения кислорода из воды переняли и используют в настоящее время цианобактерии и растения в процессах фотосинтеза. Можно предположить, что производство кислорода археями в анаэробной зоне может достигать таких масштабов, что часть его становится доступным для дыхания более крупным представителям подводного животного мира.

На процесс образования кислорода археями в анаэробной среде из воды в наше время указывают следующие факты: изотопный состав кислорода из карбонатных построек [4, 8, 9, 34]; наличие аэробных метанотрофов в бактериальных обрастаниях карбонатных построек сероводородной зоны на глубинах 500–1600 м [32]; содержание кислорода в отдельных пробах из придонного слоя в сероводородной зоне Черного моря на глубинах от 800 м до 2000 м [45]; наличие бурых гидроокислов железа по трещинам в образцах горных пород, поднятых из сероводородной зоны Черного моря с глубины 1700 м [26]; сростки кристаллов арагонита, целестина, гипса, барита и кальцита в поверхностных донных отложениях котловины Черного моря (устное сообщение Н. Г. Сергеевой о результатах изучения минералогии донных отложений в институте Южморгеология); наличие в жабрах моллюсков и крабов из оазисов срединных океанических хребтов архей-симбионтов [3, 32]; присутствие крупной фауны около гидротермальных источников в анаэробной среде метана и сероводорода [3]; покрытие охристой пленкой (окисление сульфидов железа) остывших частей сульфидных труб «черных курильщиков» [3].

Долгое время считалось, что в Черном море глубже 160–200 метров отсутствует кислород и аэробные формы жизни, но в 1987 году на единичной станции в пробах донной воды был обнаружен кислород [45]. Дальнейшие работы по опробованию водной толщи Черного моря показали, что его повышенные концентрации неоднократно отмечаются в отдельных точках взятия проб из придонных слоев на глубине до двух километров. Мощность кислородсодержащего слоя у дна составляет 1.0–1.5 метров и не превышает десяти метров [45]. Большинство работ

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...

по опробованию производились в районах глубоководных каньонов продолжения таких рек: Днепр, Дунай и Кизил-Ирмак, где в зонах крупных разломов активно происходят процессы дегазации углеводородов [10, 12, 46]. Аномально высокое содержание кислорода на данных глубинах исследователи объяснили поступлением сюда значительной массы «тяжелой» речной воды, насыщенной терригенной взвесью [45]. Авторы настоящей статьи ставят под сомнение предположение о том, что легкая пресная вода слоем около десяти метров по довольно сложному геоморфологическому профилю рельефа может опуститься на глубину двух тысяч метров, не изменив свою соленость и газонасыщенность.

Не выдерживает критики и вторая версия объяснения содержания кислорода в пробах, взятых в центральной части Западной котловины Черного моря (пр. 840), основанная на возможности поступления больших объемов воды в осенне-зимний период из Мраморного моря. [45]. Согласно этой версии, вода не успевает трансформироваться и создает на глубинах более двух километров обогащенный кислородом придонный слой. Мощность этой кислородной прослойки у дна составляет 1.2–3.0 м [45]. Непонятно, какими физико-химическими свойствами должен обладать этот тонкий клин кислородной воды из Средиземного моря, чтобы не впитывать растворенный сероводород из окружающей водной среды и вновь образуемый сульфатредуцирующими бактериями из поверхностного слоя донных осадков? Если такой слой с кислородом существует у дна в Западной котловине Черного моря: как осуществляется подпитка сероводородом верхней водной толщи?

Еще одну версию о связи кислородных зон на больших глубинах с субмаринными источниками и выходами прируслового стока рек высказали исследователи, занимающиеся изучением очагов существования «пресноводной и солоноватой фауны» [47]. Их выводы основывались на «океанических и гидрогеологических исследованиях», которые показали, что в придонных слоях Балаклавского, Кастельского, Судакского, Ялтинского и других каньонов Черного моря отмечаются зоны с водой пониженной солености от 12 ‰ до 17 ‰ (при фоновых зачислениях 21–22 ‰). Исследователи связали опреснение воды с поступлением в сероводородную зону субмаринных вод, обогащенных кислородом [47]. Геологическое строение региона позволяет нам сомневаться в такой трактовке. Вдоль побережья Горного Крыма проходит крупный региональный разлом, который подтверждается геологическим и геофизическим картированием. В строении шельфового и континентального склона и ЮБК участвуют флишевые отложения таврической серии и средней юры (песчаники, алевролиты и аргиллиты). Мощность этих отложений по результатам бурения – более двух километров, и они слагают стенки каньонов на континентальном склоне [29]. Надеяться на присутствие в них крупных водных потоков с суши не приходится, так как площадь области питания и количество выпадающих осадков на ЮБК незначительно. На шельфе и континентальном склоне встречаются крупные оползневые блоки верхнеюрских известняков, которые утратили связь с главной грядой Крымских гор и не могут являться крупными круглогодичными поставщиками пресных вод.

С какими процессами связаны обнаруженные выходы пресных вод в каньонах ЮБК, Турции и Болгарии [47]? По нашему предположению, каньоны приурочены к

крупным региональным разломам, с которыми связаны поля грязевых вулканов и газовых факелов [10, 12]. Их дегазация сопровождается крупными выбросами газовых и водных флюидов. Глубинная вода в этих холодных флюидах по результатам изучения грязевого вулканизма Керченского, Таманского и Апшеронского полуостровов имеет соленость от 2.0‰ до 25‰ [18], а у зон дегазации в Каспийском и Охотском морях, озере Байкал и в районе Срединного Океанического хребта глубинная вода является «ультрапресной» [6, 46, 48]. Поэтому на больших глубинах в Черном море, где происходят процессы поступления флюидов из недр, возможны гидрохимические инверсии вод с пониженной соленостью. Точка зрения о наличии кислорода в пробах, связанных с разгрузкой подруслового глубинного стока, опровергается геологическим строением шельфовой зоны и континентальных склонов Южного берега Крыма, Болгарии и Турции [12], а также данными по геохимическому составу подземных вод глубинных горизонтов Предгорного Крыма и других регионов [29].

По гипотезе авторов, выявленные аномальные концентрации кислорода в придонном слое котловины Черного моря связаны с зонами дегазации и с жизнедеятельностью архей. Кислородные зоны контролируются процессами углеводородной дегазации недр, наличием бактериальных матов вокруг них и имеют «точечные» размеры. Кислород является побочным продуктом в процессе получения водорода для органического вещества. Местами его достаточно для создания аэробных условий жизни вокруг бактериальных матов. Возможно, наша «кислородная гипотеза» доказывается находками в бактериальных матах аэробных метанотрофных бактерий [32] и более сложных организмов подводной фауны [47], использующих для дыхания кислород.

В настоящее время дегазация в бухте Ласпи носит относительно спокойный характер. Часть выбросов газа поступает в атмосферу, а остальное перерабатывается в органическое вещество и карбонат. Кроме спокойной разгрузки возможен кратковременный взрывной характер выброса газа. Объем такого извержения по результатам изучения грязевого вулканизма на суше может превышать в несколько тысяч раз масштабы его переработки и приводить к «местной» экологической катастрофе [49]. Компонентами газа являются метан, сероводород и углекислый газ, поэтому в морской акватории происходит нарушение кислородного баланса. Возможно, с этим связаны заморы рыбы у побережья бухты Ласпи, о которых рассказывали местные рыбаки. Крупный выброс и воспламенение газа в тридцатых годах девятнадцатого века описан в записках известного французского путешественника Дюбуа де Монпере Фредерика. О «столбе дыма, внезапно появившегося посередине бухты Ласпи», ему рассказал управляющий ласпинским имением Компер Ш. [24]. Возможность катастрофических выбросов газа следует учитывать при строительстве в прибрежной части Крыма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование выходов газа на дне бухты Ласпи и связанных с ними карбонатных построек имеет важное теоретическое и практическое значение.

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...

Прежде всего, показана возможность дегазации недр на морском дне в непосредственной близости от береговой линии. Возможно, имеют перспективу мониторинг этих выходов как показателей активности недр. Результаты наблюдений за поверхностным грязевым вулканизмом и сипами на дне Охотского моря доказали, что существует связь между дегазацией углеводородов и тектонической активностью [6, 34]. Можно предположить, что есть взаимосвязь между дегазацией в бухте Ласпи и сейсмическими процессами на Форосском поднятии и Черном море. Газовые струи на дне моря можно отнести к индикаторам состояния недр. Современная традиционная сейсмология и геофизика не сумели сделать прогноз катастрофического землетрясения в Японии. Многие ученые высказали предположение, что сейсмический мониторинг не отражает все разнообразие глубинных процессов в земной коре и является недостаточным для прогноза. Южный берег Крыма относится к восьмибальной сейсмической зоне. Поэтому желательно создать сеть станций слежения вдоль Южного берега Крыма (в том числе и в бухте Ласпи) и в Азовском море для систематических наблюдений за газовыми и гидрохимическими параметрами прибрежных зон дегазации. Результаты таких наблюдений, учитывая связь газовой проницаемости с деформационным напряжением пород, могут служить дополнительной информацией об изменениях напряжений в массивах земной коры.

Следует отметить, что состав газов пузырьковой дегазации бухты Ласпи подтверждает глубинный генезис этого процесса. Наличие в их составе сероводорода делает необходимым учитывать объемы газовых флюидов дегазации из недр при построении модели сероводородной зоны Черного моря, а также при прогнозировании положения ее верхней границы [10, 14].

Карбонатная постройка в подводной части пляжной зоны бухты Ласпи является уникальным геолого-биологическим объектом и требует дополнительных исследований. Ее образование, как и подобных построек на шельфе и континентальном склоне Черного моря, происходит в зоне соприкосновения и взаимодействия литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы. Общими для них является образование карбонатного вещества в местах дегазации метана при наличии бактериальных матов с метанотрофными археями. Различный внешний вид карбонатных построек связан с характером среды и физико-географическими условиями их формирования. В карбонатных постройках происходит связывание углерода и вывод его из планетарного круговорота. Эти процессы сдерживают накопление парниковых газов в атмосфере. Познание механизмов образования карбонатов на дне морей может привести к появлению нового направления биотехнологии. Следует отдать должное научному предвидению Николая Васильевича Багрова, который еще в 2005 году писал, «что с точки зрения оптимального решения проблемы или хотя бы продвижению по правильному пути к ее решению необходимо углубленное рассмотрение с комплексных географических позиций природных регуляторов CO₂ в системе Атмосфера – океан – донные отложения, которая является одной из самых могущественных природных биогеохимических систем и, кстати, до последнего времени была известна только относительно узкому кругу географов, геологов и геохимиков» [1].

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

Список литературы

1. Багров Н. В. География в информационном мире. К.: Либедь, 2005. 182 с.
2. Вернадский В. И. Очерки геохимии. М.: Горгеонефтеиздат, 1934. 380 с.
3. Лисицин А. П., Богданов Ю. А., Зоненшайн Л. П. и др. Гидротермальные проявления Срединно-Атлантического хребта на 26 с. ш. (Гидротермальное поле ТАГ) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1989. № 12. С. 3–18.
4. 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.
5. Лысенко В. 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». 2001. С. 76–82.
6. Сывороткин В. Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 250с.
7. Рязанов А. К. Газ и газовые туманы на шельфе Черного моря // Докл. АН УССР. 1996. № 4. С. 90–94.
8. Пименов Н. В., Русанов И. И., Поглазова М. Н. и др. Бактериальные обрастания на коралловидных постройках в местах выхода метановых газовывделений в Черном море // Микробиология. 1997. № 6. С. 7–14.
9. Егоров В. Н., Артемов С. Б., Гулин С. Б. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. 345с.
10. Геворкян В. Х., Бураков В. И., Исагулова Ю. К. и др. Газовывделяющие постройки на дне северо-западной части Черного моря // Докл. АН УССР. 1991. № 4. С. 80–85.
11. Леин А. Ю. Жизнь на сероводороде и метане // Природа. 2005. № 12. С. 1–14.
12. 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.
13. Ткешелашвили Г. И., Егоров В. Н., Мествиришвили Ш. А. и др. Метановые газовывделения со дна Черного моря в приустьевой зоне реки Супса у побережья Грузии // Геохимия. 1997. № 3. С. 331–335.
14. Шнюков Е. Ф. Грязевой вулканизм в Черном море // Геол. журн. 1999. № 2. С. 38–47.
15. Шнюков Е. Ф. Газогидраты метана в Черном море // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 1998. № 1. С. 41–52.
16. Векилов Э. Х. О процессах биологической ассимиляции углеродных продуктов в морской среде на примере Каспийского моря // Дегазация Земли и генезис углеводородных флюидов и месторождений. 2002. С. 316–318.
17. Лысенко В. И., Шик В. Н., Лебедева С. М. Антраксолит в породах таврической серии (триас-юра) Южного берега Крыма // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2016. Т. 91. Вып. 3–4. С. 82–92.
18. Шнюков Е. Ф., Гнатенко Г. И., Нестеровский В. А., и др. Грязевой вулканизм Керченско-Таманского региона. Киев: Наук. думка, 1992. 199 с.
19. Шик В. Н. Газовые выделения на дне бухты Ласпи // Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2006. № 1. С. 135–136.
20. Лысенко В. И., Шик В. Н. Современные процессы образования карбонатов, связанные с углеводородной дегазацией в бухте Ласпи (Южный берег Крыма) // Пространство и Время. 2013. № 2 (12). С. 151–158.
21. Лысенко В. И., Шик В. Н. Состав флюидов современной дегазации и процессы карбонатной цементации в пляжной зоне бухты Ласпи (Южный берег Крыма) // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2015. Т. 90. Вып. 1. С. 81–89.

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...

22. 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.
23. Совга Е. Е., Любарцева С. П., Любичский А. А. Метан стратиграфический ресурс Украины. Севастополь: МГИ, 2007. 68 с.
24. Дюбуа де Монпере, Фредерик. Путешествие в Крым. Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. 326 с.
25. Большаков А. М., Егоров А. В. Об использовании методики фазово-равновесной дегазации при газометрических исследованиях // Океанология. 1987. № 5. С. 861–862.
26. Шнюков Е. Ф., Щербаков Е. Е., Шнюкова Е. Е. Палеоостровная дуга севера Черного моря. Киев: Чернобыльинформ, 1997. 287 с.
27. Шнюков Е. Ф., Лейн А. Ю., Егоров В. Н. и др. Обнаружение в Черном море глубоководных карбонатных построек биогенного происхождения // Доклады НАН Украины. 2004. № 1. С. 118–122.
28. Малахова Т. В., Малахова Л. В., Егоров В. Н. и др. Струйные газовыделения севавтопольской акватории // Метан в морских экосистемах. Тезисы Всероссийской научно-практической конференции (13–15 сентября 2014). 2014. С. 90–91.
29. Гидрогеология СССР. Том 8. Крым. М.: Недра, 1970. 364 с.
30. Николаев С. Д., Свиточ А. А. Ядерные методы абсолютной геохронологии. Методы палеографических реконструкций. 2010. С. 332–342.
31. Тюрин А. М. Три постулата радиоуглеродного датирования // Сборник статей по новой хронологии. 2009. Вып. 8. С. 1–7.
32. Гальченко Ф. Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС. 2001. 500 с.
33. Земская Т. И., Шубенкова О. В., Максименко С. Ю. и др. Структура желеобразных матов в районе приповерхностного залегания газогидратов структуры Санкт-Петербург (Средний Байкал) // Геология морей и океанов: Материалы 19 Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. 2011. Т. 2. С. 42–43.
34. Лейн 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.
35. Aharon P., Schwarcz H. P., Roberts H. N. Radiometric dating of submarine hydrocarbon seeps in the Gulf of Mexico // Geol. Soc. Amer. Bull. 1997. 5. 109. № 5. P. 568–579.
36. Nataliya A., Milchakova Marine Plants of The Black Sea. An Illustrated Field Guide. Sevastopol: DigitPrint6 2011. 144 pp.
37. Розанов А. Ю., Заварзин Г. А. Бактериальная палеонтология // Вестник РАН, 1997. Т. 67. № 3. С. 241–245.
38. Арсланов Х. А. Радиоуглерод: Геохимия и геохронология. Л.: ЛГУ, 1987. 300 с.
39. Валяев Б. М., Гринченко Ю. И., Ерохин В. Е. и др. Изотопный облик газов грязевых вулканов // Литология и полезные ископаемые. 1985. № 1. С. 72–87.
40. Кутас Р. И. Геотермические условия зон газовыделения и грязевого вулканизма в Черном море // Геология морей и океанов. 2007. Т. 4. С. 108–110.
41. Brooks J. M., Konnicut M. C., Fisher C. R., Macro S. A. Deep-sea hydrocarbon seep communities // Evidence for energy and nutritional carbon sources. Science. 1987. № 238. P. 1138–1142.
42. 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.
43. 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.
44. Konnicut II M. C., Books J. M., Bidigare R. R. Ventyre taxa in hydrocarbon seep region on the Louisiana slope // Nature. 1985. № 317. P. 351–355.
45. Троцюк В. Я., Берлин Ю. М., Большаков А. М. Кислород в придонных водах Черного моря // ДАН СССР. 1988. Т. 302. № 4. С. 961–964.
46. Хаустов В. В. О генезисе гидрохимических инверсий // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2008. Сер. 7. Вып. 4. С. 20–24.

47. Бондарев И. П., Ломакин И. Э. О возможности существования очагов пресноводной или солоноватоводной фауны на шельфе, материковом склоне и в глубоководной впадине Черного моря // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2012. № 3. С. 75–84.
48. Мартынова М. А., Хаустов В. В., Диденков Ю. Н. Ювенильные воды // Пространство и время. 2013. Вып. 1. № 5. С. 134–139.
49. Двойченко П. А. Черноморские землетрясения 1927 г. в Крыму // Природа. 1928. № 6. С. 524–541.

**EDUCATION OF CARBONATE CONSTRUCTION OF LASPI COCKPIT
(SKA) AS A RESULT OF INTERACTION OF LITHOSPHERE, HYDROSPHERE,
ATMOSPHERE AND BIOSPHERE**

Lysenko V. I.¹, Chic V. N.²

¹ *Branch of Moscow State University. M.V. Lomonosov in Sevastopol, Sevastopol*

² *GBOU DOD «SCTCCE», Sevastopol*

Global warming, as one of the important environmental problems of the Earth, can not find solutions without the direct participation of geographers. N.V. Bagrov in the pages of his book «Geography in the Information World» continued the dispute, which for 100 years has been waged between supporters and opponents of Arrhenius's idea about the role of civilization in increasing the content of carbon dioxide in the atmosphere. As well as V.I. Vernadsky, N. Bagrov understood that it was impossible to reduce all the causes of the greenhouse effect only to emissions of man-made carbon dioxide. He pointed to the impossibility of solving the problem only by political methods and invited geographers, oceanologists, geologists to look for «... natural powerful counterbalances to increasing the concentration of CO₂ that resist the greenhouse effect» [1]. Scientists have proved that one of the «culprits» of the greenhouse effect is methane, which enters the Earth's atmosphere from its bowels. An example of a cold shelf degassing is the outputs gases from the underwater part of the beach area Laspi Bay. The composition of gas bubbles fluid presents methane, ethane, propane and hydrogen sulfide, it testifies to 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 biological processes. Without regard modern geological processes, that is 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. The results of geological research outputs cold degassing of hydrocarbons in the underwater part of the beach area of the bay Laspi confirm that carbonate structures with oasis of life is formed in the active geodynamic environment around the gas jets. It is represented by gravelstones and pebble beds that are cemented with aragonite and calcite. The formation of carbonate cement conglomerates in the beach area is connected with vital activity micro-and macro fauna and flora local biocenosis. High speed cementation of pebble allows to suppose that modern carbonate structures from great depths of the Black Sea and other have a younger age. The authors hypothesize that archaea receive oxygen (for the formation of organic substances and oxidation of carbon and sulfur) at the expense the decomposition of water. In the future, this method of producing oxygen was adopted by cyanobacteria and fauna. Therefore, at the bottom of the Black Sea hydrogen sulphide zone at bacterial mats with modern degassing aerobic fauna finds life are possible.

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В
РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...

Keywords: methane, degassing, aragonite, age, biogeocenosis, conglomerates, «carbonate constructions».

References

1. Bagrov N. V. Geografiya v informatsionnom mire (Geography in the information world). Kiiiv: Libyid (Publ.), 2005, 182 p. (in Russian).
2. Vernadsky V. I. Ocherki geokhimii (Essays on geochemistry). Moscow: Gorgeonefteizdat (Publ.), 1934, 380 p. (in Russian).
3. Lisitsin A. P., Bogdanov Yu. A., Zonenshayn L. P. Gidrotermal'nyye proyavleniya Sredinno-Atlanticheskogo khrebtta na 26 s. sh. (Hydrothermal manifestations of the Mid-Atlantic Ridge at 26 N). (Hydrothermal field of TAG). Izv. AS USSR. Ser. Geol., 1989, no. 12, pp. 3–18 (in Russian).
4. Lein A. Yu., Pimenov N. V., Savvichev A. S. et al. Metan kak istochnik organicheskogo veshchestva i uglekisloty karbonatov na kholodnom sipe v Norvezhskom more (Methane as a source of organic matter and carbon dioxide of carbonates on a cold sipe in the Norwegian Sea). Geochemistry, 2000, no. 3, pp. 268–281 (in Russian).
5. Lysenko N. I., Lysenko V. I. Neobychnyy kamen' – «geraklit» i problemy degazatsii metana v miotsene Kryma (Unusual stone - «Heraclitus» and problems of methane degassing in the Crimean Miocene). Geodynamics and oil and gas systems of the Black Sea-Caspian region: Sat. Doc. III Intern. Conf. «Crimea - 2001». Simferopol, 2001, pp. 76–82 (in Russian).
6. Syrovotkin V. L. Glubinnaya degazatsiya Zemli i global'nyye katastrofy (Deep Earth degassing and global catastrophes). Moscow: OOO Geoinformcentr (Publ.), 2002, 250 p. (in Russian).
7. Ryazanov A. K. Gaz i gazovyye tumany na shel'fe Chernogo morya («Gas and gas fogs on the shelf of the Black Sea»), Dokl. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1996, no. 4, pp. 90–94. (in Russian).
8. Pimenov N. V., Rusanov I. I., Poglazova M. N. et al. Bakterial'nyye obrastaniya na korallovidnykh postroykakh v mestakh vykhoda metanovykh gazovydeleny v Chernom more (Bacterial overgrowths on coral structures in places where methane gas evolved in the Black Sea). Microbiology, 1997, no. 6, pp. 7–14. (in Russian).
9. Egorov V. N., Artemov S. B., Gulin S. N. Metanovyvye sipy v Chornom more sredobrazuyushchaya i ekologicheskaya rol'. Sevastopol' (Methane sipes in the Black Sea are a medium-forming and ecological role). Sevastopol: SPC Eco See-Hydrophysics (Publ.), 2011, 345 p. (in Russian).
10. Gevorkyan V. Kh., Burakov V. I., Isagulova Yu. K. et al. Gazovydel'yayushchiye postroyki na dne severo-zapadnoy chasti Chernogo morya (Gas-producing structures at the bottom of the northwestern part of the Black Sea), Dokl. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1991, no. 4, pp. 80–85. (in Russian).
11. Lein A. Yu. Zhizn' na serovodorode i metane (Life on hydrogen sulphide and methane). Nature, 2005, no. 12, pp. 1–14 (in Russian).
12. Kruglyakova R. P., Kruglyakov M. V., Shevtsova N. T. Geologo-geokhimicheskaya kharakteristika yestestvennykh proyavleniy ulevodorodov v Chernom more (Geological and geochemical characteristics of natural manifestations of hydrocarbons in the Black Sea). Geology and minerals of the World Ocean, 2009, no. 1, pp. 37–51 (in Russian).
13. Tkeshelashvili G. I., Egorov V. N., Mestvirishvili Sh. A. Metanovyvye gazovydeleniya so dna Chernogo morya v priust'yevoy zone reki Supsa u poberezh'ya Gruzii (Methane gas emissions from the bottom of the Black Sea in the near-shore zone of the Supsa River off the coast of Georgia). Geochemistry, 1997, no. 3, pp. 331–335. (in Russian).
14. Shnyukov E. F. Gryazevoy vulkanizm v Chernom more (Mud volcanism in the Black Sea). Geol. Journal, 1999, no. 2, pp. 38–47 (in Russian).
15. Shnyukov E. F. Gazogidraty metana v Chernom more (Methane gas hydrates in the Black Sea). Geology and minerals of the world ocean, 1998, no. 41, pp. 41–52. (in Russian).
16. Vekilov E. H. O protsessakh biologicheskoy assimilyatsii uglerodnykh produktov v morskoy srede na primere Kaspiyskogo morya (On the processes of biological assimilation of carbon products in the marine environment with the example of the Caspian Sea). Degassing the Earth and the genesis of hydrocarbon fluids and deposits, 2002, pp. 316–318 (in Russian).

17. Lysenko V. I., Shik N. V., Lebedeva S. M. Antraksolit v porodakh tavrisheskoy serii (trias-yura) Yuzhnogo berega Kryma (Anthraxolite in the rocks of the Taurian series (Triassic) of the Southern coast of Crimea). *Bul. MOIP. Otd. Geol*, 2016, Vol. 91, ed. 3-4, pp. 82–92. (in Russian).
18. Shnyukov E. F., Gnatenko G. I., Nesterovsky V. A., et al. Gryazevoy vulkanizm Kerchensko-Tamanskogo regiona (Mud volcanism of the Kerch-Taman region). Kiev: Naukova Dumka (Publ.), 1992, 199 p. (in Russian).
19. Schick N. V. Gazovyye vydeleniya na dne bukhty Laspi (Gas discharge at the bottom of the Laspi bay). *Geology and minerals of the world ocean*, 2006, no.1, pp. 135–136 (in Russian).
20. Lysenko V. I., Shik N. V. Sovremennyye protsessy obrazovaniya karbonatov, svyazannyye s uglevodorodnoy degazatsiyey v bukhte Laspi (Yuzhnyy bereg Kryma) (Modern processes of carbonate formation associated with hydrocarbon degassing in Laspi Bay (Southern Coast of Crimea)). *Space and Time*, 2013, no. 2 (12), pp. 151–158 (in Russian).
21. Lysenko V. I., Shik N. V. Sostav flyuidov sovremennoy degazatsii i protsessy karbonatnoy tsementatsii v plyazhnoy zone bukhty Laspi (Yuzhnyy bereg Kryma) (Composition of the fluids of modern degassing and the processes of carbonate cementation in the beach zone of the bay Laspi (Southern Coast of the Crimea)). *Bul. MOIP. Otd. Geol*, 2015, Vol. 90, no. 1, pp. 81–89 (in Russian).
22. Lushchik A. V., Morozov V. I., Palin V. P. et al. Osobennosti formirovaniya podzemnykh vod v zapadnoy chasti Ravninnogo Kryma (na primere rayona bukhty Ocheretay) (Features of the formation of groundwater in the western part of the Plain Crimea (on the example of the Ocheretai bay area)). *Geol. Journal*, 1985, Vol. 45, no. 3, pp. 101–107 (in Russian).
23. Sovga E. E., Lyubartseva S. P., Lyubitsky A. A. Metan stratigraficheskiy resurs Ukrainy (Methane is a stratigraphic resource of Ukraine). Sevastopol: MGI (Publ.), 2007, 68 p. (in Russian).
24. Dubois de Monpere, Frederic. Puteshestviye v Krym (Journey to the Crimea). Simferopol: Business-Inform (Publ.), 2009, 326 p. (in Russian).
25. Bol'shakov A. M., Egorov A. V. Ob ispol'zovaniye metodiki fazovo-ravnesnoy degazatsii pri gazometricheskikh issledovaniyakh (On the use of the technique of phase-equilibrium degassing in gasometric studies). *Okeanologiya*, 1987, no. 5, pp. 861–862 (in Russian).
26. Shnyukov E. F., Shcherbakov E. E., Shnyukova E. E. Paleostrovnaya duga severa Chernogo morya (Paleo-islands arc of the north of the Black Sea). Kiev: Chernobylinform (Publ.), 1997, 287 p. (in Russian).
27. Shnyukov E. F., Lain A. Yu., Egorov V. N. Obnaruzheniye v Chernom more glubokovodnykh karbonatnykh postroyek biogenogo proiskhozhdeniya (Detection in the Black Sea of deep-water carbonate structures of biogenic origin). *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2004, no. 1, pp. 118-122. (in Russian).
28. Malakhova T. V., Malakhova L. V., Egorov V. N., et al. Struynnye gazovydeleniya sevastopol'skoy akvatorii (Jet gas evaporation of the Sevastopol water area). Methane in marine ecosystems. Theses of the All - Russian Scientific and Practical Conference (September 13-15, 2014). Sevastopol, 2014, pp.90-91 (in Russian).
29. Struynnye gazovydeleniya sevastopol'skoy akvatorii (Hydrogeology of the USSR). Vol. 8. Crimea. Moscow: Nedra (Publ.), 1970, 364 p. (in Russian).
30. Nikolaev S. D., Svitoch A. A. Yadernyye metody absolyutnoy geokhronologii (Nuclear methods of absolute geochronology. Methods of paleographic reconstructions). Moscow: Moscow State University (Publ.), 2010, pp. 332-342 (in Russian).
31. Tyurin A. M. Tri postulata radiouglerodnogo datirovaniya (Three postulates of radiocarbon dating). *Collection of articles on the new chronology*, 2009, no. 8, pp. 1-7. (in Russian).
32. Galchenko V. F. Metanotrofnyye bakterii (Methanotrophic bacteria). Moscow: GEOS (Publ.), 2001, 500 p. (in Russian).
33. Zemskaya T. I., Shubenkova O. V., Maksimenko S. Yu. Struktura zheleobraznykh matov v rayone pripoverkhnostnogo zaleganiya gazogidratov struktury Sankt-Peterburg (Sredniy Baykal) (The structure of jelly-like mats in the region of near-surface occurrence of gas hydrates in the structure of St. Petersburg (Middle Baikal)). *Geology of the Seas and Oceans: Proceedings of the 19th International Scientific Conference (School) on Marine Geology*, 2011, Vol. 2, pp. 42-43 (in Russian).
34. Lein A. Yu., Galchenko V. V., Pokrovsky B. G. Morskiye karbonatnyye konkretzii kak rezul'tat protsessov mikrobnogo okisleniya gazogidratnogo metana v Okhotskom more (Marine carbonate concretions as a result of microbial oxidation of gas hydrate methane in the Okhotsk Sea).

ОБРАЗОВАНИЕ КАРБОНАТНОЙ ПОСТРОЙКИ БУХТЫ ЛАСПИ (ЮБК) В
РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАМОДЕЙСТВИЯ ЛИТОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ...

- concretions as a result of processes of microbial oxidation of gas hydrate methane in the Sea of Okhotsk). *Geochemistry*, 1989, no. 10, pp. 1396–1406 (in Russian).
35. Aharon P., Schwarcz H. P., Roberts H. H. Radiometric dating of submarine hydrocarbon seeps in the Gulf of Mexico. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1997, no. 5, pp. 568–579. (in English).
 36. Nataliya A. Milchakova Marine Plants of The Black Sea. An Illustrated Field Guide. Sevastopol: DigitPrint, 2011, 144 p. (in English).
 37. Rozanov A. Yu., Zavarzin G. A. Bakterial'naya paleontologiya (Bacterial paleontology). *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 1997, Vol. 67, no. 3, pp. 241–245. (in Russian).
 38. Arslanov H. A. Geokhimiya i geokhronologiya (Radiocarbon: Geochemistry and geochronology). Leningrad: Leningrad State University (Publ.), 1987, 300 p. (in Russian).
 39. Valyaev B. M., Grinchenko Yu. I., Erokhin V. Ye. et al. Izotopnyy oblik gazov gryazevykh vulkanov (Isotopic appearance of gases from mud volcanoes). *Lithology and minerals*, 1985, no 1, pp. 72–87 (in Russian).
 40. Kutas R. I., Geotermicheskiye usloviya zon gazovydeleniya i gryazevogo vulkanizma v Chernom more (Geothermal conditions of zones of gas evolution and mud volcanism in the Black Sea, *Geologiya moré i okeanov (Geology of the Seas and Oceans)*), 2007, Vol. 4, pp. 108–110. (in Russian).
 41. Brooks J. M., Konnicut M. C., Fisher C. R., Macro S. A. Deep-sea hydrocarbon seep communities / Evidence for energy and nutritional carbon sources, 1987, pp. 1138–1142. (in English).
 42. 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, no. 3/4, pp. 396–409. (in English).
 43. Logvinna E. A., Prasolov E. M., Arslanov Kh. A. Korrektsiya izmereniy radiouglerodnogo vozrasta karbonatov iz ochagov razgruzki uglevodorodnykh fluidov (Correction of measurements of the radiocarbon age of carbonates from foci of unloading hydrocarbon fluids). *Geochemistry*, 2012, no. 11, pp. 1065–1069. (in Russian).
 44. Konnicut M. C., Brooks J. M., Bidigare R. R. Ventyre taxa in the hydrocarbon seep region on the Louisiana slope, 1985, no. 317, pp. 351–355. (in English).
 45. Trotsyuk V. Y., Berlin Yu. M., Bol'shakov A. M. Kislorod v pridonnykh vodakh Chernogo morya (Oxygen in the bottom waters of the Black Sea). *DAN USSR*, 1988, Vol. 302, no. 4, pp. 961–964. (in Russian).
 46. Khaustov V. V. O genezise gidrokhimicheskikh inversiy (On the genesis of hydrochemical inversions). *Vestnik of St. Petersburg University*, 2008, Ser.7, no. 4, pp. 20–24. (in Russian).
 47. Bondarev I. P., Lomakin I. E. O vozmozhnosti sushchestvovaniya ochagov presnovodnoy ili solonovatomodnoy fauny na shelf'e, materikovom sklone i v glubokovodnoy vpadine Chornogo morya (On the possibility of the existence of freshwater or brackish-water fauna on the shelf, continental slope and deep-sea cavity of the Black Sea). *Geology and minerals of the World Ocean*, 2012, no.3, pp. 75–84. (in Russian).
 48. Martynova M. A., Khustov V. V., Didenkov Yu. N. Yuvetil'nyye vody (Juvenile Waters). *Space and Time*, 2013, no. 5, pp. 134–139. (in Russian).
 49. Dvoichenko P. A. Chernomorskiye zemletraseniya 1927 g. v Krymu (Black Sea earthquakes in 1927 in the Crimea). *Nature*, 1928, no. 6, pp. 524–541. (in Russian).

Поступила в редакцию 21.06.2017