

ПРИРОДА

№ 2, 2005 г.

А.Ю. Леин, М.В. Иванов

Крупнейший на Земле метановый водоем

© “Природа”

Использование и распространение этого материала
в коммерческих целях
возможно лишь с разрешения редакции



Сетевая образовательная библиотека “VIVOS VOCO!”
(грант РФФИ 03-07-90415)

vivovoco.nns.ru
vivovoco.rsl.ru
www.ibmh.msk.su/vivovoco

Крупнейший на Земле метановый водоем

А.Ю.Леин, М.В.Иванов

«Черное море — величайший сероводородный водоем на нашей планете» — дежурное клише, с которого начинаются многочисленные работы, посвященные этому морю. Справедливости ради следует отметить, что в последние годы словосочетание «сероводородный водоем» стало вытесняться другим, на наш взгляд более точным — «анаэробный водоем». Исследования последних 25 лет позволяют говорить о Черном море как о крупнейшем на Земле метановом водоеме.

Три важных открытия активизировали интерес к проблеме происхождения и круговорота черноморского метана. Во-первых, это обнаружение в 1989 г. на морском дне многочисленных струйных выделений метана, так называемых холодных сипов. Во-вторых, пару лет спустя было впервые доказано, что на выходах метановых струй в строго анаэробных условиях происходит активный процесс микробного окисления метана с образованием крупных карбонатных построек и мощных микробных матов [1]. И наконец, примерно в те же годы были открыты метановые потоки из глубоководных грязевых вулканов, а в осадках обнаружены крис-



Алла Юльевна Леин, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН, участник многочисленных экспедиций на научно-исследовательских судах, неоднократно погружалась в подводных аппаратах «Мир». Круг научных интересов охватывает биогеохимические и геохимические исследования циклов углерода и серы.



Михаил Владимирович Иванов, академик, доктор биологических наук, заведующий отделом Института микробиологии им.С.Н.Виноградского РАН, около 20 лет возглавлял этот институт. Область научных интересов — микробная биогеохимия. Лауреат премии С.Н.Виноградского и премий правительства РФ в области науки и техники.

таллогидраты — $\text{CH}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Вместе с тем и в осадках, и в водной толще были зафиксированы активные процессы микробной генерации и микробного окисления метана. Возникли вопросы: какой метан, биогенный или термогенный, преобладает в водной толще Черного моря и какая его часть мигрирует из донных отложений, а какая генерируется в водной массе?

Пятнадцать лет назад подобные вопросы в Черном море решались при исследовании цикла серы. Тогда были получены неопровержимые доказательства формирования основной части сероводорода микробным путем непосредственно в водной толще [2].

Наш основной инструмент для решения вопросов о происхождении метана — сопоставление данных по концентрации метана,

© Леин А.Ю., Иванов М.В., 2005

ГЕОХИМИЯ

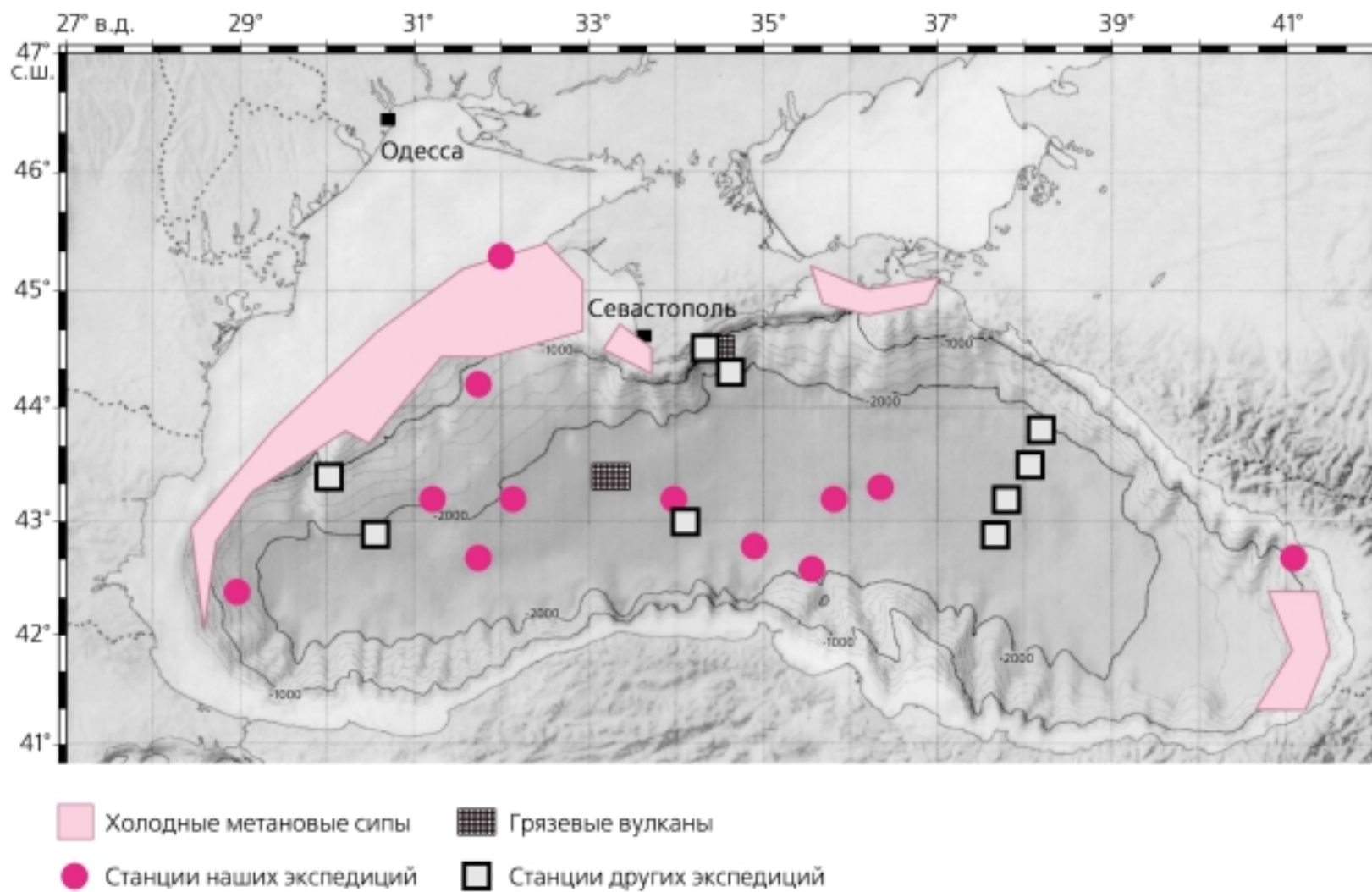


Рис. 1. Расположение станций отбора проб [1, 2] и контуры полей холодных метановых сипов [3] и грязевых вулканов [4] в Черном море.

скорости биогеохимических процессов метаногенеза, аэробного и анаэробного окисления метана с величинами фракционирования стабильных изотопов. В работе использованы результаты наших многолетних исследований (примерно на 20 станциях) и литературный материал (рис.1).

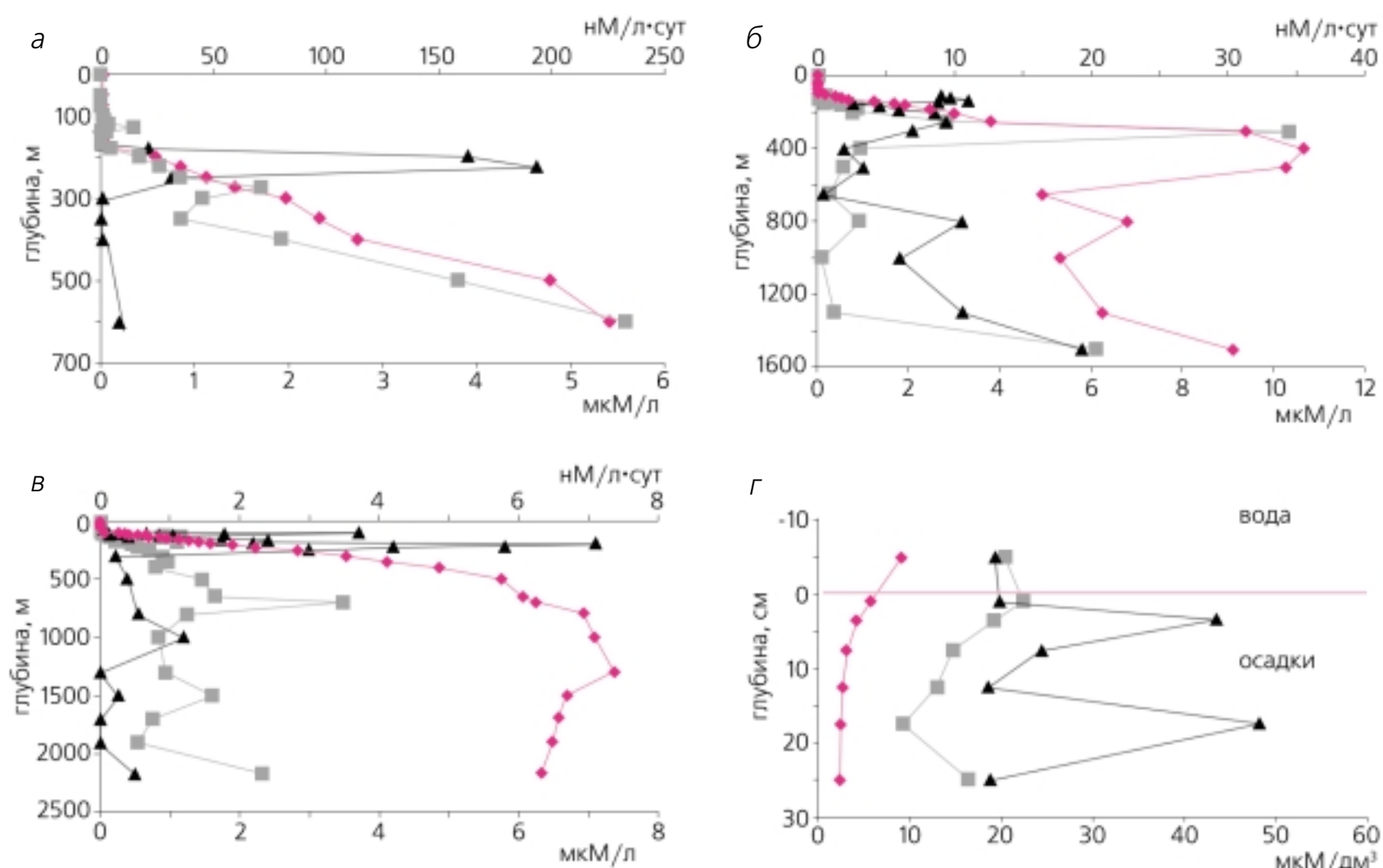
Метан водной толщи и современных осадочных отложений

Первые данные по распределению концентрации метана были получены в глубоководной зоне [3]. Оказалось, что начиная примерно со 150 м — границы анаэробной (сероводородной) зоны — до глубины 500–600 м происходит линейный рост концентрации метана практически от 0 до 10–13 мкМ/л, а далее до дна она остается монотонной. Скорее всего, основная часть метана продуцируется микроорганизмами в донных осадках, откуда он и поступает в водную толщу.

Наши исследования распространения и геохимической активности микроорганизмов, участвующих в образовании и окислении метана, были начаты в 1980 г. и продолжались вплоть до 2003 г.

Типичные профили распределения концентрации метана и скорости его микробного образования и окисления показаны на рис.2. Как следует из приводимых данных, на станциях верхней части (до 600 м) континентального склона от верхней границы анаэробной зоны до дна происходит монотонное увеличение концентрации метана. На более глубоководных станциях западной части моря, на глубине 400–600 м, обнаруживается заметный пик концентраций, происхождение которого связано с поступлением метана из многочисленных холодных сипов. Кроме того, содержание метана повышается и в придонных водах. В то же время на многих глубоководных станциях содержание метана в донных осадках заметно ниже, чем в придонной воде [4].

На рис.2 также приведены графики распределения скоростей метаногенеза и анаэробного окисления метана, полученные с использованием $^{14}\text{CO}_2$ и $^{14}\text{CO}_3\text{COONa}$ для метаногенеза и $^{14}\text{CH}_4$ для окисления метана. Анализ этих данных показывает, что в водной толще метаноокисление превышает процессы генерации метана. В целом, для всей анаэробной зоны (глубины более 200 м, площадь 306 км²) продукция метана составляет $62.9 \cdot 10^{10}$ молей в год, а окисление метана — $77.77 \cdot 10^{10}$ молей



◆ концентрация CH₄, мкМ/л
 ■ скорость метаноокисления, нМ/л·сут
 ▲ скорость метаногенеза, нМ/л·сут

Рис.2. Типичные профили распределения концентрации метана (мкМ/л) и скоростей микробной генерации и микробного окисления метана (нМ/л·сут) в водной толще Черного моря на глубинах 600 м (а), 1500 м (б), 2200 м (в) и в верхних 25 см осадков (г, д).

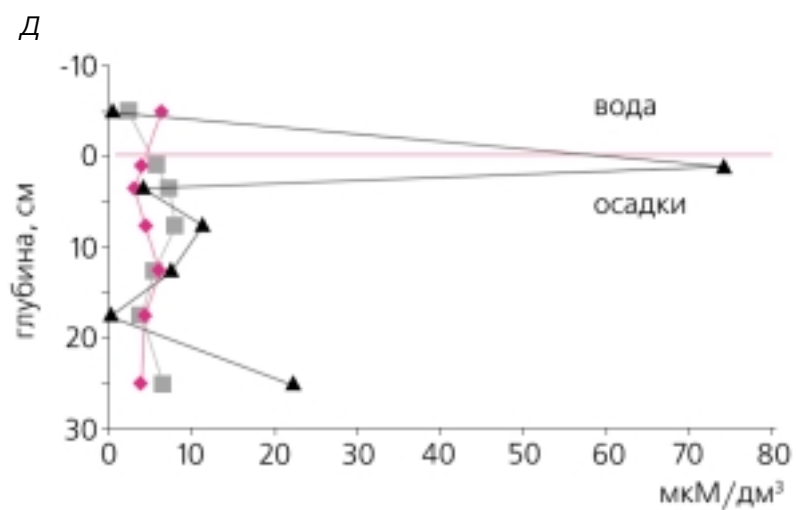


Рис.3. Гистограмма изотопного состава метана из верхнеголоценовых осадков Черного моря. 1 — по [3], 2 — по [4], 3 — по [5].

в год. Соответствующие величины для позднеголоценовых осадков существенно ниже — $27.6 \cdot 10^7$ и $24.6 \cdot 10^7$ молей [5].

Микробный метаногенез в анаэробной водной толще обеспечивает более 80% содержащегося в воде метана, но не менее $14.9 \cdot 10^{10}$ молей метана ежегодно поступают в водную толщу и из внешних источников — подводных грязевых вулканов и холодных метановых сипов.

Приведенные на рис.3 величины δ¹³C метана из верхних горизонтов и из донных осадков (с глубины 4.8—6.3 м от границы раздела вода—осадки) однозначно свидетельствуют о его биогенной природе. По результатам наших экспериментов с радиоактивно-мечеными субстратами, именно реакция восстановления CO₂ водородом ответственна за образование более 90% метана в осадках и водной толще моря [5, 6].

ГЕОХИМИЯ

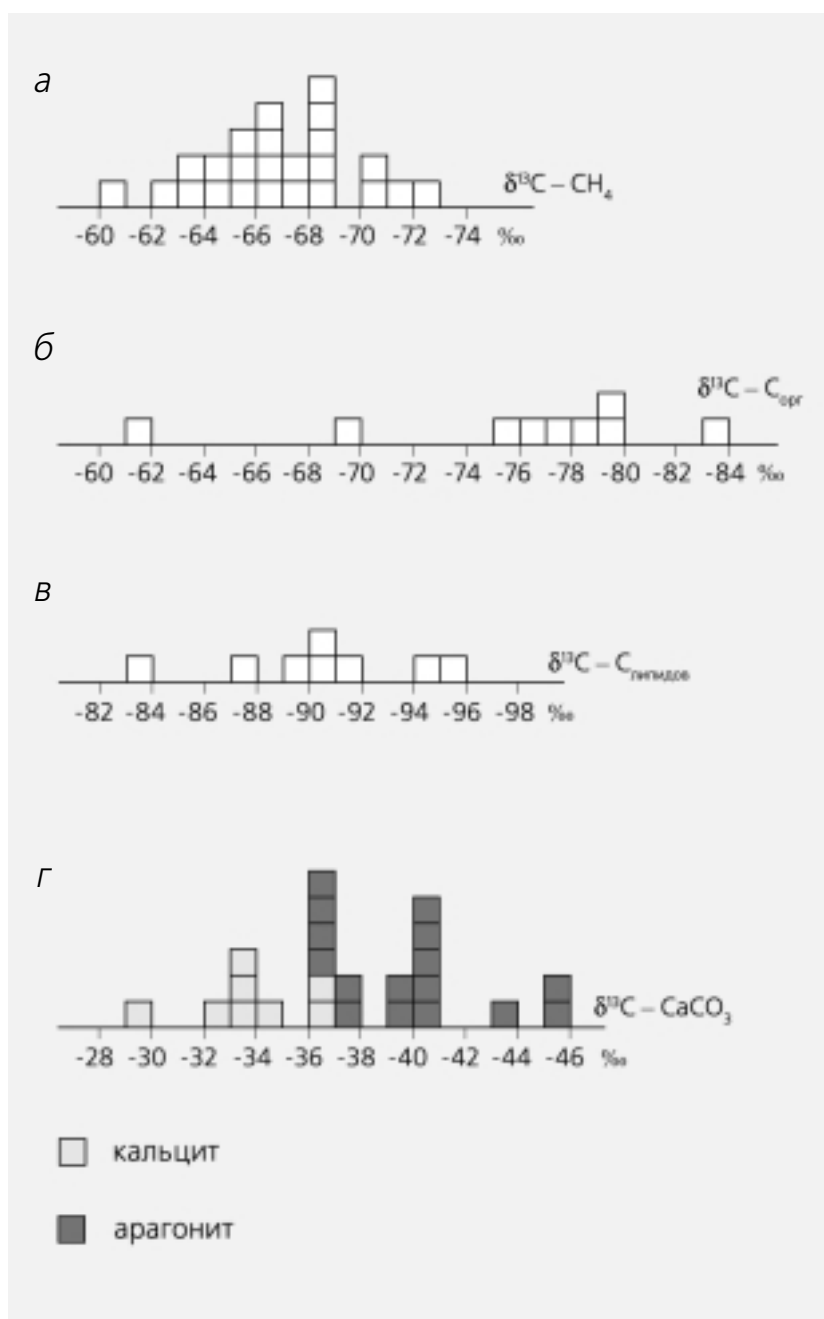


Рис.4. Гистограмма значений $\delta^{13}\text{C}$ углерода метана холодных сипов (а), органического углерода микробных матов, покрывающих карбонатные постройки (б), органического углерода липидной фракции, выделенной из микробных матов (в) и углерода аутигенных карбонатов построек на дне (г) Черного моря.

Метан холодных газовых струй

Второй мощный источник черноморского метана — холодные метановые струи (сипы). К настоящему времени они обнаружены практически по всей периферии Черного моря (рис.1) и на разных глубинах, вплоть до 2000 м. По расчетам, поток метана в атмосферу с акватории Черного моря составляет от 2 до $10 \cdot 10^{10}$ молей в год [7].

Уже первые анализы изотопного состава метана ($\delta^{13}\text{C} = -60\text{‰}$), выходящего в виде струй пузырьков из карбонатной постройки на глубине 226 м в Днепровском каньоне, поставили под сомнение гипотезу его термогенного происхождения [1].

Более детальные исследования изотопного состава метана сипов (рис.4) были проведены нами на образцах, отобранных с борта пилотируемого подводного аппарата «Jago» во время международной экспедиции по проекту GOSTDABS (руководитель проекта профессор W.Michaelis из Гамбургского университета) в июне—июле 2001 г. непосредственно из струй газа [8]. Близкие значения изотопного состава углерода метана холодных сипов Черного моря ($\delta^{13}\text{C}$ от -62.4 до -68.3‰) позднее были получены и немецкими участниками этого проекта [9]. По величинам $\delta^{13}\text{C}$ и δD все изученные пробы попадают в поле биогенного метана (табл.1), образовавшегося при микробиологическом восстановлении углекислоты водородом [10].

Еще одно важное доказательство биогенного генезиса метана холодных сипов Черного моря — крайне низкое содержание в газовом флюиде тяжелых гомологов метана (менее 0.0n%).

Таким образом, биогенный генезис метана черноморских сипов доказывается тремя независимыми параметрами: изотопным составом углерода, изотопным составом водорода и концентрацией газообразных гомологов метана. Изучение профилей распределения метана по всему разрезу на глубине 3.0—3.5 м от поверхности дна показывает постоянный рост его концентрации вплоть

Таблица 1

Химический состав газов и изотопный состав метана холодных сипов Днепровского каньона

№№	Глубина, м	Состав газов, объемн. %				$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB*)	δD , ‰ (SMOW*)
		CH_4	H_2	N_2	CO_2		
1	182	95.0	—	—	—	-68.2	—
2	225	99.0	0.17	0.90	0.00	-68.1	—
3	324	95.1	0.25	4.60	0.26	-70.5	-144
4	230	99.0	0.02	0.90	0.80	-64.0	-132
5	111	99.1	0.01	0.00	0.90	-65.0	—
6	371	94.9	0.02	5.10	0.05	-63.0	—
7	226	99.6	0.00	0.17	0.26	-66.5	-201
8	64	96.2	0.01	3.60	0.10	-65.0	—
9	321	98.8	0.02	1.10	1.10	-68.5	-169
10	230	96.8	0.01	3.20	0.00	-62.4	—

* Международные изотопные стандарты.

до величин 50–75 мМ/м поровой воды [11]. Наши данные по определению (с $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$) скорости метаногенеза говорят о том, что микробный метаногенез происходит во всей толще голоценовых осадков как минимум до глубины 6.3 м от поверхности дна [3, 12].

Многие исследователи метановых сипов Черного моря связывают распределение активных полей с разрывными нарушениями, по которым идет дегазация мощной толщи осадочных пород. По этим же нарушениям происходит и выделение биогенного метана, в том числе и из сапропелевого горизонта, сильно обогащенного органическим углеродом (до 22%).

Метан грязевых вулканов

Третий источник черноморского метана — грязевые вулканы и субмаринные скопления газгидратов в отложениях нижней части континентального склона на глубинах 700–750 м и в глубоководной котловине. Поскольку грязевые вулканы локализованы в зонах тектонических нарушений, большинство исследователей полагало, что выделяющийся из них метан должен иметь термokatалитическое происхождение (термогенный метан).

Однако полученные к настоящему времени данные по изотопному составу метана, выделяющегося в составе флюида грязевых вулканов и из газгидратов донных отложений, показывают, что проблема генезиса такого метана более сложная. Типичный для термokatалитического метана изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$ от -30.0 до -50.0%) обнаружен только над крупными вулканами, локализованными в центральной части западной халистазы (глубоководной зоны). Метан же большинства грязевых вулканов, например в трогее Сорочкина, и газгидратов из осадков имеет легкий изотопный состав углерода, характерный для микробного метана, образующегося при восстановлении углекислоты автотрофными метаногенами.

Данные по содержанию газообразных гомологов метана неоднозначны: в газах центральной области моря их концентрация достигает нескольких процентов, что подтверждает термогенное происхождение основной части углеводородов, выделяющихся здесь. В большинстве же газов, отобранных в трогее Сорочкина, содержание гомологов метана составляет существенно менее одного процента, хотя описаны случаи, когда пробы с биогенным метаном содержали и довольно высокие их количества.

Данные по изотопному и газовому составу флюидов грязевых вулканов пока немногочисленны, что, конечно, затрудняет их обсуждение. Не вызывает сомнения лишь тот факт, что грязевые вулканы «сидят» на тектонических нарушениях. Однако из этого не следует, что идущий по ним газ генерируется только на больших глуби-

нах и при высоких температурах. По разрывным нарушениям и другим газопроводящим каналам к поверхности может двигаться и метан смешанной природы, в том числе и биогенный. Последний образовывался как в прошлые геологические эпохи, в течение которых под Черным морем накопилась 12–15-километровая толща осадков, так образуется и в настоящее время в неконсолидированных богатых органическим веществом голоцен-плейстоценовых осадках.

Метан водной толщи

Наименее детально исследован изотопный состав метана, растворенного в водной толще Черного моря. Немногочисленные данные, опубликованные в литературе, суммированы в табл.2. Сопоставление величин $\delta^{13}\text{C}$ метана из проб, полученных при отборе газа из струй непосредственно в местах его выхода на поверхность на разных глубинах водной толщи, показало, что по пути движения газовых пузырьков к поверхности моря происходит небольшое утяжеление изотопного состава метана за счет избирательного растворения более легкого метана. В то же самое время растворенный метан заметно утяжелен по сравнению с пробами газа, отобранными из пузырьковых струй на тех же самых горизонтах водной толщи. Этот феномен объясняется активным процессом анаэробного окисления метана, происходящим в сероводородной зоне Черного моря.

Интенсивный процесс микробного окисления метана, сопровождающийся утяжелением изотопного состава остаточного метана (вплоть до $\delta^{13}\text{C} = -19.0\%$), продолжается в хемоклине (пограничном слое между аэробной и анаэробной зонами). Однако выше хемоклина в кислородной зоне вновь появляется легкий метан ($\delta^{13}\text{C}$ от -40.0 до -60.6%), который образуется в анаэробных микронизах (кишечник зоопланктона, пелеты и другие частички) за счет деятельности анаэробных метаногенов. Наши эксперименты с $^{14}\text{CO}_2$ и $^{14}\text{CH}_3\text{COONa}$ показали, что скорость метаногенеза (в расчете на литр воды) в кислородной зоне может достигать 170–180 нл CH_4 в сутки, а превышение продукции микробного метана над его потреблением колеблется от 0.6 до 5.4 мл под квадратным метром в сутки в расчете на всю толщину кислородной зоны. Эти новые экспериментальные данные объясняют наличие пиков содержания метана в аэробной зоне, которое описывалось многими исследователями. Поскольку основная часть метана анаэробной зоны окисляется на контакте с кислородсодержащими водами, именно метан, образующийся при метаногенезе на частичках в аэробной зоне, и есть основной метан морского генезиса, поступающий в атмосферу.

К сожалению, изотопный состав растворенного метана анаэробной зоны центральной части

ГЕОХИМИЯ

Таблица 2
Изотопный состав углерода черноморского метана

№№	Описание образцов	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	Литературный источник
1	Метан из верхнеголоценовых осадков	-60.4 — -91.0 -67.6	[3–6]
2	Метан холодных сипов (растворенный)	-62.0 — -72.0 -65.8	[10, 16]
3	Метан газовых струй (пузырьковый)	-58.5 — -68.4 -64.5	[16]
4	Растворенный метан из анаэробной водной толщи	-50.8 — -58.0 -55.4	[16]
5	Растворенный метан из водной толщи в зоне хемоклина	-19.0 — -48.5 -35.2	[16, 17]
6	Растворенный метан из кислородной зоны в одной толще	-40.0 — -66.6 -54.3	[16, 17]
7	Растворенный термокаталитический метан из анаэробной зоны над грязевыми вулканами	-43.0 — -47.5 -45.7	[16]
8	Метан грязевых вулканов	-30.0 — -55.0	[13, 14]

В числителе — пределы значений $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$, в знаменателе — средние величины.

Черного моря охарактеризован значительно менее ($\delta^{13}\text{C} = -55.4\text{‰}$), чем Днепровского каньона. Тяжелый метан ($\delta^{13}\text{C}_{\text{средн.}} = -45.7\text{‰}$) обнаружен в водной толще на глубинах от 900 до 2070 м, в зоне грязевых вулканов центральной части западной халистазы.

Экспериментально определив общее количество продуцируемого в водной толще микробного метана — $M_{\text{био}}$ ($62.9 \cdot 10^{10}$ М/год) и общее количество окисляемого метана — $M_{\text{ок}}$ ($77.7 \cdot 10^{10}$ М/год), мы получили суммарную величину потоков из сипов и грязевых вулканов ($M_{\text{сип}} + M_{\text{волк.}} = 14.8 \cdot 10^{10}$ М/год). Величины $\delta^{13}\text{C}$ метана внешних источников также известны: $\delta^{13}\text{C}$ метана холодных сипов $\delta^{13}\text{C}_{\text{сип}} = -65.8$, $\delta^{13}\text{C}$ термогенного метана $\delta^{13}\text{C}_{\text{волк.}} = -40.0\text{‰}$ (табл.3). Величина $\delta^{13}\text{C}$ биогенного метана составляет -67.6‰ , а расчетная величина $\delta^{13}\text{C}$ суммарного растворенного метана $\delta^{13}\text{C}_{\text{tot}} = -64.5\text{‰}$ (табл.3). За основу расчета взята измеренная величина $\delta^{13}\text{C}$ растворенного метана (-55.4‰), которая увели-

чена на -9.1‰ (на разницу между пузырьковым и растворенным метаном, возникающую в процессе анаэробного окисления метана).

Располагая всеми этими данными, по уравнению материально-изотопного баланса можно рассчитать суммарную величину $\delta^{13}\text{C}$ метана, поступающего из сипов и грязевых вулканов:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{сип+волк}} = \frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{био}} \cdot M_{\text{био}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{tot}} \cdot M_{\text{tot}}}{M_{\text{сип+волк}}} = -51.3\text{‰}$$

Теперь можно рассчитать и отдельно количество метана, поступающего из вулканов ($M_{\text{волк}}$) и из сипов ($M_{\text{сип}}$), в сумме составляющее $14.8 \cdot 10^{10}$ молей в год

$$M_{\text{волк}} = \frac{M_{\text{сип+волк}} \cdot \delta^{13}\text{C}_{\text{сип}} - M_{\text{сип+волк}} \cdot \delta^{13}\text{C}_{\text{сип+волк}}}{(\delta^{13}\text{C}_{\text{волк}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{сип}})} = 7.8 \text{ моль/год.}$$

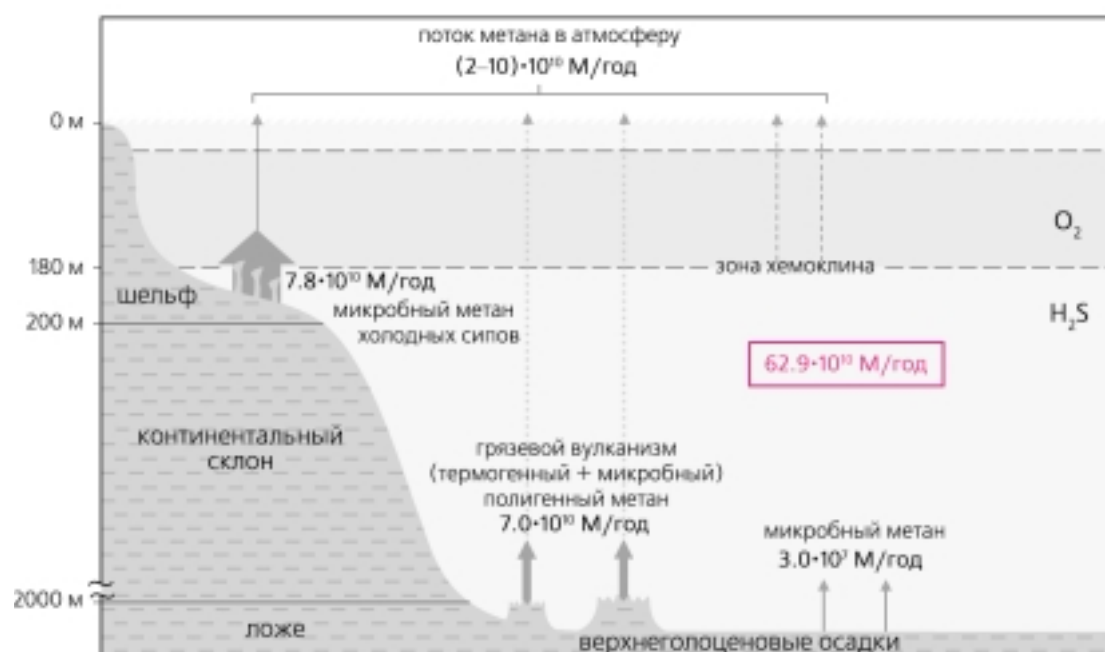
Таким образом, ежегодное поступление метана из внешних источников (грязевых вулканов и хо-

Таблица 3
Изотопный состав углерода метана из грязевых вулканов и газгидратов

№№	Описание образцов	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	Литературный источник
1	Крупные постройки грязевых вулканов в центральной части Черного моря и в трог Сорокина	-30.0 — -50.0 -40.0 — -42.0	[13, 14]
2	Мелкие грязевые вулканы из трога Сорокина	-55.0 — -75.0	[13]
3	Газгидраты и вмещающие осадки	-61.0 — -65.0	[13]
4	Газгидраты из Двуреченского грязевого вулкана*	-62.0 — -66.0	[15]
5	Газ из осадков на вулканических структурах и из газгидратов	-61.8 — -63.5	[14]
6	Газ из осадков на вулканических структурах	-63.9	Наши данные из Крымской экспедиции

Значения δD метана этих образцов находятся в пределах от -185 до -209‰ (SMOW).

Рис.5. Баланс метана в Черном море. Цветом показана ежегодная микробная продукция CH_4 в водной толще.



лодных сипов) приблизительно одинаково — $7.8 \cdot 10^{10}$ и $7.0 \cdot 10^{10}$ молей в год.

В местах выхода метана из холодных сипов и грязевых вулканов происходит крупномасштабный процесс анаэробного окисления метана, сопровождающийся накоплением изотопно-легкого органического вещества бактериальных матов и аутигенных (образованных на месте) карбонатных минералов [18]. Уже первые анализы, выполненные нами в 1989 г., показали, что арагонит карбонатных построек имеет величины $\delta^{13}\text{C}$ до -38% , а органическое вещество мата, покрывающего постройку, — -82.5% .

Результаты более детального изучения изотопного состава органического вещества матов, выделенной липидной фракции, а также арагонита карбонатной постройки и кальцита плиты, на которой находится эта постройка, приведены на рис.4. Некоторое обеднение изотопного состава органического углерода изотопом ^{13}C по сравнению с метаном — результат фракционирования изотопов углерода при синтезе микробной биомассы. Еще более обеднена изотопом ^{13}C липидная фракция. В образовании карбонатных минералов наряду с изотопно-легкой углекислотой, получающейся при окислении метана, принимает участие и минеральный углерод, растворенный в морской воде.

* * *

Результаты изучения геохимической активности микроорганизмов, участвующих в круговороте метана в Черном море, и данные по его изотопному составу позволяют утверждать, что око-

ло 80% метана, растворенного в водной толще, образуется за счет активности метаногенов. На потоки метана из холодных сипов и грязевых вулканов приходится по 10%. Метан из донных осадков не играет существенной роли в метановом балансе.

В водной толще, донных осадках и на выходах метана из холодных сипов и грязевых вулканов наблюдается крупномасштабный процесс анаэробного окисления метана, сопровождающийся накоплением изотопно-легких карбонатных минералов и экстремально-легкой биомассы микробных матов.

В анаэробных микроразонах взвешенного материала даже в аэробной водной толще происходит автотрофный метаногенез с образованием изотопно-легкого метана. Часть его мигрирует из водной толщи Черного моря в атмосферу.

Использованный нами биогеохимический подход к изучению всех источников этого газа в водоеме дал возможность создать первую количественную модель метана в Черном море. Как видно на рис.5, основной поток метана в атмосферу поступает из холодных метановых сипов (с глубин 20–360 м) и из водной толщи, где он образуется в анаэробных микронизах и при метаболизме планктонных организмов. Грязевые вулканы и глубоководные осадки же поставляют метан в придонные воды. ■

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 02-04-49926

Литература

1. Иванов М.В., Поликарпов Г.Г., Леин А.Ю. и др. // Докл. АН СССР. 1991. Т.320. №5. С.1235–1240.
2. Леин А.Ю., Иванов М.В., Вайнштейн М.Б. // Микробиология. 1990. Т.59. №4. С.656–665.
3. Hunt Y.M. Hydrocarbon geochemistry of the Black Sea // The Black Sea – geology, chemistry and biology / Eds E.T.Degens, D.A.Ross. Amer. Ass. Petrol. Geology. Tulsa, 1974. V.26. P.499–504.
4. Hunt Y.M., Whelan Y.K. Dissolve gases in the Black Sea sediments // Init. Rept. Deep Sea Drilling Project. 1978. V.42. P.661–665.

ГЕОХИМИЯ

5. *Ivanov M.V., Rusanov I.I., Lein A.Yu. et al.* Biogeochemistry of methane cycle in the anaerobic zone of the Black sea // Past and present water column Anoxia. Proc. NATO ARW 4–8. Oct. 2003. Sevastopol, 2003. P.42–43.
6. *Ivanov M.V., Pimenov N.V., Rusanov I.I., Lein A.Yu.* // Estuarine coastal and shelf Science. 2002. V.54. P.589–599.
7. *Dimitrov L.* // Continental shelf res. 2002. V.22. P.2429–2442.
8. *Lein A.Yu., Pimenov N.V., Ivanov M.V.* The isotopic composition of methane and products of its anaerobic microbial oxidation in the Black sea // Past and present water column Anoxia. Proc. NATO ARW 4–8. Oct. 2003. Sevastopol, 2003. P.53–54.
9. *Pape T., Seifert R., Blumenberg M. et al.* Results of GHOSTDABS project, topik Biogeochemistry // Methane seepage, mud volcanoes and hydrates in the Black sea. Leibniz-Institut für Meerswissenschaften, 2004.
10. *Лейн А.Ю., акад. Иванов М.В., Пименов Н.В.* // Докл. АН. 2002. Т.387. №2. С.242–244.
11. *Jorgensen B.B., Weber A., Zopfi J.* Sulfate reduction and anaerobic methane oxidation in Black sea sediments // Deep Sea Res. 2001. P.1. V.48. P.2097–2120.
12. *Иванов М.В., Вайнштейн М.В., Гальченко М.Ф. и др.* Распределение и геохимическая активность бактерий в осадках // Изучение генезиса нефти и газа в Болгарском секторе Черного моря. София, 1984. С.150–181.
13. *Ivanov M.K., Stadnitskaya A.* Methane-seeps related processes in the Black Sea // Past and present water column Anoxia. Proc. NATO ARW 4–8. Oct. 2003. Sevastopol, 2003. P.39–41.
14. *Byakov Y.A., Kruglyakov R.P., Kruglyakova M.V.* Gas hydrates of the Black Sea sediment section: genesis, geophysical methods for their discovery and mapping // Gas in marine sediments. Abstract book 7-th International conference. Baku, 2002. P.24–26.
15. *Blinova V.N., Ivanov M.V., Bohrman G.* Study of hydrocarbon gases in deposits from mud volcanoes in Sorokin Trench // Methane seepage, mud volcanoes and hydrates in the Black sea. Leibniz-Institut für Meerswissenschaften, 2004.
16. *Seifert R.* Preliminary results of GOSTDABS project // Methane seepage, mud volcanoes and hydrates in the Black sea. Leibniz-Institut für Meerswissenschaften, 2004.
17. *Shubert K.J., Kaizer E.J., Knypers M., Wehrly B.* Methane formation and oxidation in the Black Sea // Past and present water column Anoxia. Proc. NATO ARW 4–8. Oct. 2003. Sevastopol, 2003. P.82–83.
18. *Лейн А.Ю.* // Литология и полезн. ископ. 2004. №1. С.3–35.

Коротко

Муниципалитет Сан-Франциско (США) приступил недавно к разработке проекта приливной электростанции, призванной разрешить возрастающие энергетические проблемы этого мегаполиса. Построят сооружение в горловине бухты Сан-Франциско (здесь ежедневно перемещается 1.5 трлн м³ океанской воды), турбины установят в кессонах. Проект учит опыт эксплуатации французской приливной электростанции Ранс (Бретань). В ближайшем будущем начнутся работы по оценке воздействия планируемого энергетического узла на местную экосистему.

Sciences et Avenir. 2004. №689. P.34 (Франция).

Согласно переписи, проведенной за четыре года Всемирным фондом дикой природы, в Китае

сейчас обитает 1600 больших панд, что на 50% больше, чем в 1988 г. Естественно, панды не могли так быстро размножиться. Столь оптимистичные итоги переписи — в основном результат усовершенствования методики подсчета животных. В то же время перепись подтвердила существовавшее мнение о раздробленности ареала большой панды, которая остается в списке видов, находящихся под угрозой исчезновения.

Science et Vie. 2004. №1043. P.23 (Франция).

Широкое генетическое исследование на воробьиных — одной из самых многочисленных групп птиц в мире — показало, что наиболее древние в генетическом отношении виды обитают в Австралии, Новой Зеландии и Южной Америке.

Их общий предок существовал там в конце мелового периода, когда эти материки составляли единое целое, а затем в течение 40 млн лет воробьиные заселили Евразию, Африку и Северную Америку.

Sciences et Avenir. 2004. №691. P.28 (Франция).

В лунном метеорите Dhofar 280, который был найден в Омане в 2000 г., обнаружена новая минеральная фаза, Fe₂Si, образование которой связано с микрометеоритной бомбардировкой поверхности спутника Земли. Новый минерал назвали гапкеитом, в честь Б.Гапке (В.Нарке; Питтсбургский университет, США), который еще 30 лет назад предсказал его существование.

Sciences et Avenir. 2004. №688. P.28 (Франция).