

ПУЗЫРЬКОВЫЙ МЕХАНИЗМ СООБЩЕНИЯ ДНА ОКЕАНА С АТМОСФЕРОЙ

© 2001 г. Академик И.С. Грамберг, И.Н. Горяинов, А.С. Смекалов, Г.И. Зеленский,

А.И. Нещеретов, К.И. Горяинов

ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург

Поступило 05.04.2001 г.

В работе авторов [Горяинов и др., 2000] на основе сравнительного анализа динамики слабых землетрясений и динамики поступления метана в тропосферу было обосновано предположение о ежегодном поступлении в тропосферу не менее 200 Мт метана. Поскольку водная толща недосыщена выходящими через дно океана глубинными газами, они должны растворяться в ней, не достигая контакта с атмосферой. Тем не менее газы в атмосферу попадают. Вопрос, как это происходит, до настоящего времени не рассматривался. В данной работе предлагается модель пузырькового механизма сообщения дна океана с атмосферой. Приводятся материалы, показывающие, что единственным механизмом, способным обеспечить быструю доставку эманулирующих газов на поверхность океана, является перенос их в виде пузырьков.

В пределах срединно-океанических хребтов одним из главных источников глубинных газов являются гидротермы. Растворенные в них метан, углекислый газ, азот, водород, аргон, гелий, сероводород и другие газы выделяются при быстром падении давления, связанном с выходом гидротерм на поверхность дна. Гидротермальные струи и порожденные ими турбулентные вихри быстро, со скоростью 1-5 м/с (А.Ф. Ковалев, 1985 г.), выносят зародившиеся и не способные вначале к самостоятельному всплытию пузырьки на высоту 200-400 м над поверхностью дна, способствуя, таким образом, их росту и предотвращая схлопывание - коллапсирование. После этого пузырьки начинают всплывать самостоятельно. Расчеты показывают, что пузырьки диаметром 0.1-1 мм всплывают со скоростью 5-16 см/с и преодолевают глубину 4 км за 7-22 ч.

Другая часть пузырьков возникает при гидродинамической кавитации, вызванной турбулентностью. Развитию процесса зарождения пузырьков способствуют всегда присутствующие в воде ядра кавитации (Бондаренко, Гак, 1984 г.), количество которых за счет частиц, взвешенных в гидротермальных плюмах, увеличивается на 2-4 порядка по сравнению с фоном [Sharon et al., 1988].

И наконец, причиной появления пузырьков могут быть транспортные химические реакции [Горяинов, 1988], когда образующиеся при распаде транспортных соединений твердые частицы играют роль ядер кавитации.

Реальность пузырькового механизма подтверждается прямыми наблюдениями. В 1972 г. с борта советского НИС «Академик Курчатов» в рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта на глубине около 2500 м подводной фотокамерой был зафиксирован действующий термальский источник. Над поверхностью дна рифтового гребня фотокамера запечатлела спокойное, равномерное выделение пузырьков, а в нескольких десятках сантиметров от их выхода - стебельчатую лилию. Это могло свидетельствовать о том, что температуры вблизи выхода пузырьков, по-видимому, невелики (Т.А. Розина, 1980 г.). Несколько лет эта фотография была единственной в своем роде. Как известно, активное поле горячих источников на Галапагосском хребте обнаружено лишь в начале 1977 г., а первая сульфидная залежь на Восточно-Тихоокеанском поднятии в 1978 г.

К выводу о переносе ртути от дна до поверхности океана газовыми пузырьками пришли советские ученые, исследовавшие акватории Чукотско-Камчатского региона и западного сектора Тихого океана. В атмосфере над морской поверхностью ими были выявлены ртутные ореолы, практически не смещенные от проекции на поверхность дна [Ганеев, 1984]. Вероятно, такую же природу имеют ореолы повышенных содержаний углеводородных и других газов в поверхностных и подповерхностных горизонтах водной толщи над подводными вулканами и гидротермами, в частности в районе горы Осевая, хребта Хуанде-Фука [Геологическое строение..., 1990].

Потоки газов, выделяющихся из недр Земли на значительном протяжении, были зафиксированы в районе экватора над системой разломов Романш и Сан-Паулу Срединно-Атлантического хребта при глубине дна 2800-4900 м [Геодекян и др., 1997]. Проецирование пузырьковым механизмом на поверхность

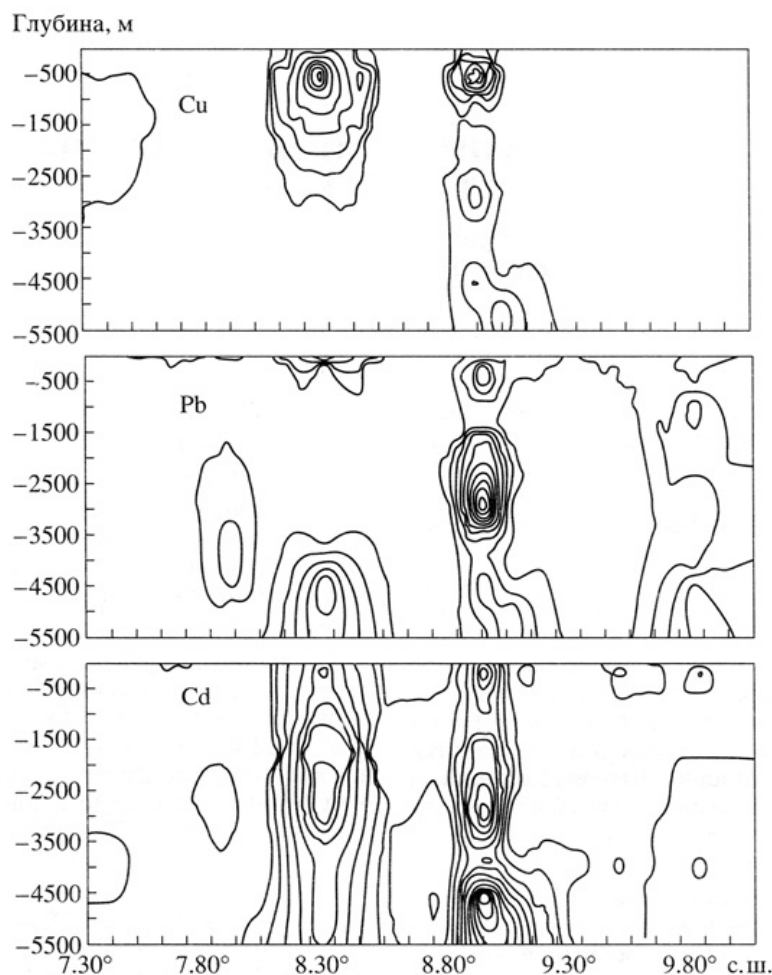


Рис. 1. Распределение элементов в водной толще.

океана мест выхода гидротерм в районе ТАГ (26° с.ш., Срединно-Атлантический хребет) показано в [Горянов и др., 1996].

По-видимому, с «пузырьковым замутнением» связано и обнаруженное при геофизических работах по проблеме глубоководных сульфидов в районах 15° и 23° с.ш. Срединно-Атлантического хребта явление сильного уменьшения прозрачности воды. Исследования проводились с борта НИС «Геолог Ферсман» трансмиссометром «Нейл Браун» с источником света на длине волны 660 нм. Уменьшение прозрачности наблюдалось в толще воды на глубине от 200 до примерно 2500 м. Лишь на одной станции зондирования, помимо высокой мутности в средних и верхних слоях воды, было зафиксировано замутнение непосредственно у дна. Интенсивность придонного замутнения, связанного, скорее всего, с «дымом» курильщика, была слабее верхней, протяженной аномалии на один-два порядка. Мы объясняем отсутствие единой аномалии или малыми размерами пузырьков в нижних частях водной толщи (заметно менее 0.5 микрона?), или искривлениями, изломами в условиях сильных горизонтальных течений, поднимающихся от дна вертикальных газовых

факелов, или резким выделением газов, вызванным разложением соединений, участвующих в транспортных химических реакциях, при достижении ими определенных температуры и давления.

Интенсивная дегазация дна океана в виде пузырьков наблюдается не только на срединных хребтах, но и в глубоководных котловинах. В Северо-Восточной котловине Тихого океана в зоне Клариян-Клиппертон на участке с железо-марганцевыми конкрециями, закрепленном за Китайской Народной Республикой, был выполнен региональный профиль (7°22' с.ш., 144°22' з.д. - 9°45' с.ш., 144°21' з.д.), где на 12 станциях были отобраны пробы воды на 12 горизонтах. В пробах были замерены концентрации ряда элементов (рис. 1). Строгое вертикальное положение выявленных аномалий высотой более 5 км может быть объяснено только пузырьковым механизмом [Tkachenko et al., 1996]. Такое же распределение некоторых параметров водной толщи имеет место и на полигоне ЮМ, закрепленном за международной организацией «Интерокеанметалл», на профиле с концами 9°42.5' с.ш., 119°25.2' з.д. - 12°26' с.ш., 120°21.5' з.д. На российском участке в зоне Клариян-Клиппертон российскими учеными на

нескольких десятках фотографий были зафиксированы потоки пузырьков газа, высвобождающиеся из осадков при ударе о грунт груза-разведчика. Одна из таких фотографий приведена нами в [Горяинов и др., 1998].

Количество газа, находящегося в природной воде в виде пузырьков, может колебаться в широких пределах. Для срединно-океанических хребтов оценим его на примере гидротермального поля ТАГ. Содержание метана в разных частях гидротермальной аномалии приведены в табл. 1.

Таблица 1. Средние объемные концентрации метана в разных частях гидротермальной аномалии на рудопроявлении ТАГ [10]

Положение пробы	Среднее содержание метана, л/л
Выход гидротермы на поверхность дна	$3.2 \cdot 10^{-3}$
Плюм в стадии всплывания	$4.3 \cdot 10^{-6}$
Плюм, достигший нейтральной плавучести	$6.9 \cdot 10^{-8}$
Окружающая вода (фон)	$1.0 \cdot 10^{-8}$

Объем гидротерм, вышедших из трубы «курильщика», должен достигать уровня нейтральной плавучести примерно за 30 мин. Температура воды за это время падает с 364°C при выходе на дно до 2.4°C в плавучем плюме. Если бы тепло распространялось в окружающей воде путем одной теплопроводности, то для распространения аномалии всего на 100 м потребовалось бы более 2000 лет (Дефонт, по [Хорн, 1972]). В [Грамберг и др., 1987; 1988] было показано, что главную роль в развитии и эволюции гидротермальных аномалий, связанных с «курильщиками», играет турбулентное перемешивание. Это относится как к теплу, так и к растворенным в гидротермах газам. Однако если температура гидротерм за 30 мин понижается на 2 порядка,

то концентрация метана за это же время падает на 4-5 порядков (табл. 1). Единственное объяснение этого - быстрое удаление более 90% первоначально растворенных газов в виде пузырьков.

Расширяющиеся при подъеме пузырьки, по-видимому, неоднократно лопаются, дробясь на более мелкие, и потом снова начинают расти. Поскольку окружающая вода недосыщена газом, как, например, метаном, то пузырьки, казалось бы, должны постепенно «сравливать», «спускать» - как «спускает» проколотый мяч. Однако этого не происходит. Устойчивость пузырьков объясняется адсорбцией на них поверхностно-активных веществ, которые изобилуют в морской воде [Хорн, 1972]. Поверхностно-активные вещества блокируют сообщение газа, находящегося внутри пузырька, с окружающей водой. Концентрация адсорбированных веществ по поверхности пузырька может быть распределена неравномерно [Васильев и Майоров, 1981; Макагон и Дэвидсон, 1983], поэтому условия для массообмена с окружающей средой разные. Пузырек может или постепенно «травить», предпочтительнее с какой-нибудь одной стороны, где концентрация поверхностно-активных веществ меньше, или быстро «спускать», или же, наоборот, может быть вообще заблокирован от окружающей воды и как бы зафиксирован в своих размерах - «затвердеть».

В 1972 г. Хорн писал: «происхождение свободных, видимых простым глазом, воздушных пузырьков в океане кажется несколько таинственным» [Хорн, 1972]. Предлагаемый нами механизм естественным образом объясняет появление пузырьков на поверхности океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горяинов И.Н., Грамберг И.С., Смекалов А.С., Горяинов К.И. О возможной зависимости глобального роста концентраций метана в тропосфере от числа слабых землетрясений // Геология и геофизика. 2000. № 8. С. 1187-1194.
2. Wolker S.L., Baker E.T. [Particle-size distributions within hydrothermal plumes over the Juan de Fuca Ridge](#) // Marine Geology. 1988. V. 78. № 3/4. P. 217-226.
3. Горяинов И.Н. // Советская геология. 1988. № 2. С. 102-110.
4. Ганев А.А., Машьянов Н.Р., Свешников Г.Б., Шолупов С.Е. // ДАН. 1984. Т. 275. № 5. С. 1162-1164.
5. Геологическое строение и гидротермальные образования хребта Хуан-де-Фука. М.: Наука, 1990. 200 с.
6. Геодекия А.А., Авиллов В.И., Авилова С.Д. Газобиогеохимические исследования в водах Атлантического океана // ДАН. 1997. Т. 353. № 4. С. 546-549.
7. Горяинов И.Н., Казакова В.Е., Смекалов А.С. // Отечественная геология. 1996. № 11. С. 50-54.
8. Tkachenko G.G., Degua L., Kotlinski R. et al. Inter. Sem. on Deep Sea-Bed Mining Technology. Deijing, 1996. V. 2. P. E1-E11.
9. Горяинов И.Н., Грамберг И.С., Смекалов А.С. О масштабах газогидрообразования в глубоководных зонах океанов // ДАН. 1998. Т. 363. № 2. С. 222-225.
10. Charlou J.L., Donvald J.P. [Hydrothermal methane venting between 12°N and 26°N along the Mid-Atlantic Ridge](#) // J. Geophys. Res. 1993. V. 98. № B6. P. 9625-9642.

11. Хорн Р. Морская химия. М.: Мир, 1972. 399 с.
12. Грамберг И.С., Горяинов И.Н., Овсянников А.Е., Мирчинк И.М. // ДАН. 1987. Т. 297. № 4. С. 961-963.
13. Грамберг И.С., Горяинов И.Н., Ашадзе А.М. // ДАН. 1988. Т. 302. № 2. С. 442-444.
14. Васильев Л.Л., Майоров В.С. // Инж.-физ. журн. 1981. Т. 40. №6. С. 1111-1123.
15. Макогон Ю.Ф., Дэвидсон Д.В. // Газ. промышленность. 1983. №4. С. 37-41.

Ссылка на статью:



Грамберг И.С., Горяинов И.Н., Смекалов А.С., Зеленский Г.И., Нещеретов А.И., Горяинов К.И. Пузырьковый механизм сообщения дна океана с атмосферой // Доклады Академии Наук, 2001, том 381, № 3, с. 409-411.