

Н. С. БЕСКРОВНЫЙ, В. А. ЛОБКОВ

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ГАЗОВ КАМЧАТКИ

(Представлено академиком А. В. Пейве 5 IX 1973)

Предшествующими исследованиями (¹, ²) показано постоянное присутствие более тяжелых, чем метан, углеводородов в составе гидротермальных газов Камчатки. Нами был изучен химический состав и изотопия углерода CO₂, CH₄, C₂H₆, C₃H₈ парогазовых струй Кошелевского вулканического массива, Камбального хребта и кальдеры вулкана Узон.

Нижне-Кошелевские струи и Сивучинский источник располагаются в пределах Кошелевского массива андезитов, базальтов и других изверженных пород четвертичного и более древнего возраста (алнейская серия). Нижне-Кошелевские источники находятся на отметке +750 м, на западном склоне вулканического массива, в 8,2 км от вершины вулкана Кошелева. Термальное поле расположено в русле и на склонах ущельеобразной долины в верховьях Третьей речки. Оно вытянулось вдоль субширотного сброс-сдвига с амплитудой 250 м. Размер поля 100×400 м. Многочисленные парогазовые струи с температурой до 117° вырываются из трещин в апдезитах и базальтах, частично превращенных в каолининовые глины. Разведочная скв. № 1 вскрыла резервуар с паром в породах алнейской серии (верхний миоцен — плиоцен) на глубине 165 м. При закрытой задвижке давление пара на устье достигало 6 атм., а температура 170°. В составе пара содержится 0,2% газов по объему.

Суммарный естественный дебит Нижне-Кошелевских струй оценивается в 15 кг/сек. Состав вод источников сульфатный натриево-кальциево-магниевый. В составе парогазовых струй, кроме CH₄, отмечалось наличие более тяжелых неидентифицированных углеводородов C_nH_m (³).

Сивучинский термальный источник находится в 2,5 км к юго-западу от Нижне-Кошелевских струй на отметке +250 м, он выходит среди раздробленных андезитов и базальтов. Вблизи источника имеется взброс запечатанный андезитовым телом. Источник разгружается из воронки диаметром 1 м и глубиной 0,8 м. Дебит источника 2 л/сек, а его температура 48°. Состав воды хлоридно-сульфатный натриево-кальциево-магниевый. Со дна воронки выделяются пузырьки газа, его дебит 0,5 л/мин.

Сведения по геологии других парогазовых струй Камчатки, упоминаемых в данной статье, содержатся в работах (¹, ⁵).

Полевой отбор проб газа производится по специальной методике, позволяющей освободиться от паров воды и кислых газов (²). Химический состав газов определяется на приборах ВТИ-2, Рус, Хром-2, Луч. Изотопный состав углерода определяется на масс-спектрометре МИ-1309 и представлен в значениях δC¹³, отнесенных (‰) к стандарту РДВ. Точность измерения δC¹³ около ±0,1‰, воспроизводимость результатов на уровне ±0,3%. Результаты анализов представлены в табл. 1.

Содержание газов в Нижне-Кошелевских парогазовых струях 0,07—0,2 об.%. Среднее содержание метана в газе, по данным 7 анализов, 19,25%. В 8 отобранных пробах газов Нижне-Кошелевских струй и Сиву-

чинского источника обнаружены газообразные углеводороды до бутана включительно, пентан присутствовал в 4 пробах. Среднее содержание углеводородов в парогазовой смеси 0,026%, т. е. в два раза меньше, чем в парогазовых смесях кальдеры Узон и массива Большой Семячик.

Из данных, приведенных в табл. 1, видно, что наблюдается закономерное утяжеление углерода в ряду $\text{CH}_4-\text{C}_2\text{H}_6-\text{C}_3\text{H}_8-\text{CO}_2$, что соответствует общим теоретическим и термодинамическим представлениям (6). Изотопный состав метана

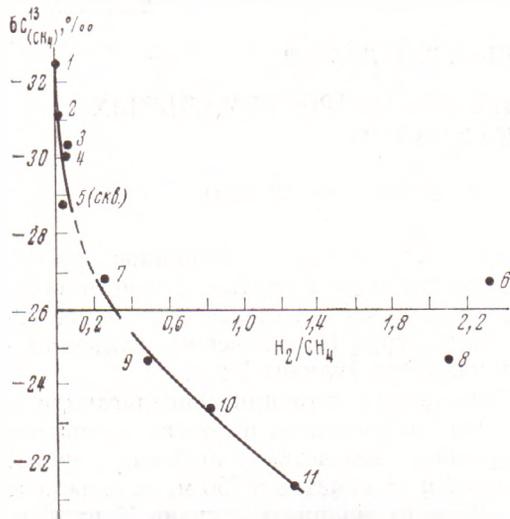


Рис. 1. Зависимость изотопного состава углерода метана (δC^{13}) в гидротермальных газах Камчатки от коэффициента H_2/CH_4 . Источники: 1 — Сивучинский, 2—5 — Нижне-Копелевские, 6 — Северо-Камбальные, 7—11 — Узонские

ком содержания в узонских парогазовых струях водорода, характерного для магматических газов.

Нами обнаружена закономерная связь между изотопным составом углерода метана (δC^{13}) и величиной отношения водорода к метану (рис. 1). Если в качестве механизма изотопного обмена принять реакцию $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$, эту закономерность можно объяснить зависимостью изотопного состава углерода метана от температуры (при более высокой температуре изотопного обмена имеем более тяжелый метан), а содержание водорода выступает как вторичный фактор. В свою очередь, это объяснение подтверждается по температурам изотопного равновесия углерода.

Обнаружено облегчение изотопного состава углерода метана и углекислого газа, отобранных на разных уровнях вертикального разреза. Газы, отобранные из скв. № 1 (глубина ~165 м), изотопически наиболее тяжелые ($\delta\text{C}_{\text{CH}_4}^{13} = -28,8\text{‰}$, $\delta\text{C}_{\text{CO}_2}^{13} = +1,2\text{‰}$), а газы поверхностных источников более легкие.

Наиболее легкий метан и углекислый газ ($\delta\text{C}_{\text{CH}_4}^{13} = -32,6\text{‰}$, $\delta\text{C}_{\text{CO}_2}^{13} = -8,1\text{‰}$) обнаружены в Сивучинском источнике.

Облегчение изотопного состава углерода метана и CO_2 в процессе вертикальной миграции можно объяснить двумя причинами: 1) метан и углекислый газ диффундируют к поверхности и изотопно облегчаются; этому же, вероятно, способствуют процессы сорбции и термодиффузии; 2) метан и углекислый газ в процессе выхода на поверхность смешиваются с газами более легкого изотопного состава, возможно из другого источника.

Отсутствие каких-либо осадочных пород между забоем скв. № 1 и поверхностью Нижне-Копелевского термального поля может быть аргумен-

тальный состав метана Нижне-Копелевских источников оказался в среднем на 5‰ легче метана из парогазовых струй кальдеры Узон. Кстати, изотопный состав метана из кальдеры Узон оказался даже тяжелее углерода нефти (-2,78‰), отобранной там же.

Проведенный расчет (7) температур изотопного равновесия углерода в системе CO_2-CH_4 дал для Узона $400 \pm 50^\circ$, а для Нижне-Копелевских парогазовых струй $260 \pm 50^\circ$. Утяжеление изотопного состава углерода метана из кальдеры Узон можно объяснить тем, что изотопное равновесие углерода CO_2 и CH_4 осуществляется в недрах Узонской гидротермальной системы при повышенной температуре.

Этот вывод согласуется с

данными о сравнительно высо-

том в пользу первой гипотезы. Однако в настоящее время само существование того типа зависимости, что обнаружена для Нижне-Кошелевских источников, нуждается в подтверждении на других объектах типа скважина — источник.

Впервые определялся изотопный состав углерода этана и пропана в Нижне-Кошелевских парогазовых струях. Он характеризуется следующими величинами: $\delta C_{2H_6}^{13} = -28\%$, $\delta C_{3H_8}^{13} = -23\%$.

По этим показателям гидротермальные газы оказались сходными с газами газо-конденсатных месторождений Западного Предкавказья (Ейско-

Таблица 1

Изотопный состав углерода (δC^{13} PDB в промилле) углеродов и углекислого газа в гидротермальных газах*

Показатель	Сивучинский источник (1)	Нижне-Кошелевские источники					Северо-Камбальные (6)	Узонские источники				
		источник на дне ручья выше «горизонтального» гейзера (2)	источник возле Кипящего озера (3)	восточный участок, источник с сульфидами (4)	скв. № 1, гл. 166 м, II горизонт (5)	участок нефтепроявления № 13, 4-е оз. Пийпа (7)		участок нефтепроявления Нага-2 (8)	источник «Первооткрыватель» (9)	оз. Восьмерка, грязевой котел (10)	центральное термальное поле, грязевой котел (11)	
$\delta C_{RДВ}^{13} CH_4, \text{‰}$	-32,6	-31,1	-30,3	-30,2	-28,8	-26,7	-26,8	-24,7	-24,7	-23,4	-21,4	
$\delta C_{RДВ}^{13} C_2H_6, \text{‰}$	-29,0		-28,9	-24,0	-29,8							
$\delta C_{RДВ}^{13} C_3H_8, \text{‰}$		-25,0	-19,7	-20,4	-26,9							
$\delta N_{RДВ}^{13} CO_2, \text{‰}$	-8,2	-5,3	+0,8	-1,9	+1,2	-0,2	Среднее из 9 проб -5,2 (от -4,6 до -6,0)					
CO ₂ , %	86,1	57,9	39	82	67,2	94,5	67,7	92,7	96,8	96,6	93,04	
CH ₄ , %	7,5	24,4	37,3	7,8	16,0	0,48	2,55	0,91	1,23	1,34	2,28	
C ₂ H ₆ , %	0,274	0,5	0,9	0,25	0,4	0,005		0,0005	0,008	—	—	
C ₃ H ₈ , %	0,002	0,11	0,22	0,04	0,084	0,0005		0,0002	—	—	—	
H ₂ /CH ₄	0,001	0,005	0,072	0,1	0,055	2,29	0,267	2,11	0,496	0,806	1,23	
N ₂ , %	5,0	17,8	19,8	9,0	15	3,92	29,1	4,5	1,36	0,98	1,88	
tCO ₂ -CH ₄ , °C	310	295	225	260	240	280	Средняя 400					

* В скобках — номера проб.

Березанский вал), где средняя величина $\delta C_{2H_6}^{13} = -26,0\%$ (12 проб), а $\delta C_{3H_8}^{13} = -23,6\%$ (8 проб).

По данным Э. И. Галимова (8), для Нижне-Кошелевских струй были рассчитаны температуры равновесия в системах CH₄-C₂H₆ и C₂H₆-C₃H₈. Полученные по ограниченному количеству данных, эти температуры имели большой разброс, возможно указывающий на неравновесность выбранных систем.

Проведенное исследование обнаружило значительные колебания изотопного состава углерода гидротермальных газов Камчатки: CH₄, C₂H₆, C₃H₈ и CO₂.

Намечается закономерное утяжеление изотопного состава метана с повышением в парогазовой смеси содержания водорода, объясняемое возрастанием температуры изотопного обмена в системе CO₂-CH₄. Обнаружено также явление облегчения изотопного состава углерода CH₄ и CO₂ в процессе вертикальной миграции парогазовых струй, но его возможные причины нуждаются в дальнейшем изучении. Этан и пропан гидротер-

мальных газов по изотопному составу углерода близки к свободным и попутным газам некоторых нефтегазоносных районов.

Всесоюзный нефтяной научно-исследовательский
геологоразведочный институт
Ленинград

Поступило
11 VII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. С. Бескровный, С. И. Набоко и др., Геология и геофизика, № 2 (1971).
² Н. С. Бескровный, И. Л. Каменский, ДАН, т. 208, № 1 (1973). ³ В. В. Иванов, Тр. Лаб. вулканол., в. 13 (1958). ⁴ Б. И. Пийп, Термальные ключи Камчатки. Тр. Совета по изуч. производит. сил, сер. камчатск., в. 2, Изд. АН СССР, 1937. ⁵ Паужетские горячие воды на Камчатке, Б. И. Пийп (отв. ред.), «Наука», 1965. ⁶ Э. М. Галимов, Геохимия стабильных изотопов углерода, 1968. ⁷ Y. Bottinga, Geochim. et cosmochim. acta, v. 33, № 1, 49 (1969). ⁸ Э. М. Галимов и др., Сборн. Геология и разведка нефти и газа Пермского Приуралья, Пермь, 1971.