

УДК 550.3+550.4

## ИЗОТОПНО-УГЛЕРОДНЫЙ ПРЕДВЕСТНИК СИЛЬНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 1996 г. Г. И. Войтов, Ш. С. Юнусов

Представлено академиком В.Н. Страховым 23.09.94 г.

Поступило 27.09.94 г.

Первые данные об изотопно-углеродных нестабильностях спонтанных газов подземных водно-газовых систем в сейсмически активных регионах относятся к 1970 г., когда были обнаружены изотопные сдвиги углерода  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , достигающие 20‰ и более значений  $\delta^{13}\text{C}$  в реакциях на афтершоки энергетического класса 10 - 12 Дагестанского тектонического землетрясения 14 мая 1970 г. [1]. Тогда же было показано, что в указанном процессе наблюдаются два принципиально важных и интересных изотопно-углеродных эффекта:

зеркальное отображение изотопно-углеродных составов  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , т.е. сильному изотопно-углеродному утяжелению (достигающему 20‰ и более) углерода  $\text{CH}_4$  отвечает столь же сильное изотопно-углеродное облегчение  $\text{CO}_2$ ;

изотопные эффекты характерны только для реакций на афтершок энергетического класса не менее 9 - 10.

В дальнейшем появилась обширная литература [2 - 10 и др.] об изотопно-углеродной нестабильности спонтанных газов подземных водно-газовых систем (в основном это полосы альпийской складчатости, а также Хибины и Ловозеро на Кольском полуострове [11, 12]), проявляющейся вне связи с конкретными сейсмическими ударами. Заметим, что из-за сложности и дороговизны изотопного анализа, а также незначительной экспрессности метода длинных рядов изотопных определений, в которых удалось бы зафиксировать все стадии подготовки и реализации более или менее крупного сейсмического события получено не было. Исключение составляют разрозненные наблюдения, выполненные в 1976 - 1980 гг. на Ташкентском (в скв. № 2, 8 и 9) и Кызылкумском (в скв. Туякачар и Джангельды) геодинамических полигонах, в процессе которых были выявлены достаточно сильные временные изо-

топно-углеродные нестабильности в реакциях на Газлийские ( $M = 7.3$ ) 1976 г., Исфара-Баткенское ( $M = 6.3$ ) и Таваксайское ( $M = 5.0$ ) 1977 г., а также Алайское ( $M = 6.8$ ) 1978 г. тектонические землетрясения.

Ситуация сильно изменилась в связи с подготовкой материалов к диссертационной работе одним из авторов настоящего сообщения (Ш.С. Юнусовым), в процессе которой в пределах Ташкентского геодинамического полигона были получены длинные ряды наблюдений изменения изотопного состава углерода спонтанной углекислоты ( $\text{CO}_2$ ) в период сильнейшей сейсмической активности Средней Азии и сопредельных регионов (1977 - 1992 гг.), когда в отдельные годы в регионе выделялось сейсмической энергии на полпорядка или даже порядок больше, чем за соответствующие периоды времени в предшествующие и последующие годы.

Образцы спонтанной углекислоты отбирались по единой методике из водно-газовых систем 3 изливающих скважин. (№ 3 в парке "Галаба", № 6 в поселке Луначарского и № 7 в поселке Улугбек) Ташкентского артезианского бассейна минеральных вод. Скважинами вскрыты на глубинах 1300 - 2400 м сеноманские водоносные горизонты, заполненные слабо минерализованными (до 1.3 г/л) гидрокарбонатными хлор-натриевыми водами с температурой до 70°C. Всего отобрано более 2000 образцов спонтанных газов (из них из скв. № 3 порядка 800 образцов, из скв. № 6 - 665 образцов и из скв. № 7 - 600 образцов). Изотопный состав углерода определяли на масс-спектрометре МИ-1309 двухлучевым методом. Данные анализа приведены к международному стандарту РДВ и даны в промилле значений  $\delta^{13}\text{C}$ .

На рис. 1 показана сводная гистограмма рядов распределения изотопного состава углерода  $\text{CO}_2$  из образцов спонтанного газа всех 3 наблюдававшихся скважин. Видна широта вариаций параметра (от -5 до -28‰ значений  $\delta^{13}\text{C}$ ), причем, наиболее узким интервалом вариаций значений рассматриваемого параметра и наиболее тяжелой углекислотой характеризуются газы из газово-жидких систем,

изливающих из скв. № 3 и 6, вскрывших тектонически разрушенную туфобрекчию сеномана. Напротив, изотопно наиболее легкая углекислота (интервал вариаций рассматриваемого параметра  $-10$  -  $-30\text{‰}$ ) поступает из скв. № 7, забой которой остановлен в отложениях сеномана на глубине 1817 м (интервал перфорации 1620 - 1817 м). Судя по температуре вскрытых этой скважиной пластовых вод ( $22^\circ\text{C}$ ), а также изотопному составу углерода спонтанной углекислоты, эти воды в основном формируются за счет нисходящей инфильтрации метеорных вод\*, которые несут во вскрытый скважиной коллектор изотопно-легкую ( $\delta^{13}\text{C} = -10$  -  $-28\text{‰}$ ) углекислоту – продукт окисления рассеянного органического вещества и углеводородов биогенного происхождения, а также широко варьирующего количества глубинного водно-газового флюида. Спонтанная углекислота флюида содержит изотопно-тяжелый углерод abiогенного (ювенильного) происхождения, транзитом поступающий по тектонически разуплотненным структурам из высокотемпературных областей литосферы (мантии?). Альтернативой сказанному может быть углекислота высокотемпературной ( $T > 500^\circ\text{C}$ ) деструкции карбонатов первично-осадочного происхождения с  $\delta^{13}\text{C}$  углерода  $0.0\text{‰}$  [13].

Заполнение поля гистограммы значениями  $\delta^{13}\text{C}$  (рис. 1), несмотря на большую статистику испытаний (свыше 2000 образцов), многомодальное, что, по-видимому, обусловлено как индивидуальностью изотопного состава углерода спонтанной углекислоты в подземных водно-газовых системах в области вскрытия пластовых коллекторов каждой из 3 наблюдательных скважин, так и временной нестабильностью подтоков в пластовый коллектор вод метеорного происхождения из верхних горизонтов осадочных пород, несущих изотопно-легкую углекислоту, а также изотопно-тяжелую углекислоту с глубины по разрывным структурам к интервалам перфорации каждой из скважин. Причем на заключительных стадиях подготовки очагов тектонических землетрясений (на стадиях начала формирования магистральных разрывов), как это видно из рис. 2, градиент потока глубинных водно-газовых систем с изотопно-тяжелой углекислотой стремительно возрастает, определяя интегральные характеристики рассматриваемого параметра. Так, максимальные относительные количества глубинного водно-газового флюида с изотопно-тяжелой спонтанной углекислотой накануне Назарбекских тектонических землетрясений 1980 - 1981 гг. ( $M = 4.5 - 5.5$ ) в пластовый коллектор, вскрытый скважинами Таш-

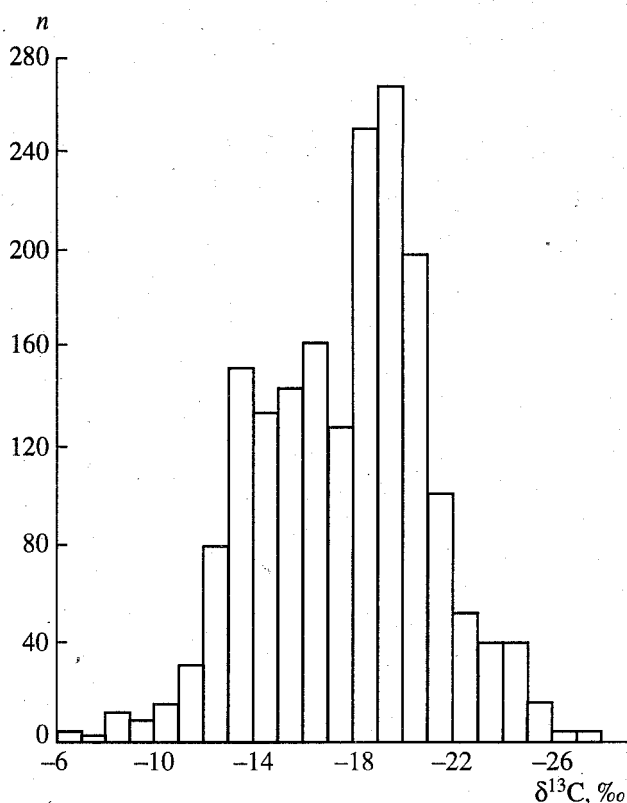
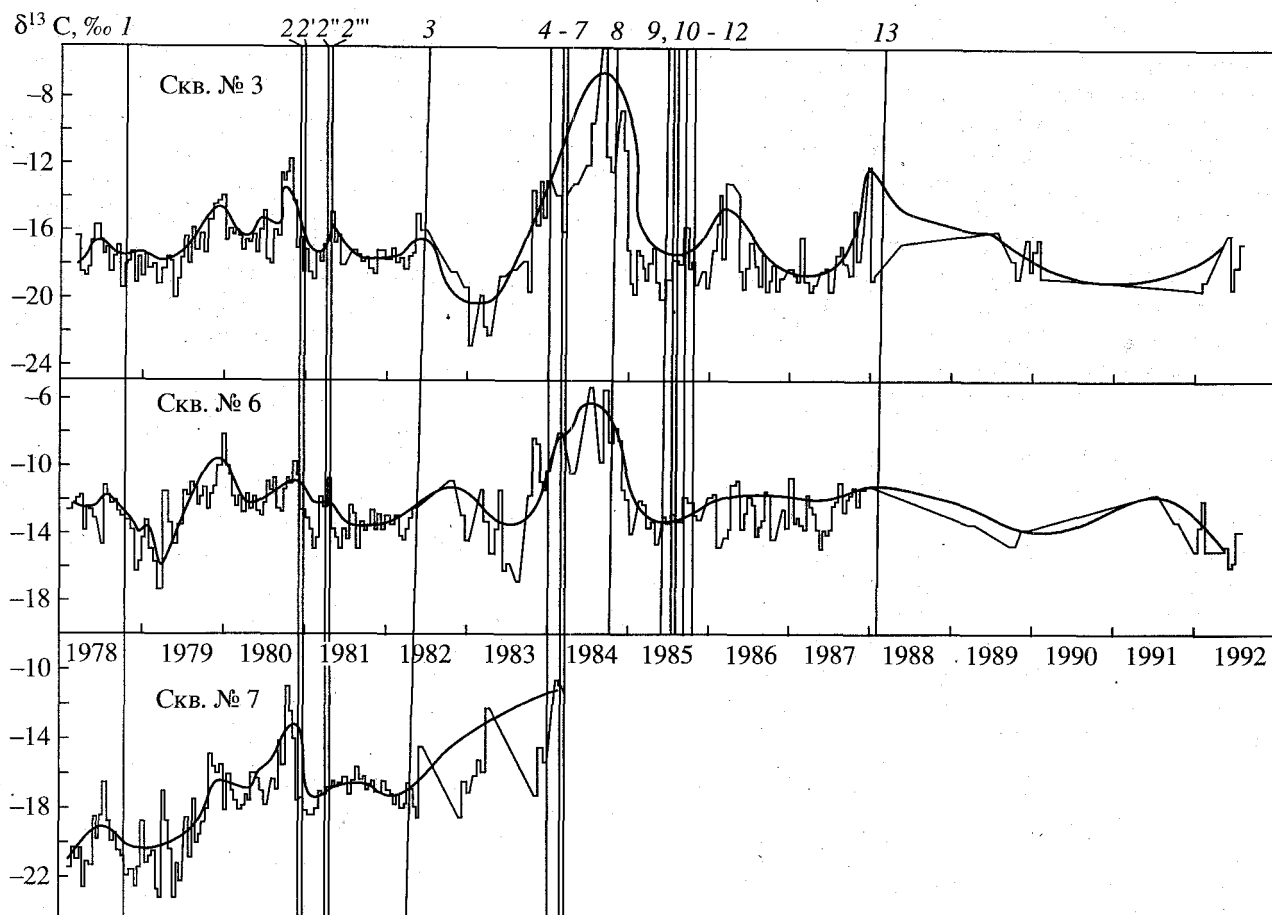


Рис. 1. Сводная гистограмма рядов распределения значений  $\delta^{13}\text{C}$  в образцах, отобранных из наблюдательных скважин Ташкентского геодинамического полигона.

кентского геодинамического полигона, начали поступать (рис. 2): в скв. № 3 в парке "Галаба" за 4 месяца до сейсмических ударов, в скв. № 6 в поселке Луначарского за 2.5 месяца, а в скв. № 7 в поселке Улугбек примерно за 3 месяца до сейсмических ударов. В то же время заполнение пластового коллектора глубинным водно-газовым флюидом, по-видимому, носило импульсный характер (рис. 2). Нестабильность самого процесса заполнения пластового коллектора проявлялась особенно сильно примерно за 2 месяца до сейсмических ударов. За это время интегральные изотопно-углеродные характеристики спонтанной углекислоты в пластовом коллекторе изменились: в районе вскрытия пластового коллектора скв. № 3 – на  $12\text{‰}$  значений  $\delta^{13}\text{C}$ , скв. № 6 – на  $6\text{‰}$ , скв. № 7 – на  $8\text{‰}$ . После сейсмических ударов фоновые концентрации изотопного состава углерода спонтанной углекислоты сравнительно быстро восстанавливались.

Еще большими изотопно-углеродными аномалиями и нестабильностью спонтанной углекислоты, поступающей в пластовые коллекторы Ташкентской прогностической сети с глубины, сопровождалась подготовка наиболее сильных за

\* Альтернативой такому утверждению может быть допущение быстрого адиабатического расширения газов в области перфорации этой скважины, поднимающихся из высокотемпературного сейсмического очага [14].



**Рис. 2.** Ход изотопного состава углерода спонтанной углекислоты ( $\text{CO}_2$ ) на фоне сейсмичности недр Среднеазиатского региона и сопредельных областей. Землетрясения: 1 – Алайское 2.11.78 г. ( $M = 6.8$ ); 2 – 2'' – Назарбекские 11.12. и 30.12.80 г. и 5.04. и 29.04.81 г. ( $M = 4.5$  и 5.5 и 4.5 и 5.0 соответственно); 3 – Чимйонское 6.05.82 г. ( $M = 5.6$ ); 4 – Гиндукушское 31.12.83 г. ( $M = 5.0$ ); 5 – Джизакские 15.02. и 23.02.84 г. ( $M = 5.0$ ); 6 – Папские 16.02. и 17.02.84 г. ( $M = 5.5$ ); 7 – Газлийское 19.03.84 г. ( $M = 7.2$ ); 8 – Джиргатальское 26.10.84 г. ( $M = 6.3$ ); 9 – Хамзаабадское 26.06.85 г. ( $M = 4.8$ ); 10 – Гиндукушское 29.07.85 г. ( $M = 7.2$ ); 11 – Куэнь-Луньское 23.08.85 г. ( $M = 7.2$ ); 12 – Кайраккумское 13.10.85 г. ( $M = 6.0$ ) и 13 – Тавильдарские 18.02. и 20.02.88 г. ( $M = 5.1$  и 5.5).

рассматриваемый период в Среднеазиатском и сопредельных регионах сейсмических событий конца 1983 – начала 1984 гг., при которых в регионе выделилось сейсмической энергии почти на порядок больше, чем за соответствующее время в прошлом: Афганского 16.12.83 г. ( $M = 5.0$ ) и Гиндукушского 31.12.83 г. ( $M = 5.5$ ) глубокофокусных землетрясений, Джизакских и Папских 15.02. и 23.02. и 17.02.84 г. ( $M = 5.0$  и 5.5 соответственно), а также Вышка-Бурунского 22.02.84 г. ( $M = 5.9$ ) землетрясений и разрушительного Газлийского 19.03.84 г. ( $M = 7.2$ ) тектонического удара. Изотопно-углеродные эффекты, сопровождавшие поступление в пластовый коллектор Ташкентского геодинамического полигона спонтанной углекислоты в период подготовки очаговых зон этих тектонических событий, несмотря почти на порядок большую их удаленность от Ташкентского геодинамического полигона по сравнению с удаленностью последних от плейстосейстовых

областей Назарбекских землетрясений, начали фиксироваться более чем за 2 года до их реализации в сейсмических ударах (рис. 2), причем размах вариаций изотопного состава углерода спонтанной углекислоты по данным измерений ее в образцах, отобранных из скв. № 3, составил 17‰ значений  $\delta^{13}\text{C}$ , из скв. № 6 – 11‰, а из скв. № 7 – 7‰.

Вторая вспышка сейсмической активности, наблюдавшаяся в 1985 г. (рис. 2), при которой в Среднеазиатском регионе также выделилось в среднем сейсмической энергии больше, чем за соответствующее время в прошлом (глубокофокусные тектонические землетрясения Хамзаабадское 28.06.85 г. ( $M = 4.8$ ), Гиндукушское 29.07.85 г. ( $M = 7.2$ ), а также мелкофокусные Куэнь-Луньское 23.08.85 г. ( $M = 7.0$ ) и разрушительное Кайраккумское 13.10.85 г. ( $M = 6.0$ ), по-видимому, произошла на стадии перестройки в Средней Азии (в том числе – в пределах Ташкентского геодинамического полигона) полей деформаций

горных пород после волны тектонических землетрясений конца 1983 - начала 1984 гг. и сопровождалась существенным уменьшением притока в пластовые системы Приташкентского артезианского бассейна глубинного флюида с изотопно-тяжелой спонтанной углекислотой. Следствием последнего, а также удаленности большинства сейсмических событий 1985 г. и их глубокофокусности (исключение составляет только мелкофокусное (10 км) разрушительное Кайракумское тектоническое землетрясение 13.10.1985 г. с эпицентральным расстоянием от места отбора образцов на изотопный анализ не более 105 км) изотопно-углеродные эффекты не были столь значительными, как в реакции на подготовку серии сильнейших в Средней Азии сейсмических событий конца 1983 - начала 1984 гг. (рис. 2).

Единичные же сейсмические удары достаточно широкого класса магнитуд, а также, по-видимому, криповые подвижки горных пород в поле вариаций изотопно-углеродного параметра спонтанной углекислоты из водно-газовых систем, вскрытых наблюдательными скважинами, заложенными в пределах Ташкентского геодинамического полигона, отображают как местные (удаленные не более чем на 50 - 100 км от наблюдательной сети) тектонические землетрясения и криповые подвижки блоков горных пород (см., например, на рис. 2 изотопно-углеродные аномалии в марте - июне 1986 г.), так и сильные (магнитудой более 5) глубокофокусные Памиро-Гиндукушские тектонические землетрясения типа Тавильдарских 18.02. и 20.02.88 г. ( $M = 5.1$  и  $5.0$ ).

Таким образом, на большом статистическом материале хода изотопно-углеродного параметра спонтанной углекислоты, насчитывающем более 2000 определений, полученных за последние 12 - 15 лет в пределах Ташкентского геодинамического полигона, показано следующее.

1. Серии сильнейших сейсмических ударов, имевших место в Среднеазиатском и сопредельных регионах в конце 1983 - начале 1984 гг. и в 1985 г., в которых выделилось на полпорядка или даже на порядок больше сейсмической энергии, чем в тех же регионах за соответствующие промежутки времени в предыдущие и последующие годы, отразились в аномальном ходе изотопно-углеродного состава спонтанной углекислоты, отобранной из скважин, вскрывших водоносные горизонты в отложениях сеномана в пределах Ташкентской прогностической сети. Формирование изотопных аномалий в реакции на эти сейсмические события началось более чем за 2 года до сейсмических уда-

ров, причем градиент величины  $\delta^{13}\text{C}$  последовательно возрастал по мере приближения к сейсмическим ударам.

2. Накопление упругих деформаций в земной коре Среднеазиатского и сопредельных регионов происходит синхронно в громадном объеме корового материала, ядром которого, по-видимому, является Туранская плита. В подвижных областях последней (внутри тектонических линеаментов), а также на границах со смежными крупными структурными элементами создаются локальные очаги напряжений, реализующиеся в последовательных сейсмических ударах. Отражение этих процессов регионально проявляется в субвертикальных глубинных (приуроченных к зонам тектонических разломов) газовой-жидких системах, несущих высокотемпературную (глубинную, ювенильную) изотопно-тяжелую составляющую спонтанных газов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хитаров Н.И., Войтов Г.И., Каспаров С.А. и др. // ДАН. 1972. Т. 204. № 5. С. 1104 - 1107.
2. Осика Д.Г. Флюидный режим сейсмически активных областей. М.: Наука, 1981. 221 с.
3. Войтов Г.И., Моисеева О.Б., Кучер М.И. и др. // ДАН. 1985. Т. 284. № 3. С. 703 - 706.
4. Войтов Г.И., Денисов С.А., Кучер М.И. и др. // ДАН. 1988. Т. 302. № 5. С. 1212 - 1216.
5. Войтов Г.И., Шебердыев С.Ш., Бердыев К.Б., Карпов В.П. // ДАН. 1989. Т. 305. № 1. С. 202 - 206.
6. Войтов Г.И., Милькис М.Р., Кучер М.И. и др. // ДАН. 1986. Т. 290. № 6. С. 1335 - 1338.
7. Султанходжаев А.Н., Чернов И.Г., Латипов С.У. и др. Гидрогеосейсмологические предвестники землетрясений. Ташкент: Фан, 1983. С. 136.
8. Янковская Т.С., Войтов Г.И., Карпов В.П. и др. // ДАН. 1992. Т. 324. № 1. С. 81 - 86.
9. Фридман А.И., Кучер М.И., Шашкин В.М. // ДАН. 1979. Т. 244. № 5. С. 1224 - 1226.
10. Войтов Г.И., Бобров В.А., Кривомазова Н.Г. и др. // ДАН. 1990. Т. 310. № 1. С. 58 - 63.
11. Войтов Г.И., Гохберг М.Б., Адушкин В.В. и др. // ДАН. 1990. Т. 312. № 3. С. 567 - 571.
12. Войтов Г.И., Миллер Ю.М., Нивин В.А. // ДАН. 1992. Т. 322. № 4. С. 681 - 685.
13. Craig H. // Geochim. et cosmochim. acta. 1953. V. 4. № 2/3. P. 53 - 92.
14. Мавлянов Г.А., Уломов В.И. // Узб. геол. журн. 1985. № 3. С. 10 - 13.