

Член-корреспондент АН СССР Н. И. ХИТАРОВ, Г. И. ВОЙТОВ,
С. А. КАСПАРОВ, Т. А. КРЫЛОВА, В. С. ЛЕБЕДЕВ

ОБ ИЗОТОПНЫХ СДВИГАХ УГЛЕРОДА УГЛЕКИСЛОТЫ И УГЛЕВОДОДОРОВ В ГАЗАХ ПОСЛЕ АФТЕРШОКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Гипоцентры землетрясений, очевидно, представляют неравновесные открытые физико-химические системы, в которых происходят сложные химические реакции. Исходя из принципа Ле-Шателье, их интенсивность и направление в общем случае зависят от температуры, давления, петрохимического состава пород и степени открытости реакционных зон.

Динамика самих процессов, проявления которых (помимо геоморфологических) на поверхности выражаются в повышенных эманациях летучих и изменениях соотношений между их отдельными компонентами, изменениях притоков вод в источниках и скважинах и их солевого состава, изменениях дебитов нефтяных и газовых скважин и т. д., обусловлена скоростью накопления упругих деформаций породами в очагах землетрясений и соответственно изменениям их $P-T$ -условий. Особенно интенсивны такие процессы в момент релаксации упругих деформаций, когда нарушается сплош-

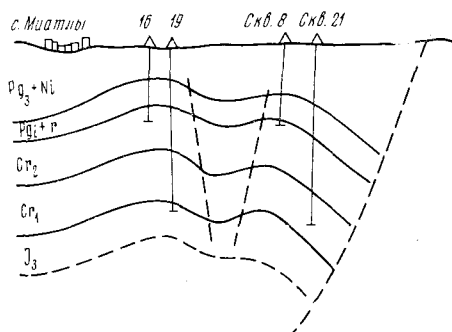


Рис. 1. Схематический разрез через структуру Миатлы

ность массива и происходит спонтанная разгрузка в атмосферу продуктов химических реакций. В этот момент в одновременном обмене с атмосферой участвует мощная толща литосферы, во всяком случае, не менее мощности перекрывающих очаг землетрясения горных пород.

В литературе (¹⁻⁷) обсуждались некоторые геохимические эффекты, обусловленные накоплением и релаксацией упругих деформаций в гипоцентрах землетрясений. Из чисто логических соображений следовало также ожидать изотопных сдвигов некоторых стабильных и радиоактивных элементов, в частности углерода, аргона, азота, гелия и др.; однако никаких систематических работ в этом направлении, за исключением двух замеров изотопного сдвига углерода углекислоты * в образцах подпочвенного газа, отобранных в районе Сахалинского месторождения (Северо-Западный Кавказ) в момент Анапского землетрясения 12 VI 1966 г., не проводилось.

В сентябре — октябре 1970 г. после очередного афтершока 28 IX 1970 г. (энергетический класс 9) была отобрана серия проб газа из скважины № 16 (Миатлы) в эпицентральной зоне Дагестанского землетрясения 14 V 1970 г. Район эпицентра находится к западу от Махачкалы и при-

* По пробам, представленным А. И. Фридманом (измерения В. С. Лебедева), изотопный состав углерода CO_2 в этих пробах составил $\delta C^{13} = -2,82$ в момент землетрясения и $\delta C^{13} = -2,37$ спустя два месяца.

урочен к вершине поперечного поднятия Дагестанского клина и вероятному продолжению Пшекиш-Тырнаузской шовной зоны.

Скважина пробурена в 1955 г. в куполе Миатлинской антиклинали (рис. 1), разбитой серией тектонических нарушений, в долине р. Сулак в нескольких километрах выше Миатлинского ущелья. Глубина скважины 350 м. Забоем вскрыты трещиноватые известняки верхнего мела, из которых получен приток * слабоминерализованной газированной воды (до 80 м³ в сутки) состава: $\sum a + k = 1442,6$ мг/л, в том числе Cl 398,4 мг/л; HCO₃ 70,0 мг/л; SO₄ 8,3 мг/л; Na + K 449,8 мг/л; Ca 76,9 мг/л; Mg 439,2 мг/л. Обсадными трубами изолированы глины майкопа. Ствол скважины в трещиноватых известняках верхнего мела открытый. Скважина каптирована в августе 1970 г. для режимных наблюдений.

Вариации химического состава газов этой скважины и изотопов углерода углеводородов и CO₂ (в δC^{13}) изучены в 11 образцах газа. В период их отбора произошло несколько афтершоков: 28 IX, 3 X, 4 X и два афтершока 10 X. Их энергетический класс $K = 9; 8; 8; 7; 9$ соответственно.

Газы анализировали хроматографически на приборах УХ-1 с детектором по теплопроводности и «Геохимик» с ионизационно-пламенным детектором.

Химический состав газов (рис. 2) углекисло-азотно-углеводородный; в отдельных образцах в измеримых количествах содержится Н₂. Концентрации компонентов, определяющих химический облик газа (N₂, CO₂, углеводороды) и отражающих, очевидно, динамику условий в гипоцентре землетрясения, широко изменяются. В образцах, отобранных непосредственно после афтершока 28 IX 1970 г., существенно содержание избыточного (без учета воздушного) N₂ и CO₂. С течением времени состав газа претерпевает инверсию, становясь преимущественно углеводородным. Вообще разгрузка упругих деформаций в гипоцентре землетрясения сопровождается (рис. 2) не совсем четким увеличением содержания в составе газа N₂ и более резким увеличением содержания CO₂ за счет уменьшения относительного содержания углеводородов.

Несмотря на то, что спектр углеводородной части газов (табл. 1) весьма широк (углеводородные газы представлены всеми компонентами ряда алканов до C₆ включительно), углеводороды исключительно легкие, на 99,9% состоят из CH₄. В некоторых образцах газа содержатся олефины C₂ — C₄ в количествах, соизмеримых с количеством соответствующих им компонентов ряда алканов. Наибольшее количество олефинов найдено

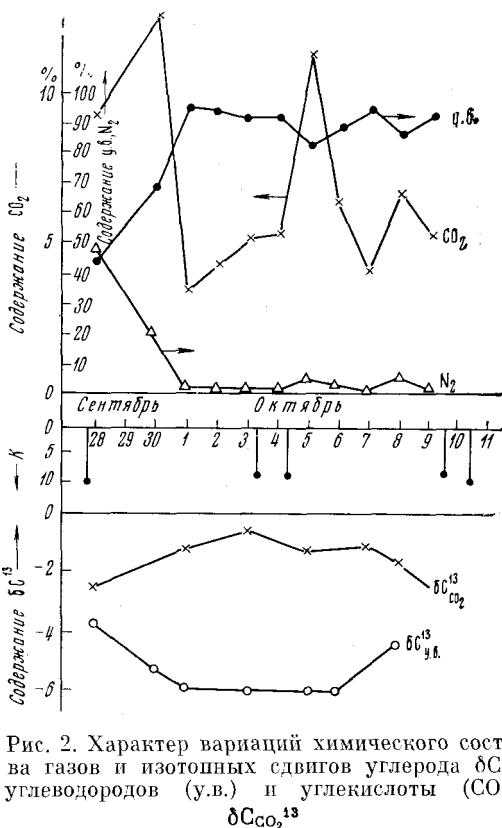


Рис. 2. Характер вариаций химического состава газов и изотопных сдвигов углерода δC^{13} , углеводородов (у.в.) и углекислоты (CO₂) $\delta C_{CO_2}^{13}$

* Притоки воды и соответственно газа по данным наблюдений за дебитами многих скважин и источников в Дагестане существенно изменялись как после основного толчка, так и после афтершоков землетрясения.

в образцах, отобранных 28 и 30 IX и 3 и 8 X 1970 г.; за их счет спектр углеводородов в этих образцах существенно расширяется.

Измерение изотопного состава углерода CO_2 и углеводородов производилось на масс-спектрометре МИ-1305 относительным компенсационным методом. Природная двуокись углерода и двуокись углерода, полученная при сжигании углеводородов, переводилась в карбонат бария, который затем разлагался ортофосфорной кислотой. Каждый образец подвергался повторным измерениям, отдельные из них даже по 3—4 раза. Все значения δC^{13} пересчитаны по отношению к эталону РДВ в процентах.

Т а б л и ц а 1

Химический состав углеводородной части газа (динамика изменения во времени)

Дата отбора	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_3H_8	C_3H_6	$i\text{C}_4\text{H}_{10}$	$n\text{C}_4\text{H}_{10}$	C_4H_8	C_5H_{12}	C_6H_{14}
28 IX	99,84	0,138	Следы	$7 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$20 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-3}$		Следы
30 IX	,93	0,067	0,0000	$1 \cdot 10^{-4}$	Не обн.	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$12 \cdot 10^{-5}$		»
1 X	,97	0,030	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы		Не обн.
2 X	,99	0,008	»	»	»	»	»	$7 \cdot 10^{-5}$		Следы
3 X	,92	0,019	Не обн.	$15 \cdot 10^{-5}$	Не обн.	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$25 \cdot 10^{-5}$	Не определены	$10 \cdot 10^{-4}$
4 X	,98	0,017	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы		Следы
5 X	,94	0,058	»	»	»	»	»	Не обн.		»
6 X	,98	0,025	»	»	»	»	»	»		»
7 X	,99	0,0004	»	»	»	»	»	»		»
8 X	,92	0,088	»	»	»	»	»	$5 \cdot 10^{-4}$		»
9 X	,98	0,019	»	$4 \cdot 10^{-5}$	»	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	Следы		$9 \cdot 10^{-4}$

П р и м е ч а н и я. 1. Аналитики Л. Ф. Веред и Л. Н. Крючкова; 2. Данные измерений приведены в об. %.

Динамика изменения во времени содержания C^{13} в составе углерода углеводородных газов и CO_2 показана на рис. 2. Величина δC^{13} углерода углеводородов изменяется от $-3,7$ до $-6,0$, т. е. более чем на $2,0\%$; двуокиси углерода от $-0,7$ до $-2,6$, почти на $2,0\%$. При этом наиболее тяжел углерод углеводородов в газах, отобранных после афтершока 9 энергетического класса 28 IX 1970 г. и перед афтершоком такого же энергетического класса 10 X 1970 г. Афтершоки более низкого энергетического класса заметно не отражаются на вариациях изотопного состава углерода углеводородов и CO_2 . Это, по-видимому, означает, что дальнейшее нарушение сплошности пород в гипоцентрах землетрясений происходит только при накоплении в массиве достаточно больших упругих деформаций, способных нарушить сплошность целика пород (их величина в каждом конкретном случае определяется составом и свойствами пород). При афтершоках более низкого энергетического класса, по-видимому, происходят подвижки отдельных блоков только по ранее раздробленным зонам, при которых в зоны дробления поступает ограниченное количество газов, не оказывающих существенного влияния на химический и изотопный состав в его выходах на дневную поверхность.

Содержание тяжелого углерода C^{13} в составе углерода углекислоты является зеркальным отображением содержания этого изотопа в составе углерода углеводородов. Наиболее легкий углерод у CO_2 в газах, отобранных непосредственно после афтершока 9 энергетического класса. Углерод CO_2 газов, отобранных в период нарастания упругих деформаций в гипоцентре землетрясения, содержит наибольшее количество тяжелого изотопа C^{13} , которое в отдельных случаях приближается к его содержанию в газах эндогенной углекислоты.

Таким образом, наблюдаются отчетливые изменения химического состава газов и вариации содержания изотопов углерода двуокиси углерода и углеводородов в газах, отобранных в эпицентре Дагестанского землетрясения, т. е. релаксация накопившихся в гипоцентре землетрясения

упругих деформаций, по-видимому, приводит к спонтанной разгрузке газов широкого интервала стратиграфического разреза, следствием которой являются наблюдаемые вариации химического состава газов и изотопные сдвиги углерода углекислоты и углеводородов, достигающие существенных значений.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт ядерной геофизики и геохимии
Москва

Поступило
22 II 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Б. В. Голицын, Избр. тр., 2, 1960. ² Н. И. Хитаров, Некоторые вопросы геохимии в связи с изучением глубинных зон Кавказа. В сборн. Глубинное строение Кавказа, 1966. ³ В. И. Уломов, Б. З. Мавашев, ДАН, 176, № 2 (1967). ⁴ Г. И. Войтов и др., ДАН, 202, № 3 (1972). ⁵ А. И. Спиридонов, В. Г. Тыминский, Изв. АН СССР, сер. Физика Земли, № 3 (1971). ⁶ М. Н. Смирнова, Изв. АН СССР, сер. Физика Земли, № 12 (1968). ⁷ Р. Штейнбругге, Д. Моран, Инженерный анализ последствий землетрясений 1952 г. в Южной Калифорнии, 1957.