

УДК 553.982.061.33

© В.А.Крайюшкин, 2008

Институт геологических наук НАН Украины, Киев

НЕБИОГЕННАЯ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ЦЕНТРОВ СПРЕДИНГА ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА

Согласно современной российско-украинской теории глубинного, небиотического происхождения нефти и природного газа, они образуются из неорганических веществ в мантии Земли и мигрируют в земную кору вследствие дегазации подкоровой области, что лучше всего можно видеть в современных центрах-осях спрединга дна Мирового океана. Здесь горячие донные гидротермы, исходящие прямо из базальтов, габбро, гарцбургитов, дунитов, перидотитов и серпентинитов, являются нефтегазоносными и вдоль Восточно-Тихоокеанского поднятия ежегодно выносят $1,3 \cdot 10^9$ м³ водорода, $16 \cdot 10^7$ м³ метана, а также ³He.

Глобальная дегазация Земли снабжала и снабжает геофлюидами атмосферу, гидросферу и литосферу, обуславливая в двух последних возникновение и накопление многих полезных ископаемых, что лучше всего видно в современных центрах спрединга дна Мирового океана.

Глобальная система этих центров, или осей характеризуется шириной от сотен до тысяч километров и длиной около 55 тыс. км. На 99 % этой длины обнажаются изверженные породы мантии или производные мантийных магм — базальты, габбро, гарцбургиты, долериты, дуниты, перидотиты и серпентиниты. На остальной же ее части, равной 1 % длины, они перекрыты донными осадками максимальной толщиной не более 450-500 м. Гидротермальная деятельность, сопряженная с газонефтерудогенезом, наблюдается вдоль упомянутой глобальной дизъюнктивной системы примерно через каждые 10 км независимо от скорости спрединга дна океана. В виде ключей здесь интенсивно разгружаются поддонные конвекционные гидротермальные системы, фонтанируя горячими (90-635°С и выше) газированными рассолами со скоростью от 0,1-0,2 до 1-2 м/с из белых и черных “курильщиков”. Соленость гидротермальных рассолов — в интервале от 2,1 до 62,5 %-эквивалента NaCl. Глубина океана над донными выходами гидротерм, как правило, более 2000 м, и гидротермы фонтанируют с упомянутыми скоростями при противодействии на их устьях более 20 МПа. Время жизни одной гидротермы — 10-10² лет, а гидротермального поля — 10³-10⁶ лет [25, 27, 31].

Активная гидротермальная деятельность здесь изучалась учеными разных стран в экспедициях на научно-исследовательских судах (НИС) “Академик Борис Петров”, “Академик Николай Страхов”, “Академик Мстислав Келдыш”, “Атлантис-2”, “Жан Шарко”, “Зонне”, “Надир”, “Океанограф” и других, подводными лодками “Алвин”, “Мир”, “Нотиль”, “Фара-

нот”, “Флорес” и роботами (подводными буксируемыми аппаратами), способными телеавтоматически освещать лучами яркого света дно океана и его объекты, получать и передавать на борт НИС фото- и телеизображения, отбирать образцы донных осадков и горных пород, пробы морской воды и гидротермальных флюидов, измерять температуру, давление и т.д. Установлено, что подводно-донные гидротермальные ключи — это обычное явление в центрах-осях спрединга морского и океанского дна. Они активно деятельны в трещинно-разломных зонах (ТРЗ) Бланко, Восточнотихоокеанской, Галапагосской, Горда, глубоководного эскарпа Флориды, Калифорнийского залива, Костариканской, Красноморской, Лау, Марианской, Мендосино, Северофиджийской, Срединноатлантической, Срединноиндоокеанской, Тонга-Кермадекской, Хуан-де-Фука, Эсканаба и в других геодинамических условиях. К настоящему времени изучено более 100 активных подводно-донных гидротермальных полей, чьи горячие флюиды ассоциируются с магматизмом и конвективной циркуляцией под дном океанов (рис. 1).

Метан, водород и сероводород выявлены в горячих ключах гидротермальных полей “Раковинный Слой”, “Восточный Рай” и “Розарий” на Галапагосском рифте у 86° з.д. и “Океанский Донный Сейсмограф”, “Висячие Сады” и “Югозападное” на Восточнотихоокеанском поднятии (ВТП) возле 21° с.ш. [17]. В гигантской же ТРЗ Лау, где донные геотермы выделяют метан, п/л “Алвин” отобрала образцы каменного угля и природной жидкой нефти из изверженных горных пород, обнаженных на дне Тихого океана между черными “курильщиками” [28]. У южного конца подводного хребта Горда, являющегося осью современного спрединга длиной около 300 км в северо-восточной части Тихого океана и почти перпендикулярно сочленяющегося на севере с гигантской ТРЗ Бланко, а на юге — с не менее гигантской ТРЗ Мендосино, располагается трог Эсканаба. Он имеет вид осевой рифтовой долины в океане глубиной 3200 м (скорость раздвигания 2,3 см/год), окаймлен на бортах хребтами высотой 1200-1700 м и содержит группу выявленных сейсморазведкой вулканических центров, расположенных в 15-20 км друг от друга и образующих широкие (3-6 км) жерла, которые идут вверх из вулканического океанического фундамента, прорывают и иногда сводообразно приподнимают осадочный чехол. Последний развит лишь на участке между 41° 15' с.ш. и ТРЗ Мендосино, сложен только четвертичными турбидитами толщиной до 450 м и характеризуется наличием промышленного размера залежи гидротермальной нефти. Будучи асфальтового основания, она цементирует донные осадки и залежи полиметаллических сульфидных руд, окаймляющие оси прибортовых рифтогенных хребтов. Типичными в этой нефти являются фракции ароматических и алифатических углеводородов (УВ). Последние представлены алканами от $n-C_{14}$ до $n-C_{40}$ с преобладанием нечетных чисел атомов углерода для УВ выше $n-C_{25}$, а четных — ниже $n-C_{25}$ [19, 21, 29].

Наиболее сенсационными до сих пор кажутся связанные с ВТП истечения нефти из донных гидротерм в бассейне Гуаймас (Калифорнийский залив). В нем имеется зона из 14 ныне активных центров-осей спрединга Та-

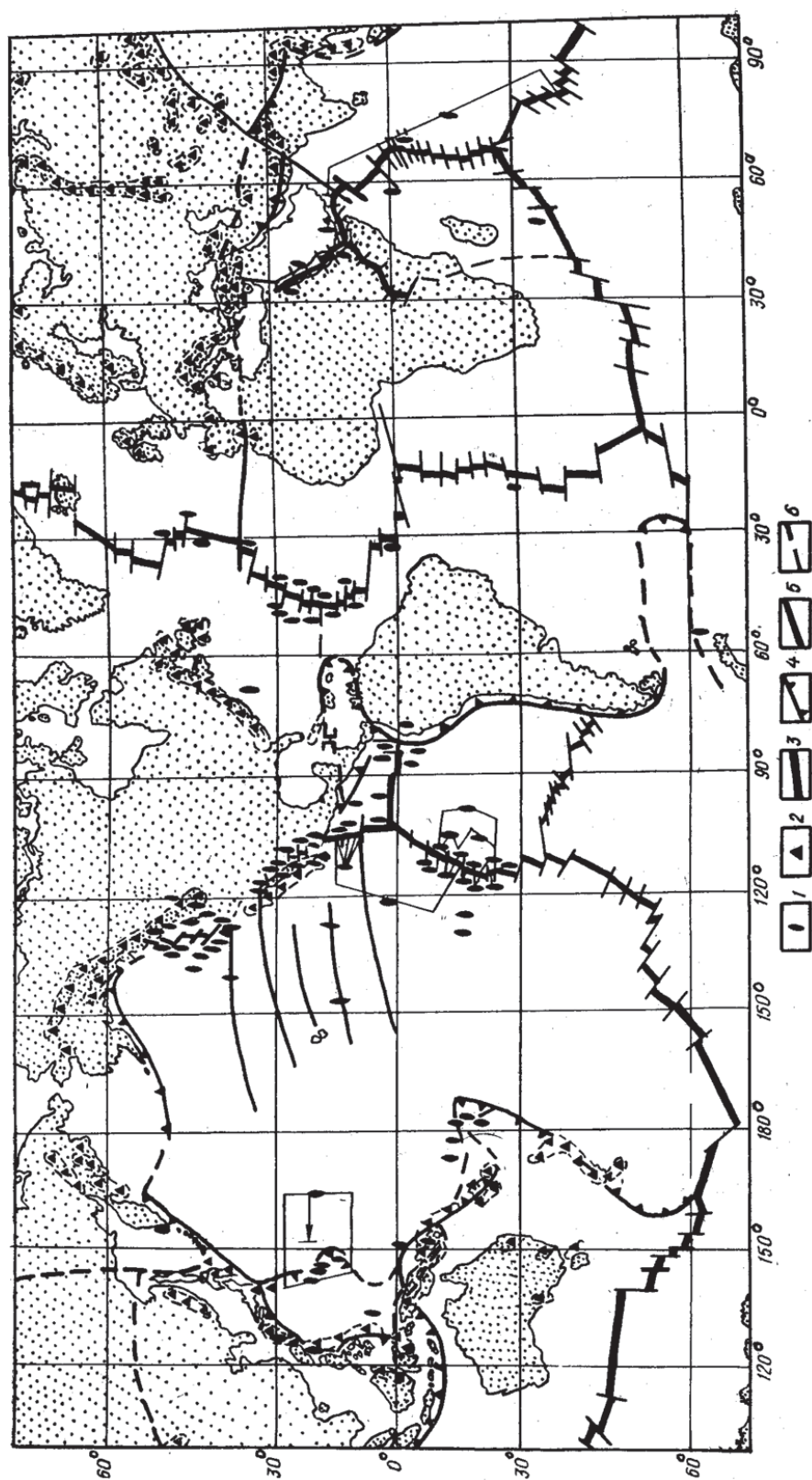


Рис. 1. Местонахождение изученных донных гидротермальных полей Мирового океана [27]

1 — активное гидротермальное поле, 2 — офиолит, 3 — ось (центр) современного спрединга дна океана, 4 — океанический желоб, 5 — трансформный разлом, 6 — другие региональные трещинно-разломные зоны

майю и трансформных разломов, простирающаяся от ВТП до зоны разлома Сан-Андреас, и промышленного размера залежи гидротермальной нефти в донных буграх массивной руды полиметаллических сульфидов, где нефть на глубине 2000 м и более выносится из жерл черных “курильщиков”, фонтанирующих газонефтерудоносными рассолами температурой до 300-430°C. Здесь, в Северной и Южной рифтовых долинах, отделенных друг от друга зоной трансформного сброса шириной 20 км, выявлено и изучено с п/л “Алвин” свыше 130 донных бугров, сложенных кристаллическими сульфидами полиметаллов, пропитанных нефтью и имеющих высоту 5-25 м и ширину 10-50 м; а также 95 белых и черных “курильщиков”, извергающих (1-2 м/с) жидкость соленостью 3,7-8,1 % -эквивалента NaCl, и кондуктивный тепловой поток местами 1,2 Вт/м² [2, 14, 21, 23, 25].

С п/л “Алвин”, погружавшейся почти на дно залива, произведено бурение в тело черного “курильщика” (430°C), откуда отобран керн длиной 25 см. В нем на долю твердого минерального материала пришлось 50 % и на флюид — 50. В свою очередь, 50 % этого флюида состояли из легкой, как конденсат, нефти, а остальные 50 % — из рудоносного гидротермального рассола. Капельки нефти наблюдались и визуально через иллюминатор еще до отбора керна, и когда п/л “Алвин” всплыла на поверхность, она оказалась в огромном нефтяном пятне, образовавшемся за счет нефти, которая при переходе через термоклин выделилась из образцов гидротермальных горных пород и сульфидных руд, находившихся во внешней коллекторской “корзине” подлодки [14, 30].

Горячие гидротермальные флюиды здесь вытекают из сульфидных бугров через шпиды, шпиды и трещины трубчатых колонн (высотой до 30 м и более) черных “курильщиков”, находящихся, как правило, на сводах упомянутых бугров. Шпиды имеют центральные жерла диаметром до нескольких сантиметров, а шпиды имеют не жерла, а многочисленные мелкие отверстия или взаимосоединяющиеся каналы-поры диаметром 0,1-1,0 и 0,1-0,2 см. Многие шпиды, шпиды и несколько сульфидных бугров насыщены нефтью-конденсатом в виде крупных залежей нефти промышленного значения и природным газом. Поскольку с п/л “Алвин” визуально наблюдалось, что нефть выделяется не только из жерл “курильщиков”, манипулятором подлодки были отобраны образцы донных пород общим весом около 100 кг (самый крупный из них в 20 кг) из разных шпилей, шпидов и сульфидных бугров. Нефть и вода, содержащиеся внутри этих образцов, удалялись посредством помещения последних в метанол, а затем — в метилхлорид для экстракции нефти. Она была “цементом” во многих образцах, и, когда ее удалили оттуда, все образцы просто рассыпались [29]. В некоторых минералах этих пород выявлены и первичные флюидные включения (ПФВ) диаметром 1-50 мкм с газообразными и жидкими УВ. Они либо сольватированы, либо не сольватированы и в ПФВ, и в гидротермальных рассолах [25].

В обеих рифтовых долинах бассейна Гуаймас (Калифорнийский залив) сульфидные бугры и активные “курильщики” изучались с помощью п/л “Алвин” восемь лет (1981-1988 гг.), но никакого существенного изме-

нения состава флюидов из гидротерм и скорости их фонтанирования не замечено. Нефть в жерлах “курильщиков” и гидротермальных буграх из кристаллических сульфидов металлов имеет вид легкого конденсата, что свидетельствует об активной миграции и отсутствии здесь биодеградации нефти, а в донных осадках она биодеградирована и выявлена преимущественно в трещинах обломков сульфидов, сцементированных гидротермальным кремнеземом-опалом [14]. В этих гидротермальных полях Калифорнийского залива пробурены глубоководные скв. 477, 477-А, 478 и 481, выполнено драгирование дна. Типичные образцы сульфидных руд, поднятые из скважин и драгами, также насыщены нефтью. В ее летучей фракции выявлены алканы $n-C_5$ — $n-C_{10}$, изоалканы — 2-метилбутан, 2-метилгексан, 2-метилпентан, 3-метилгексан, 3-метилпентан; изоалкен — 4-метил-2-пентан; циклоалканы — метилциклогексан, циклогексан и метиленициклопентан; арены — бензол и толуол, а также полиядерные ароматические углеводороды (ПАУВ) — антрацен, аценафтен, бенз(а)антрацен, бензо-а- и бензо-е-пирен, бензо(г,х,и)перилен, бензо-б- и бензо(к)флюорантен, бифенил, 1,2,5,6-дибензантрацен, дибензотиофен, диметилнафталин, индан, коронен, 1- и 2-метилнафталин, нафталин, перилен, пирен, тетраметилбензол, триметилнафталин, хризен, фенантрен, флюорантен и флюорен. Эти ПАУВ указывают на высокотемпературный генезис нефти. В других здешних пробах она состоит из алканов $n-C_9$ — $n-C_{20}$ с небольшими количествами изопреноидов C_{10} — C_{20} , но без C_{12} и C_{17} , а также из ПАУВ, среди которых есть как все упоминавшиеся выше, так и их тио-, оксо- и алкилпроизводные [27, 29]. А в природных водах и гидротермальных флюидах здесь обнаружены и концентрации ^3He , на 65-70 % большие, чем в атмосфере, что указывает на поступление всех летучих и нефти из их мантийного источника [25]. Кстати, транзитное время гидротермального газонефтерудоносного апвеллинга флюидов в бассейне Гуаймас равно 50 мин [27], скорость фонтанирования гидротерм — 1-2 м/с [25], и нетрудно (по формуле $V=S/T$, где V — скорость апвеллинга, S — длина его пути и T — время) вычислить, откуда начинается этот апвеллинг. Его длина равна 3000-6000 м, и ясно, что апвеллинг начинает свой путь под дном залива 2500-5500 м глубже подошвы осадочного чехла толщиной до 500 м.

Тяжелый ($\delta^{13}\text{C}$ от $-17,6$ до $-15,0$ ‰) метан активно выделяется всеми горячими гидротермами в осевой рифтовой долине ВТП на 21° с.ш., где **отсутствуют осадки и осадочные породы**, но выявлена обширная гидротермальная деятельность и обусловленные ею залежи полиметаллических сульфидов. В них, отобранных из отверстий активных гидротерм, обнаружена гидротермальная нефть, состоящая из алканов $n-C_{14}$ — $n-C_{40}$ и выше без всякого преобладания четного или нечетного числа атомов углерода, а также токсичных ПАУВ. Реакционную зону гидротермальных флюидов, фонтанирующих из отверстий черных “курильщиков”, здесь характеризуют температуры от 386 до 400°C и давления от 30 до 40 МПа [23, 29].

Активные горячие донные гидротермы продуцируют залежи сульфидных руд вдоль ВТП и южнее. Его ось на 13° с.ш. также **лишена осадков и осадочных пород**, но анализами отобранных проб гидротермальных флюи-

дов установлено присутствие нефти из алифатических УВ в гидротермальных всплывающих “султанах” и металлоносных сульфидах возле донных ключей. Фитан и алканы выше $n\text{-C}_{25}$ с преобладанием нечетных чисел атомов углерода обильны в сульфидных рудах полиметаллов, а некоторые стероиды и тритерпеноиды присутствуют в подошве шпиля неактивного “курильщика”, сульфидных рудах полиметаллов, их обломках в 20 м от отверстий донных гидротерм и в воде, отобранной в 1 км над дном океана [29].

25 тыс. лет назад на дне красноморской рифтогенной бездны Атлантис-II глубиной более 2000 м образовались залежи гидротермальных руд (золото, кадмий, серебро и цинк) толщиной 10-30 м на базальтах, занимающих площадь диаметром около 10 км (рис. 2). Разрядка гидротерм здесь турбулентная, относится к гейзерному типу и имеет расход около 278 кг/с. В двух ядрах металлоносных руд обнаружены гидротермальные битумы без пиролитических ПАУВ и нефть, у которой среди ее нормальных алканов отсутствует преобладание четных или нечетных атомов углерода, что особенно хорошо видно в случае длинноцепочечных гомологов. Скорость спрединга дна Красного моря в бездне Атлантис-II равна 1,5 см/год [26, 29, 34].

Выполненные в 1984-2002 гг. гидрографические исследования вдоль Срединно-Атлантического хребта (САХ) между 12 и 38° с.ш. показывают изменяющуюся модель или форму всплывающих “султанов-факелов” гидротермальных флюидов, богатых метаном. Эти флюиды поднимаются из донных устьев гидротерм в осевой долине САХ. Концентрации метана от 45 нмоль/кг до 675 нмоль/кг выявлены во всплывающих флюидных “султанах” над такими ныне хорошо известными гидротермальными полями САХ, как “Снэйк Пит” (23° с.ш.) и “Трансатлантический геотраверз” (ТАГ, 26° с.ш.), а до 3,6 нмоль/кг наблюдаются типично в “султанах”, всплывающих от внутреннего днища осевой рифтовой долины САХ, от обращенных к ней стен хребта и/или от вершины рифтовых гор вдоль изученного участка САХ длиной почти 2230 км. Концентрации CH_4 от 45 до 144 мкмоль/кг во флюидах гидротерм Снэйк Пит и ТАГ — того же порядка величины, что и обнаруженные во флюидах гидротерм ВТП. Хотя CH_4 , как известно, неустойчив к окислению растворенным в океанской воде кислородом, несмотря на микробальное окисление CH_4 в “султанах”, результаты исследований подтверждают, что метан является хорошим индикатором для трассирования-прослеживания гидротермальных “султанов” и картирования вариаций гидротермальной деятельности вдоль срединно-океанических хребтов. Более того, между 12 и 26° с.ш. на САХ результаты по CH_4 показывают, что, хотя гидротермальная деятельность имеется повсюду вдоль САХ, она является господствующей возле ТРЗ 15° 20' с.ш. Сравнение CH_4 -трассера с таким, как суммарное содержание растворенного в воде марганца (СРМ-трассер) в “султанах”, позволяет дифференцировать поддонные гидротермальные процессы. Так, высокое СРМ/ CH_4 , выявленное над полями Снэйк Пит и ТАГ, является индикатором взаимодействия базальта с морской (океанской) водой, а низкое СРМ/ CH_4 на 15° с.ш.

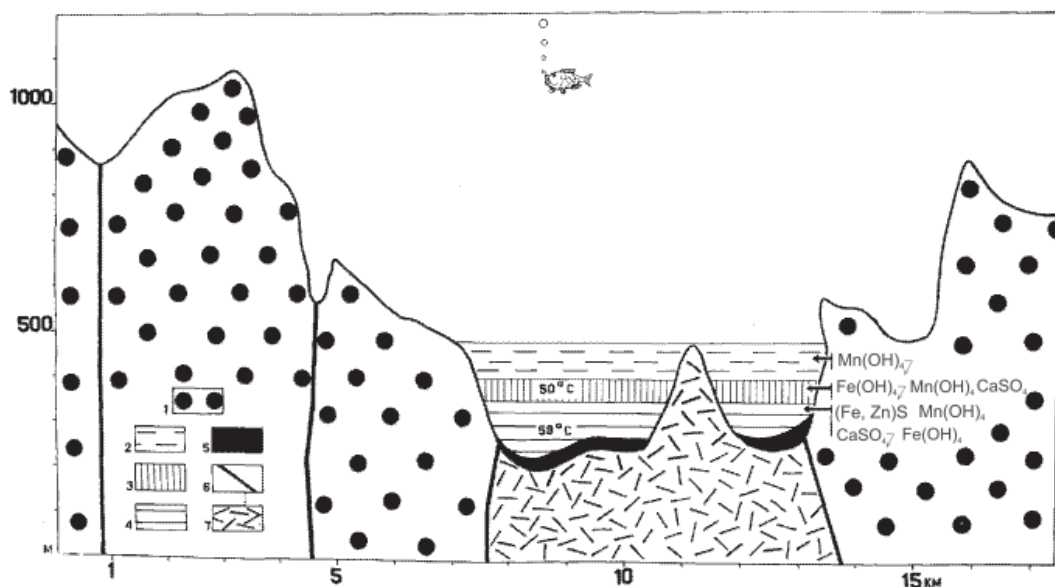


Рис. 2. Схематический поперечный разрез дна красноморского рифтового трога Атлантик II [26]
 1 — массивные миоценовые эвапориты, 2 — гидротермальный рассол, близкий по составу к воде Красного моря, 3-4 — конвектирующие слои гидротермального рассола почти постоянного состава и температуры (нижний — без H_2S), 5 — металлоносный (золото, кадмий, серебро, цинк) осадок, 6 — разлом, 7 — молодой океанический базальт

дает свидетельство о флюидной циркуляции в ультрабазитах. Данные по CH_4 подтверждают связь между мантийной дегазацией, гидротермальной деятельностью и серпентинизацией на участке САХ между 12 и 26° с.ш. [10, 13].

Там, где на дне океанов нет гидротермальной деятельности, глубоководье и ультраглубоководье недонасыщено метаном вследствие его утилизации *in situ*. Фоновые же концентрации CH_4 обычно соответствуют 0,18 нмоль/кг в Тихом океане и 0,36 нмоль/кг в Атлантике на глубинах между изобатой 1500 м и дном океана. В активных же гидротермальных системах концентрации метана иные, как видно из табл. 1-2.

Гидротермальное поле ТАГ находится на 26° с.ш. у восточной стены осевой рифтовой долины САХ, 275 км севернее ТРЗ Кане, и оконтурено по температурным и гелиевым аномалиям на дне океана между изобатами 2400 и 3100 м. Ныне активная группа черных “курильщиков” обнаружена на 26° 08' с.ш., 44° 49' з.д., в месте сочленения днища осевой рифтовой долины и ее восточной стены, где глубина океана 3620-3700 м. Гидротермальные флюиды в отобранных здесь п/л “Алвин” пробах имеют близкий к гидротермальным флюидам ВТП минеральный состав и выходную температуру, а также высокое (150 мкмоль/кг) содержание CH_4 . Во всплывающем в 10-40 м над устьем донного ключа гидротермальном “султани” установлено содержание от 54 до 673 нмоль/кг CH_4 . В нейтрально-плавучей части этого же “султана” выявлено лишь 0,63-7,50 нмоль/кг CH_4 . Обогащение метаном горячих гидротермальных флюидов обнаружено также в их пробах, отобранных здесь подводно-буксируемыми аппаратами и при-

Таблица 1

Максимальные концентрации CH_4 в воде океана над гидротермами Срединно-Атлантического хребта (САХ) на участке длиной 1200 км между 12 и 26° с.ш., 44 и 50° з.д. [13]

Содержание CH_4 , нмоль/кг	Условия отбора проб воды с CH_4 :				Структурно-геоморфологическое положение метаноносных донных геотерм
	Глубина (м):		Координаты места отбора воды:		
	взятия пробы	океана	с.ш.	з.д.	
1	2	3	4	5	6
1,85	3541	4800	12°24'	44°05'	ТРЗ* Маратон (12°59,9' с.ш. / ТРЗ Меркурий (12°20' с.ш.))
0,77	2500	3900	13°47'	44°59'	ТРЗ Маратон/ТРЗ 15° с.ш.
1,31	2715	3000	14°05'	45°01'	—"
0,50	3000	3906	14°35'	46°08'	—"
0,45	2300	3260	14°46'	48°10'	Вне оси САХ
4,82	2704	2798	14°54'	44°53'	Ось хребта/восточная стена
4,77	2960	3554	14°54'	44°55'	Низ восточной стены
2,66	2900	2964	14°55'	44°54'	Ее подножие
3,56	2603	2923	—"	—"	—"
3,42	2897	4005	14°56'	44°55'	Восточный хребет/ТРЗ 15° с.ш.
5,27	2500	2773	—"	44°52'	Восточная стена
2,70	2502	3757	—"	44°54'	Ее низ
1,13	2000	3030	15°05'	49°22'	Вне оси САХ
15,62	2803	3475	15°06'	44°57'	Восточный край центра купола
17,78	2997	3550	15°06'	44°55'	—"
2,12	2591	3029	15°07'	44°57'	Его северный край
2,75	3101	3994	15°36'	46°34'	ТРЗ 15° с.ш./западный хребет
2,16	3203	3630	15°45'	46°33'	—"
3,74	3250	3403	15°48'	46°34'	—"
0,36	4827	4837	16°01'	48°07'	Трог Роял
1,53	3589	4017	16°08'	46°40'	—"
1,85	2498	4230	16°37'	46°30'	—"
1,26	3400	4724	16°32'	46°28'	—"
0,99	3800	3905	17°09'	46°30'	—"
0,99	3655	3655	17°19'	46°27'	—"
0,99	3500	4300	17°30'	46°27'	—"
0,27	2600	3847	18°13'	46°26'	48 км восточнее оси хребта
0,77	3600	3610	18°14'	46°40'	—"
0,90	3600	4023	18°40'	46°18'	—"
0,77	3800	3823	18°48'	46°15'	—"
0,45	3600	3640	19°07'	46°02'	—"
0,72	2900	3450	19°35'	45°56'	—"
0,32	4500	4510	19°58'	45°43'	—"
0,77	2594	3485	20°22'	45°37'	—"
0,90	2848	3070	21°51'	45°13'	—"
2,34	3702	4075	23°14'	44°54'	Южнее ТРЗ Кане
0,90	3900	4350	23°25'	45°00'	Севернее ТРЗ Кане
0,32	4300	4300	23°40'	45°10'	ТРЗ Кане
1,26	3392	3680	23°22'	44°57'	500 м южнее
0,59	2000	3615	26°09'	44°50'	ТАГ**
0,68	2996	3652	26°08'	44°49',6	—"
8,33	3305	3387	26°08'	44°49',7	—"
9,05	3438	3732	26°08'	44°49',4	—"
8,37	3340	3691	26°08'	44°49',8	—"

* ТРЗ — трещинно-разломная зона

** ТАГ — гидротермальное поле Трансатлантического геотраверза

борами. Один из “султанов” ясно и четко идентифицирован в воде океана между глубинами 3200 и 3500 м. Глобально CH_4 -аномалии до 9 нмоль/кг коррелируются с температурными и нефелометрическими аномалиями, избытком марганца, партикулятным железом и суспензированным веществом.

Возраст земной коры в ТАГ равен 100 тыс. лет. Это гидротермальное поле *полностью лишено осадков и осадочных пород*, а из донных образцов ангидрита, сфалерита и халькопирита выделена легкая (C_{10} — C_{42}) нефть, в которой масс-спектрометрически/хроматографически идентифицированы фракции насыщенных и ароматических УВ, пристан и неидентифицируемая очень сложная смесь “органических” соединений. Алканы имеют равное единице соотношение четных и нечетных чисел атомов углерода, а ароматическая фракция состоит из нафталина, фенантрена, их алкилированных гомологов и тиоароматических соединений, свидетельствующих о гидротермальном происхождении нефти. Гидротермальная разрядка здесь на глубине океана 3700 м имеет вид мерцания над дном, а также белых (226°C) и черных (335-350°C) “курильщиков”, где скорость фонтанирования из жерл их шпилей измеряется 1–2 м/с, а из небольших трещин в подошве центрального шпиля — 0,1–0,2 м/с. В придонной воде установлены аномально высокие температуры и избыточные концентрации ^3He [13, 29, 31].

Донное гидротермальное поле Снэйк Пит (“Змеиная Яма”) на 23°22', 08 с.ш., 44°57' з.д. является вторым крупным и высокотемпературным гидротермальным полем с черными “курильщиками” в срединной рифтовой долине САХ, около 25 км южнее ТРЗ Кане. Флюиды из отверстий гидротерм, отобранные п/л “Алвин” в Снэйк Пит, также содержат CH_4 и имеют температуру 337-352°C. Расчет кривой смешивания дает концентрации здесь CH_4 (в виде конечного продукта), равные 62 мкмоль/кг, что в миллион раз выше его фоновых значений для глубоководья Атлантики. Концентрации CH_4 , выявленные в гидротермах Снэйк Пит, в 3 раза меньше, чем в ТАГ, но близки к гидротермальным флюидам с 21° с.ш. и 13° с.ш. на ВТП. CH_4 -концентрации от 55 до 326 нмоль/кг наблюдались во всплывающем “султани” сразу же над отверстиями донных гидротерм [13, 27, 31].

Гидротермальная высокотемпературная деятельность на взаимном пересечении оси восточного отрога САХ и ТРЗ 15°20' с.ш. приурочена ко дну рифтовой долины шириной 13 км по изобате 3800 м. (Южнее ТРЗ 15°20' находится геотермальное поле Логачев). Куполообразные поднятия-вспучивания дна обнаружены на противоположных бортах рифтовой долины, в основании ее восточной и западной стен. Поднятие у внутреннего угла упомянутого перекрестка на востоке ТРЗ 15°20' с.ш. похоже на куполообразные формы донного рельефа, изученные у взаимных пересечений осей хребтов медленного спрединга с трещинно-разломными зонами САХ — Атлантис-II, Вема, Кане и Океанограф.

“Султаны” разного состава с удивительно высокой (до 17,6 нмоль/кг) концентрацией CH_4 и без существенного нефелометрического сигнала идентифицированы на САХ у 15° с.ш. Над центром рифтовой долины содержа-

Таблица 2

Концентрации CH_4 в базальтовых стеклах, “стреляющих” изверженных породах и гидротермальных флюидах срединно-океанических хребтов и бассейнов [13]

Образец и место отбора:	Содержание CH_4 , мкмоль/кг
Базальтовые стекла:	
Восточно-Тихоокеанское поднятие (ВТП)	0,6
Срединно-Атлантический хребет (САХ)	2,2-13,5
Гидротермальные флюиды:	
Бассейн Гуаймас Калифорнийского залива	12150-16650
Бассейн Лау (у о-вов Тонга-Кермадек)	3,6-4,5
ВТП, 11° с.ш.	67-117
– ” – 13° с.ш.	27-54
– ” – 21° с.ш.	58-90
Галапагосский центр спрединга	85-301
Индевр (хр. Хуан-де-Фука), Пацифик	504-1413
Осевая гора хр. Хуан-де-Фука	25
Снэйк Пит (23° с.ш.), САХ	62
ТАГ (26° с.ш.), САХ	144
ТРЗ (Кане 15°20' с.ш.), САХ, устье гидротермы	45
Южная часть хр. Хуан-де-Фука	81-117
“Стреляющие” изверженные горные породы САХ	12,6

ние CH_4 возрастает от почти обычного для окружающей морской воды до несколько более высокого у ее восточной стены. Максимальные же CH_4 -концентрации выявлены в воде на ее глубинах от 2800 до 2900 м, а их источник находится в восточной стене. Подводный буксируемый безлюдный аппарат во время подъема над куполом, расположенным у оси рифтовой долины на 15°05' с.ш., 44°59' з.д., при движении от восточного края купола, где глубина океана 3400 м, к его вершине, где глубина океана 2500 м, выявил внезапное увеличение до 17,6 нмоль/кг концентрации CH_4 над его восточным краем [12].

Там, где ось восточного отрога САХ пересекается с ТРЗ 15°20' с.ш., выявлена максимальная (3,4 нмоль/кг) CH_4 -аномалия в “султане” высотой 1000 м между изобатами 3500 и 2500 м. Центр данной аномалии — в 1 км над дном океана. Похожие CH_4 -профили получены на нескольких станциях у пересечения оси западного отрога САХ и ТРЗ 15°20' с.ш. Там концентрации CH_4 в воде измеряются 2,72 нмоль/кг на глубине 3100 м; 3,70 нмоль/кг на глубине 3250 м и 2,50 нмоль/кг на глубине 3400 м. CH_4 -профили, расположенные над осью рифтовой долины САХ, т.е. на 16°37', 42 с.ш. и 16°91', 68 с.ш., имеют сильную аномалию CH_4 (1,83 нмоль/кг) при глубине океана 2500 м и меньшую CH_4 -аномалию (1,16 нмоль/кг) на глубине 3200 м, а также еще одну (1,12 нмоль/кг) у дна океана глубиной 4200 м. На двух других станциях CH_4 -профили указывают на резкое увеличение содержания CH_4 по сравнению с фоновым (0,44 нмоль/кг) у глубины 2800 м, и это сохраняется постоянным до самого дна океана на глубине 3500 м [12, 18, 27].

Истечение CH_4 происходит из морского дна вдоль всей 2230-километровой длины САХ между 12 и 38° с.ш. Два активных гидротермальных поля (ТАГ и Снэйк Пит) генерируют типичные CH_4 -“султаны”, поднимающиеся на высоту до 300 м над дном океана в рифтовой долине, но другие CH_4 -профили, наблюдавшиеся вдоль САХ, показывают, что высота столба океанской воды, на которую повлияли гидротермы, достигает 1000 м, что примерно в 3-4 раза больше, чем на ВТП, хр. Хуан-де-Фука и в бассейне Лау Пасифика. Различия в структуре “султанов” могут локально вызываться разноскоростными подводными течениями, интенсивностью фонтанирования гидротермальных ключей-“курильщиков”, размерами “живого сечения” их жерл и плотностями выходящего из них гидротермального флюида. Например, гидротермальный CH_4 -“султан”, структурированный вышеупомянутыми явлениями, поднимающийся более чем на 800 м над дном океана и простирающийся на несколько километров латерально, выявлен вдоль осевой части Марианской впадины в Тихом океане [12, 15, 18, 19, 24, 25, 29-33].

Различные формы CH_4 -“султанов” тесно связаны и с топографией подводных хребтов. Вертикальное распространение CH_4 вдоль САХ между 15 и 23° с.ш. отличается по структуре и интенсивности от того, что обнаружено вдоль ВТП, в том числе и на его участке 13° с.ш. Поперечные разрезы ВТП и САХ показывают, что ВТП характеризуется неглубоким (100-200 м) и узким (200-500 м) осевым грабеном на высокой части хребта, а САХ — глубокой (1500-2500 м) и широкой (16-30 км) осевой долиной. Состав же, температура и, следовательно, плавучесть “султанов” над черными “курильщиками” в САХ и ВТП похожи. Поскольку плавучесть флюидного “султана” становится нейтральной у верхних краев рифтовой долины САХ, CH_4 -“султаны”, эманлирующие из ее основания и стен, не могут рассеиваться широко по Северной Атлантике и остаются “привязанными” к рифтовой долине, в противоположность эманлируемым на верхних границах стен рифтовой долины САХ CH_4 -“султанам”, которые могут рассеиваться за ее пределы. CH_4 -аномалии, наблюдавшиеся на разных уровнях в 1000-метровом столбе воды над дном в САХ, указывают на наличие активной восходящей гидротермальной циркуляции и в подножии рифтовой долины, согласно CH_4 -“султанам” возле ТРЗ 15°20' с.ш. CH_4 -аномалии же у стен и/или на вершинах рифтовых подводных гор между 16 и 17° с.ш. располагаются около изобат 2400-2600 м. CH_4 -дегазация дна океана переменна по интенсивности и приурочена к донным обнажениям ультраосновных горных пород, будучи меньшей на верхней кромке стен, и у вершины рифтовых гор по сравнению с их подножиями. На САХ, характеризующемся медленным спредингом, зрелая гидротермальная активная система существует и в ТАГ, и в Снэйк Пит, где белые и черные “курильщики” похожи на “курильщики” ВТП с интенсивной, но переменной CH_4 -дегазацией. На ВТП извергающиеся гидротермы несут с собой H_2 , He и CH_4 из выщелачивающегося свежего горячего базальта, где эти газы содержатся в больших количествах. В их флюидах с температурой 350°C выявлено 220-440 мг/кг CO_2 ; 170,4-340,8 мг/кг сероводорода; 2,016 мг/кг H_2 и 1,6 мг/кг

CH₄. Похожее было получено и для гидротерм на хр. Хуан-де-Фука в Тихом океане [12].

С точки зрения генезиса метана, извергаемого подводными горячими (350°C и выше) гидротермами на дне Мирового океана, очень важны и результаты исследований, выполненных там между 15° с.ш. и Азорами. Здесь совершены 23 погружения п/л “Нотиль” восточнее и западнее пересечения геотрещинной зоны 15°20' с.ш. и оси САХ, отобраны пробы флюидов у дна океана из отверстий горячих донных гидротерм, изучены газовый и элементный составы этих флюидов, а также концентрация в них газов и химических элементов, закартированы обнажения базальтов, габбро, гарцбургитов, дунитов, перидотитов, серпентинитов, брекчий ультрабазитов, черные “курильщики” и метановые “султаны-факелы” на обнажениях ультрабазитов у дна Атлантики. Геотрещинная зона 15°20' с.ш. — это левосторонний трансформный сброс, отходящий от САХ на 15°20' с.ш. и 46°40' з.д. в восточном направлении на расстояние 195 км до пункта на 15°10' с.ш. и 44°54' з.д. Имея в виду симметричный спрединг, латеральное смещение по этому трансформу измеряется около 3 см/год. Глубокая трансформная долина скалывания имеет ширину более 3 км и ограничена на каждом ее борту высокими хребтами так, что местами их гребни находятся на глубине 2,5 км. Самые глубокие пропасти трансформной долины выявлены на ее пересечении с активной осевой рифтовой долиной САХ и отмечены глубокими бассейнами центрально-узлового облика почти вдоль нынешней оси растяжения дна рифтовой долины [12, 31].

Крупные обнажения перидотита и дунита из истощенной мантии Земли обнаружены драгами на поднятии восточного отрога САХ и ТРЗ 15°20' с.ш. С помощью драг севернее и южнее найдены обнажения серпентинизированного гарцбургита в стенах рифтовой долины и на нескольких рельефных возвышенностях, образующих южную стену трансформной долины. Почти все образцы ультрабазитов, отобранные на восточном обрывистом склоне одной из этих возвышенностей, являются истощенными перидотитами одного и того же магматического комплекса и источника. Западнее пересечения САХ и ТРЗ 15°20' с.ш. образцы серпентинизированных перидотитов поднимались драгами со дна океана и во время круиза НИС “Академик Николай Страхов”, а в круизах других НИС отмечены здесь же серпентинизированные ультрабазиты, обнажающиеся в восточной стене рифтовой долины [12, 13].

В одном из круизов п/л “Нотиль” погружалась восточнее зоны пересечения САХ и ТРЗ 15°20' с.ш., т.е. в рифтовую долину вдоль ее западной стены и к донному поднятию у ее внутреннего угла. Западнее же зоны пересечения сделаны два погружения с подводными проплывами п/л “Нотиль” поперек рифтовой долины на расстояниях 15 и 27 км от места взаимного пересечения подводного хребта и трансформа. Отобранные манипулятором п/л “Нотиль” обнаженные на дне горные породы представлены 127-ю образцами ультрамафитов, габброидов и трондемитов, из которых многие сохраняют интрузивные взаимоотношения между ультрабазитами

и дайками габброидов или трондемитов (табл. 3). Первые погружения п/л “Нотиль” и отбор проб флюидов и образцов горных пород, обнаженных на дне и стенах рифтовой долины САХ, сделаны у подводного купола (15°05' с.ш., 44°59' з.д.) на восточной стороне пересечения рифтовой долины и ТРЗ 15°20' с.ш., где ранее обнаружены максимальные концентрации CH_4 в гидротермах, фонтанирующих из обнаженных ультрабазитов. Южнее же серпентиниты обнажаются на восточной стене и восточной части осевой рифтовой долины, а также на приподнятых участках поперечного хребта. Базальты же обнажаются на дне осевых бездн и образуют небольшой покров-“шапку” на своде главного купола (15°05' с.ш., 44°59' з.д.).

Севернее геотрещинной зоны 15°20' с.ш. как склоны САХ, так и его осевая долина изучены 14-ю погружениями п/л “Нотиль”. Здесь, на западном участке зоны пересечения САХ и упомянутой геотрещинной зоны, обнажения серпентинизированных перидотитов с небольшим количеством габбро — это непрерывный пояс на западной стене осевой пропасти между 15°29' и 15°39' с.ш. Серпентинизированные перидотиты также обнажаются обширно на восточной стене этой пропасти у 15°36' с.ш. Обширные обнажения габбро находятся ниже на этой стене. Базальты обнажаются в осевой прорве и вдоль восточного склона хребта у трансформного сброса, а также покрывают ультрабазиты и габброиды на верхней части западного склона хребта. Обломки базальта выше обнажений ультрамафитов и габброидов отобраны манипулятором п/л “Нотиль” на восточном склоне хребта, возле 15°36' с.ш. [12, 13, 31].

Морфология САХ весьма неодинакова и отражает разнообразие процессов его конструирования. Залегания габброидов и ультрабазитов в стенах рифтовой долины САХ весьма многочисленны и хорошо задокументированы на нескольких разбуренных скважинами участках вне трещинных зон. Это требует пересмотра классической слоистой модели океанической коры (базальты со слоями 2-а, 2-б, 2-в, габбро, ультрамафиты), поскольку согласно этой модели ультрабазиты могут наблюдаться только в геотрещинных зонах, дающих поперечный разрез океанической коры [13].

Существование обнажений серпентинизированных перидотитов, полученных из мантии Земли, и габбро во многих местах вдоль рифтогенных срединноокеанических хребтов есть свидетельство, что процессы спрединга дна океанов местами охватывают значительный подъем-воздымание верхней мантии и материала нижней части океанической земной коры на осях этих хребтов. В круизе “Фаранот-15° с.ш.”, получена улика и о значительных обнажениях ультрабазитов вдоль отдельных частей САХ на площади между 14° с.ш. и Азорской точкой тройного сочленения. Серпентинизированные перидотиты и габбро выявлялись ранее только драгами в осевой долине САХ на 15°37' с.ш. и 16°52' с.ш. Так на 15°37' с.ш., 27 км севернее западной части зоны пересечения оси САХ и геотрещинной зоны 15°20' с.ш., как западная, так и восточная стены долины начиная от базальтового днища и до верха сложены габбро и ультрабазитами (преимущественно гарцбургитами). Обнажения последних находятся возле геотре-

Таблица 3

Структуры дна, его горные породы, глубина океана и максимальные концентрации CH_4 в зоне пересечения геотрещины Кане и Срединно-Атлантического хребта, по данным работ с подлодки [13]

Номер погружения	Объект изучения	Главные горные породы, обнаженные на дне океана	Глубина океана, м	Содержание CH_4 , ммоль/кг
1	2		4	5
ФР-01	Купол (15°05' с.ш. – 44°59' з.д.)	Базальты, дуниты	2582-2452	42
–”–02	Его подножие и вершина	–”–	3396-2500	12
–”–03	Его восточный склон	Базальты, марганцевые корки, гарцбургиты, дуниты, габбро	3669-2662	35
–”–04	То же, но южнее	Базальты, серпентинизированные породы, дуниты	2940-2582	53,2
–”–05	Северное крыло трансформа	Гарцбургиты, перидотиты, дуниты, брекчированные или тектонизированные породы	4080-2900	1,12
–”–06	Восточнее купола	–”–	2625-2500	23,8
–”–07	Юг купола, контакт перидотит/базальт	Афировый базальт, силицифицированные перидотиты, габбро, гарцбургиты	4028-3200	0,9
–”–08	Западная стена центрально-узлового бассейна	Подушечные базальтовые лавы, марганцевые корки, измененные перидотиты, габброидные блоки	4668-3420	1,0
–”–09	Юго-запад купола	Серпентинизированные дуниты, измененные габбро	3839-3570	1,1
–”–10	Восточная стена рифтовой долины	Базальты, долериты	3952-3384	2,0
–”–11	Дно рифтовой долины и нижняя часть ее восточной стены	Свежие подушечные базальты, серпентинизированные перидотиты	4641-3500	1,2
–”–12	Стена на востоке купола из перидотитов (15°37' с.ш.)	Массивные габбро, перидотиты, марганцевые корки	4006-3130	22
–”–13	Восточная стена между 14°28' с.ш. и 15°30' с.ш.	Афировые базальты	3970-2949	2,4
–”–14	Там же	–”–	3532-2734	1,9
–”–15	Восточная стена осевой долины у 15°27' с.ш.	Подушечные базальты	4654-3000	0,89
–”–16	Ее западная стена на 15°30' с.ш.	Подушечные базальты, габбро, тектонизированные перидотиты, гидротермальный осадок	3580-3100	14,9
–”–17	Часть той же западной стены у 15°31' с.ш.	Гидротермальные осаднения, афировые базальты, гарцбургитовые и перидотитовые брекчии	3709-3113	9,9
–”–18	Нижняя часть восточной стены на 15°30' с.ш.	Свежие подушечные базальты, марганцевые корки	4630-4639	3,5
–”–19	Заплыв на 7 км с юга на север по западной стороне рифтовой долины	–”–	3300-3195	11,3
–”–20	То же, но южнее	–”–	3752-3160	10,9

Продолжение табл. 4

1	2		4	5
ФР-21	Площадь на 15°30' с.ш.	Базальты, серпентинизированные гарцбургиты	4273-3257	6,1
–”–22	Между ФР-16 и ФР-17	Габбро, серпентиниты, подушки долеритов	3554-3050	7,1
–”–23	Восточный и западный склоны перидотитового поднятия на 15°37' с.ш.	Серпентинизированные гарцбургиты	3847-3200	7,3

щинной зоны Кане (22-24° с.ш.), что известно с 1995 г. Недавно с подводных лодок установлена чрезвычайно контрастная магматическая деятельность в двух сегментах САХ возле 34°52' и 33°55' с.ш. Внутренние углы одного из сегментов САХ севернее трансформа Хейис, между 33°20' и 34°10' с.ш., где тектоническая активность очень сильна, являются и местами внедрения глубинных серпентинизированных перидотитов благодаря диапиризму или сепарационному сбросообразованию. И именно над обнажениями этих ультрабазитов в столбе океанской воды обнаружены высокие, выше фоновых, концентрации CH_4 [9-12, 31].

В общем, гидротермальная циркуляция в горной массе океанского дна, сложенного изверженными горными породами, существует повсюду вдоль САХ. Ее интенсивность варьирует, но циркуляция не случайным образом здесь распространена и максимальна возле трещинных зон. Согласно данным о богатых метаном первичных флюидных включениях в габбро из Юго-западного Индоокеанского хребта, плутонические горные породы являются потенциально колоссальным вместилищем небиогенного CH_4 в гидротермальных системах срединноокеанических хребтов. Ранее похожая метановая дегазация глубинных недр Земли наблюдалась в ассоциации с интенсивным истечением H_2 из перидотитов Оманского офиолита; на площади Мидконтинентской гравияномалии США; из офиолита Самбалес Филиппин; серпентинитовой подводной горы, разбуренной скв. 125 из “Проекта океанского бурения” в Марианской впадине; из щелочных, мафических и ультрамафических пород Кольского п-ова, Русской платформы, Урала и Сибири. В общем, результаты исследований по CH_4 между 12° с.ш. и Азорами вдоль САХ свидетельствуют о генетической связи субмаринного истечения CH_4 с высокотемпературной гидротермальной деятельностью, дегазацией мантии Земли и процессом серпентинизации, которые небиогенно продуцируют крупные восходящие потоки CH_4 . Богатые им “султаны-факелы” в океаническом глубоководье характеризуются разными концентрациями. Такая метановая дегазация установлена исходящей из отверстий подводно-донных гидротермальных ключей на ВТП, в Галапагосском центре спрединга, хр. Хуан-де-Фука Тихого океана, Марианской впадине и на многих других участках дна Мирового океана [10-15, 18, 19, 25, 27-33].

На 36°13,80' с.ш. и 33°54,12' з.д. выявлено и изучено подводно-донное гидротермальное поле Рейнбоу (“Радуга”), находящееся в САХ на западном склоне хр. Рейнбоу (глубина Атлантики 2270-2330 м). Это гидро-

термальное поле длиной 100 м и шириной 200 м вмещается ультрамафическими горными породами и имеет 10 крупных групп черных “курильщиков”, мощно извергающих гидротермальные флюиды температурой 351-365°C с экстраординарно высокими концентрациями метана (2,5 ммоль/кг), H_2 (16 ммоль/кг) и оксида углерода (5 мкмоль/кг) по сравнению с флюидами, отобранными из других выходов гидротерм на САХ (табл. 4). Водород составляет более 40 % объема смеси газов, отобранных из гидротерм Рейнбоу. Как и в Логачевском гидротермальном поле САХ (14°45' с.ш.), которое обнаружено также в ультрамафитах, на химию гидротермальных флюидов Рейнбоу сильно повлияли мантийные горные породы [9, 10].

Выходы высокотемпературных гидротермальных подводно-донных ключей располагаются здесь вдоль подножия стены из наклонного тектонического блока ультрабазитовых горных пород и ассоциируются с одними из крупнейших гидротермальных “султанов-факелов” с точки зрения выделяющегося объема метана, марганца, сероводорода, гелия, тепла и др. Западной границей поля Рейнбоу, приуроченного к месту пересечения системы нетрансформного разлома с разломами САХ, является обрыв (по сбросу) высотой 25 м со штокверком рудной минерализации [9]. Десять отдельных групп активных черных “курильщиков” этого поля повсюду укоренены в ультрамафических горных породах. Шпиль “курильщиков” и массивные сульфиды обогащены медью, цинком, кобальтом и никелем относительно других гидротерм, исходящих прямо из базальтов. Небольшая площадка древнего базальта имеется на восточной наклонной вершине хр. Рейнбоу, 1 км восточнее упомянутых “курильщиков”, однако все гидротермы Рейнбоу фонтанируют из ультрабазитов [10].

В гидротермальном поле Рейнбоу совершено 11 погружений п/лодки “Нотиль” к черным “курильщикам”, отобраны пробы их флюидов и определены концентрации в них азота, водорода, диоксида и оксида углерода, метана, этана, пропана и сероводорода. В сравнении с другими гидротермами САХ гидротермальные растворы Рейнбоу характеризуются наивысшими концентрациями переходных металлов и редкоземельных элементов. Сходство химических составов у всех гидротерм Рейнбоу предполагает один-единственный источник флюидов всего этого гидротермального поля. С помощью газохроматографии/масс-спектрометрии обнаружены метан, этан и пропан во всех гидротермах, а во флюиде из отверстия гидротермы ФЛО-05 (362°C) определены концентрации бутана, пентана и других прямоцепочечных насыщенных УВ от $n-C_{16}$ до $n-C_{29}$, т.е. природная небиогенная мантийная нефть. По сравнению с высокотемпературными флюидами из других гидротерм САХ флюиды Рейнбоу имеют весьма однообразный химический состав и характеризуются низким рН (от 2,8 до 5,0 при 25°C), высоким содержанием хлора, бария, кальция, рубидия, стронция, цезия и железа, низкой концентрацией кремния и сероводорода, очень высокими содержаниями водорода (16 ммоль/кг), диоксида углерода (16 ммоль/кг), метана (2,5 ммоль/кг), оксида углерода (5 ммоль/кг) и наличием небиогенной нефти из насыщенных прямоцепочечных, а также ароматических и изопреноидных УВ. Ультрамафиты в Рейнбоу — это перидотит и серпен-

тинит [10], а $\delta^{13}\text{C}$ метана от -18,2 до -13,0 ‰ является характеристикой небиогенного происхождения CH_4 , что обнаруживалось ранее и в других гидротермальных полях Мирового океана [9-10].

И, хотя совсем еще недавно полагалось, что восстановленные углеродистые вещества, имеющие низкие величины $\delta^{13}\text{C}$ (-20 ‰) в ассоциации с высокими отношениями $\text{CH}_4/\text{C}_2\text{H}_6+\text{C}_3\text{H}_8$, являются “биогенными”, экспериментальные данные Дж. Хорита и М.Э.Берндта [16], а также Х.С.Лансета и Э.Андерса [22] бесспорно показали, что кинетическое изотопное фракционирование в течение абиотических процессов может продуцировать углеродсодержащие вещества с очень низкими величинами $\delta^{13}\text{C}$ (от -25 ‰ до -50 ‰), свидетельствуя, что небиогенный метан может быть гораздо более вездесущим, чем думали раньше. Фракционирование изотопов во время абиотических процессов может объяснять разнообразие $\delta^{13}\text{C}$, ранее определенное во флюидах из южной части ВТП (-22 ‰) и донных гидротерм Лакки Страйк (от -12,7 ‰ до -13,7 ‰) и Менес Гвен (-19,6 ‰) на САХ, как видно, например, в табл. 4.

В большинстве случаев верхняя часть магматогенной океанической коры полностью слагается базальтовыми породами. Однако на медленно спредингующем САХ верхняя часть этой коры сложена преимущественно перидотитами с базальтовыми лавами, присутствующими в виде тонкого слоя, и габбро, инъецированными в перидотиты. Высокие концентрации H_2 , самые высокие из всех когда-либо наблюдавшихся до сих пор, и метана, замеренные в Рейнбоу, ясно связаны с внедрением здесь ультрамафитов в земную кору и подтверждают, что крупные метановые аномалии, ранее установленные в столбе морской воды, непосредственно ассоциируются с обнажением ультрамафитов вдоль подводных хребтов медленного спрединга. Вероятно, что водород продуцируется во время серпентинизации ультрамафитов, когда Fe (II) оливина превращается в Fe (III) магнетита. Серпентинизация оливина и ортопироксена в ультрамафитах при высокой температуре и высоком давлении (300°C; 50 МПа) также играет важную роль в генерации небиогенного углеводородного газа за счет восстановления CO_2 водородом в различные УВ-ные газы и углеродистые соединения по реакциям Фишера/Тропша. Ультрамафиты обнажаются на всей площади гидротермальных полей Рейнбоу и Логачев. Последнее намного южнее первого и находится в месте пересечения САХ с трещинной зоной 15°20' с.ш. [9-13].

Важно отметить еще одно обстоятельство. И $\delta^{13}\text{C}$ метана, и $\delta^{13}\text{C}$ диоксида углерода горячих флюидов, извергающихся донными гидротермами, не являются одинаковыми даже на одном и том же срединноокеаническом хребте. Так, например, на САХ $\delta^{13}\text{C}$ метана определяется: -18/-19 ‰ во флюидах гидротермального поля Брокен Спур (356-364°C), -12,7/-13,7 Лакки Страйк (170-364°C), -13,6 поля Логачев (347-352°C), -18,8/-19,6 Менес Гвен (275-284°C), -15,8 Рейнбоу (365°C) и -8,0/-9,5 ‰ во флюидах поля ТАГ (290-321°C), а $\delta^{13}\text{C}$ диоксида углерода измеряется -9,0 ‰ во флюиде гидротермального поля Брокен Спур, -7,2/-10,6 Лакки Страйк, -4,3 поля Логачев, -6,8/-9,1 Менес Гвен, -3,15 Рейнбоу и -8,4/-10,0 ‰ во флюидах поля ТАГ (см., табл. 4).

Таблица 4
Химический состав горячих глубоководных эндогенных флюидов и их газов в наиболее известных гидротермальных полях Срединно-Атлантического хребта между 14 и 38° с.ш. [10, 11]

Среда, вещество, концентрация	Вода океана	Название гидротермального поля (северная широта)					
		Логачев (14°45')	Снэйк Пит (23°)	ТАГ (26°)	Брокен Спур (29°)	Рейнбоу, (36°14')	Лапки С-райк, (37°17')
Океан:							
Глубина, м	3000	3460	3670	3200/3300	2300	1700	850
Температура, °С	347/352	335/350	290/321	356-364	365	170/364	275/284
pH	7,8	3,3	3,9/37	—	2,8	3,5/3,7	4,2/4,3
Минеральное вещество:							
Ва, мкмоль	0,14	>4,3	>19	>12,9/>21,3	>67	10/52	>12
Вг, —"	838	847	880/1045	749/765	1178	735/924	666/710
Са, ммоль	10,2	9,9/10,5	26,0	11,8/12,8	66,6	31,3/38,2	29,7/33,1
Сl, —"	546	559/559	659	469	750	422/533	357/381
Сs, нмоль	2,3	177/181	110	139/146	333	200/280	330
Сu, мкмоль	0,007	17/10	150	28,3/69,6	121/162	4/26	0,6/3
Fe, —"	<0,001	2180/1839	1640	1684/2156	24050	30/863	<2/18
К, ммоль	9,8	23,6/23,9	18,0	18,1/19,6	20,4	21,1/26,7	22,1/23,8
Li, мкмоль	26	843/849	411	1006/1033	340	278/357	238/274
Mg, ммоль	53	0	0	0	0	0	0
Mn, мкмоль	<0,001	491/493	1000	250/260	2250	84/446	59/71
Na, ммоль	464	510/509	584	419/422	553	347/446	312/319
Rb, мкмоль	1,3	10,5/10,8	10	13,0/13,6	369	22,7/39,1	20,3/29,4
Si(OH) ₄ , ммоль	<0,2	18,2/18,3	22,0	—	6,9	11,5/16,3	7,7/11,6
SO ₄ , —"	28,2	0	0	0	0	0	0
St, мкмоль	87	50/51	99	42,9/48,0	200	67/119	100/111
Zn, —"	00,1	50/47	46	40,8/88,0	115/185	5/57	2,4/4,3
Газы:							
Ar, мкмоль	16	17/35	20/40	—	—	11/30	11/38
CH ₄ , ммоль	0,0003	0,023/0,062	0,124/0,147	0,065/0,13	2,5	0,50/0,97	1,35/2,63
δ ¹³ C(CH ₄), ‰	—	—	-8,0/-9,5	-18/-19	-15,8	-12,7/-13,7	-18,8/-19,6
CO, нмоль	0,3	—	—	—	5000	—	—
CO ₂ , ммоль	2,30	5,2/6,7	2,9/3,4	6,0/7,1	16	13/28	17/20
δ ¹³ C(CO ₂), ‰	-5,1/-5,9	—	-8,4/-10,0	-9,0	-3,15	-7,2/-10,6	-6,8/-9,1
H ₂ , ммоль	0,0004	0,19/0,48	0,15/0,37	0,43/1,03	16	0,02/0,73	0,024/0,048
H ₂ S, —"	0	5,9/5,9	6,7	8,5/11,0	1,2	2,5/3,0	<1,5
N ₂ , —"	0,59	1,20/3,37	0,90/0,89	—	1,8	0,61/0,97	0,60/1,90

Не является одинаковой и постоянной во времени величина $\delta^{13}\text{C}$ и метана, и диоксида углерода, выносимых горячими рассолами даже одного и того же гидротермального поля. Так, гидротермальный флюид, например, Рейнбоу содержал метан с $\delta^{13}\text{C} = -15,8 \text{ ‰}$ в 1997 г., $-16,0$ в 1998 г., $-13,0/-13,4$ в 1999 г. и $-18,2 \text{ ‰}$ в 2001 г. Это же присуще и CO_2 . Величина его $\delta^{13}\text{C}$ была равна $-3,0 \text{ ‰}$ в 1997 г., $-3,1$ в 1998 г., $-1,0/-4,0$ в 1999 г. и $-3,1 \text{ ‰}$ в 2001 г. Не была постоянной тогда и температура гидротерм в поле Рейнбоу. Так, в июле 1997 г. (круиз “Флорес”) она равнялась 362°C , в мае 1998 г. (круиз “Салданья”) — $346-350^\circ\text{C}$, в октябре 1999 г. (42-й круиз НИС “Академик Мстислав Келдыш”) — 308°C , а в мае 2001 г. (круиз “Айрис”) — 342°C [10].

В общем, многочисленными и многолетними исследованиями установлено, что нефтегазородоносная гидротермальная деятельность присутствует вдоль всей глобальной современной системы центров-осей спрединга Мирового океана. УВ и другие летучие выделяются в толщу океанской воды быстро фонтанирующими горячими гидротермами, циркулирующими через молодой горячий базальтовый материал, габбро, гарцбургиты, дуниты, перидотиты и серпентиниты, обнаженные на дне осевой рифтовой долины и ее стенах всех срединноокеанических хребтов, а также через зоны пересечения этих хребтов с трансформными и другими ТРЗ. $\text{CH}_4/{}^3\text{He}$ равно $2,6 \cdot 10^6$ в гидротермальных флюидах, $2,7 \cdot 10^6$ в базальтовых стеклах, $2,1 \cdot 10^6$ в “стреляющих” вулканических горных породах упомянутых хребтов, и обогащение метаном обусловлено не термокаталитическим превращением *окисленного органического вещества*, а дегазацией метана вместе с ${}^3\text{He}$ из мантии Земли или же высокотемпературным неорганическим синтезом из H_2 и CO_2 либо CO [10-12, 16, 22]. В океанической земной коре региональные поля напряжений характеризуются развитием то сжатия, то растяжения, вызывая формирование глобальных линейных зон дробления на глубине от единиц до 700 и 1200 км. В этих зонах широко развиты процессы синтеза нефти и природного газа из неорганических компонентов горных пород, так что в океанической кристаллической земной коре сформированы и продолжают формироваться гигантские и сверхгигантские зоны не только миграции нефти и газа, но и их аккумуляции [2-8, 20]. Об этом свидетельствуют промышленного размера залежи нефти в трогее Эсканаба [21, 19, 29] и донных буграх сульфидных руд полиметаллов Калифорнийского залива [29, 30], а также выделение $13 \cdot 10^8 \text{ м}^3/\text{год}$ водорода и $16 \cdot 10^7 \text{ м}^3$ метана вместе с ${}^3\text{He}$ гидротермами осевой рифтовой долины ВТП [33]. Промышленно нефтеносные бугры сульфидов разбурены скважинами в Калифорнийском заливе глубиной 2000 м. При этой и большей глубоководности уже идет добыча нефти и газа в восьми месторождениях Мексиканского залива — Аконкагуа (глубина залива 2136 м), Атлантик (2165), Гершель (2055), Кингз Пик Ист (2038), Кулон (2292), Кэмдн Хиллз (2195 м), Мэд Дог (2054), Фурье (2118 м) [1], и недалеко, по-видимому, то время, когда нефть и природный газ будут добываться скважинами, пробуренными и в глубоководных активных гидротермальных полях Мирового океана.

1. Гожик П.Ф., Чебаненко И.И., Краюшкин В.А. и др. Нефть и газ континентально-го склона в Мексиканском заливе // Геол. журн. — 2002. — № 4. — С. 7-14.
2. Краюшкин В.А. Углеродородная дегазация подводных недр Мирового океана // Азербайджанский геолог. — 1997. — № 1. — С. 11-26.
3. Краюшкин В.А. Абиогенно-мантийный генезис нефти. — Киев: Наук. думка, 1984. — 176 с.
4. Краюшкин В.А., Кучеров В.Г., Гожик П.Ф. и др. Неорганическое происхождение нефти: от геологической к физической теории // Геол. журн. — 2005. — № 2. — С. 35-43.
5. Порфирьев В.Б. Природа нефти, газа и ископаемых углей. Избр. труды. В 2-х томах / Ред.: Е.Ф.Шнюков. Т. 2. Абиогенная нефть. — Киев: Наук. думка, 1987. — 216 с.
6. Порфирьев В.Б., Краюшкин В.А. Края континентов и плит как глобальные генераторы нефти и газа на шельфе Мирового океана // Повышение эффективности разработки и ускорение ввода в промышленное освоение месторождений газа в Украинской ССР. — Харьков: Ротапринт УкрНИИГаз, 1976. — С. 191-192.
7. Черский Н.В., Царев В.П. Первые данные о глобальной зоне генерации и накопления углеводородов в океанической коре // ДАН СССР. — 1989. — 308, № 1. — С. 175-178.
8. Шнюков Е.Ф., Кенни Дж. Ф., Краюшкин В.А. К природе газогидратов и нефти // Геол. журн. — 2002. — № 1. — С. 11-18.
9. Barriga F., Costa I., Ribeiro A., et al. The Rainbow serpentines and serpentinite-sulphide stockwork (Mid-Atlantic Ridge, AMAR segment): a preliminary report of the FLORES results // EOS. — 1997. — 78. — P. 832.
10. Charlou J.-L., Donval J.-P., Fouquet Y., et al. Geochemistry of high H₂ and CH₄ vent fluids issuing from ultramafic rocks at the Rainbow hydrothermal field (36°14' N, MAR) // Chem. Geology. — 2002. — 173. — P. 1-15.
11. Charlou J.-L., Donval J.-P., Douville E., et al. Compared geochemical signature and evolution of Menez Gwen (37°50' N) and Lucky Strike (37°17' N) hydrothermal fluids, south of the Azores Triple Junction on the Mid-Atlantic Ridge // Ibid. — 2000. — 171. — P. 49-75.
12. Charlou J.-L., Fouquet Y., Bougault H., et al. Intense CH₄ plumes generated by serpentinization of ultramafic rocks at the intersection of the 15°20' N fracture zone and the Mid-Atlantic Ridge // Geochim. Cosmochim. Acta. — 1998. — 62, No. 31. — P. 2323-2333.
13. Charlou J.-L., Donval J.-P. Hydrothermal methane venting between 12° N and 26° N along the Mid-Atlantic Ridge // J. Geophys. Res. — 1993. — 98, No. 6-8. — P. 9625-9642.
14. Gieskes J.M., Simoneit B.R.T., Brown T., et al. Hydrothermal fluids and petroleum in surface sediments of Guaymas Basin, Gulf of California: a case study // Canad. Mineralogist. — 1988. — 26, Pt. 3. — P. 589-602.
15. Horibe Y., Kim K.R., Craig H. Hydrothermal methane plumes in Mariana back-arc spreading center // Nature. — 1986. — 324. — P. 131-133.
16. Horita J., Berndt M. E. Abiogenic methane formation and isotopic fractionation under hydrothermal conditions // Science. — 1999. — 285. — P. 1055-1057.
17. Jannasch H.W., Mottle M.J. Geomicrobiology of deep-sea hydrothermal vents // Ibid. — 1985. — 229. P. 717-725.
18. Kelley D.S. Methane-rich fluids in the ocean crust // J. Geophys. Res. — 1996. — 101. — P. 2943-2962.
19. Koski R.A., Shanks-III W.C., Dohrson W.A., et al. The composition of massive sulphide deposits from sediment-covered floor of Escanaba Trough, Gorda Ridge: implications for depositional processes // Canad. Mineralogist. — 1988. — 26, Pt. 3. — P. 827-840.

20. *Krayushkin V.A., Belousov V.V., Tanner W.F., et al.* Criticism of the Plate Tectonics Theory. — Athens: Theophrastus Publications, 1990. — 435 p.
21. *Kvenvolden K.A., Simoneit B.R.T.* Petroleum from Northeast Pacific Ocean hydrothermal systems in Escanaba Trough and Guaymas Basin // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. — 1967. — **71**, No. 5. — P. 580-581.
22. *Lancet H.S., Anders E.* Carbon isotope fractionation in the Fischer-Tropsch synthesis of methane // Science. — 1970. — **170**. — P. 980-982.
23. *Lonsdale P.* A transform continental margin rich in hydrocarbons, Gulf of California // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. — 1985. — **69**, No. 7. — P. 1160-1180.
24. *Mottle M.J.* Upwelling of Cl-poor, S-, and C-rich waters through serpentine seamount, Mariana Forearc: ODP Leg 125 // EOS. — 1989. — **70**. — P. 1382.
25. *Peter J.M., Scott S.D.* Mineralogy, composition, and fluid-inclusion microthermometry of seafloor hydrothermal deposits in the Southern Trough of Guaymas Basin, Gulf of California // Canad. Mineralogist. — 1988. — **26**, Pt. 3. — P. 567-587.
26. *Ramboz C., Oudin E., Thisse Y.* Geysier-type discharge in Atlantis-II Deep, Red Sea: evidence of boiling from fluid inclusions in epigenetic anhydrite // Ibid. — P. 765-786.
27. *Rona P.A.* Hydrothermal mineralization at oceanic ridges // Ibid. — P. 431-465.
28. *Russell R.O.* Effective petroleum source rocks of the world: stratigraphic distribution and controlling depositional factors. Discussion // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull. — 1992. — **76**, No. 10. — P. 1635.
29. *Simoneit B.R.T.* Petroleum generation in submarine hydrothermal systems: an update // Canad. Mineralogist. — 1988. — **26**, Pt. 3. — P. 827-840.
30. *Simoneit B.R.T., Lonsdale P.A.* Hydrothermal petroleum in mineralized mounds at the seabed of Guaymas Basin // Nature. — 1982. — **295**, No. 5846. — P. 198-202.
31. *Thompson G., Humphris S.E., Schroeder B., et al.* Active vents and massive sulphides at 26° N (TAG) and 37° N (Snakepeat) on the Mid-Atlantic Ridge // Canad. Mineralogist. — 1988. — **26**, Pt. 3. — P. 697-711.
32. *Van Damm K.L., Bray A.M., Buttermore L.G., et al.* The geochemical controls on vent fluids from the Lucky Strike vent field, Mid-Atlantic Ridge // Earth. Planet. Sci. Letters. — 1998. — **160**. — P. 521-536.
33. *Velhan J.A., Craig H.* Methane and hydrogen in East Pacific Rise hydrothermal fluid // Geophys. Res. Letters. — 1979. — **6**, No. 11. — P. 829-831.
34. *Zierenberg R.A., Shanks-III W.C.* Isotopic studies of epigenetic feature in metalliferous sediment, Atlantis II Deep, Red Sea // Canad. Mineralogist. — 1988. — **26**, Pt. 3. — P. 737-753.

Відповідно до сучасної російсько-української теорії глибинного, небіотичного походження нафти та природного газу, вони утворюються з неорганічних речовин у мантиї Землі та мігрують у земну кору внаслідок дегазації підкорової області, що можна якнайкраще бачити в сучасних центрах-осях спредингу дна Світового океану. Тут гарячі донні гідротерми, виходячи безпосередньо з базальтів, габро, гарцбургітів, дунітів, перидотитів і серпентинітів, є нафтогазоносними і уздовж Східно-Тихоокеанського підняття щорічно виносять $1,3 \cdot 10^9$ м³ водню, $16 \cdot 10^7$ м³ метану, а також ³He.

According to the modern Russian-Ukrainian theory of an abyssal, nonbiotic petroleum origin, oil and natural gas are formed from inorganic matters in the Earth's mantle and migrate into earth crust because of the subcrust domain outgassing which can be seen best of all in the recent bottom spreading axes-centres of World Ocean. In these places, the hot bottom hydrotherms, issuing directly from basalts, dunites, gabbroes, harzburgites, peridotites, and serpentinites, are petroliferous and vent yearly $1.3 \cdot 10^9$ cu m of hydrogen, $16 \cdot 10^7$ cu m of methane as well as ³He along the East Pacific Rise.