

УДК 548.5

О ПАРОКСИЗМАЛЬНОМ ИЗВЕРЖЕНИИ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА ГОРЫ КАРАБЕТОВА 6 МАЯ 2001 Г. (ТАМАНСКАЯ ГРЯЗЕВУЛКАНИЧЕСКАЯ ПРОВИНЦИЯ)

© 2003 г. Академик **О. А. Богатиков**, **Г. И. Войтов**, **Л. Е. Собисевич**,
А. Л. Собисевич, **И. И. Науменко-Бондаренко**, **И. Н. Пузич**, **Г. С. Коробейник**

Поступило 07.03.2003 г.

Пароксизмальная стадия извержения грязевого вулкана горы Карabetова началась 06.05.2001 в 21:00 по местному времени (GMT + 03:00). По данным ближайшей сейсмической станции Анапа, удаленной от горы Карabetова на 50 км, событие сопровождалось слабой сейсмической активностью региона (энергетического класса до 4.9). Геологические обследования последствий извержения, начатые непосредственно после взрыва, показали (по рассказам очевидцев [1]), что пароксизм сопровождался сильным гулом, выбросами пламени и столбами дыма и пыли высотой до 100 м. Анализ крупномасштабных аэрофотоснимков позволил выделить в эпицентре взрыва кольцевые структуры, проявляющиеся в кратерном поле, и линеаменты, пересекающие склоны и поверхность вулкана. Центр извержения приурочен к линеаменту, уходящему на северо-запад, длина которого составляет порядка 1700 м. Второй очаг взрыва вулкана и извержения грязи, образующей поле светлой брекчии, располагается на расстоянии около 500 м от первого очага. Примерный объем этой слабо сцементированной брекчии составляет около $4 \cdot 10^3$ м³.

В результате извержения поверхность очаговой зоны вулкана оказалась сильно деформированной и разорванной густой сетью проводящих сухие газы трещин. На месте центра взрыва образовался округлый массив сопочной брекчии площадью до 500 м² и объемом около 800 м³. Особенностью извержения следует считать образование кирпично-красных шлаков, в которые преврати-

лись глинистые породы при горении сопочных газов (при температуре не менее 1000–1200°C). Глинистые вулканические бомбы и литофицированные вулканические брекчии оказались разбросанными взрывом на площади более 24000 м².

В сентябре 2002 г. мы выполнили отборы сухих сопочных газов на территории грязевого вулкана горы Карabetова для последующего изучения их химического и изотопно-углеродного составов.

Химический состав газов (СН₄ и его гомологов, N₂, СО₂, Н₂, Не) анализировался на хроматографе “Цвет-500”, оснащенном детекторами газа по их теплопроводности и ионизации в пламени водорода. Малые концентрации углеводородных газов анализировались на детекторах ионизации в пламени водорода. Погрешность хроматографического анализа составляет ±2% от измеряемой величины, она увеличивается до ±30% при падении концентраций гомологов метана до 10⁻⁶%. Погрешность хроматографического анализа неуглеводородных газов и высоких концентраций СН₄ составляет ±3% от измеряемых величин (табл. 1).

Изотопный состав углерода СО₂ и СН₄ определялся масс-спектрометрическим методом с помощью прибора типа МИ-1201 (погрешность не более ±0.2‰). Результаты анализа (табл. 2) приводятся в промилле значений δ¹³С, отнесенных к международному стандарту PDB.

Известно [2–4], что для некоторых грязевых вулканов Таманской грязевулканической провинции характерна тесная корреляция между нестабильностями химического и изотопно-углеродного составов грифонных газов и числом сейсмических событий с магнитудами более 4.5–5.0 в северо-западном Предкавказье. Известно также, что гипоцентры большинства сейсмических событий в пределах этого и других регионов грязевого вулканизма локализованы на глубинах 15–20 км. Так, “корни” крупнейших грязевых вулканов Юго-Западной Туркмении, Азербайд-

*Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва
Объединенный институт физики Земли
им. О.Ю. Шмидта
Российской Академии наук, Москва
Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского
Российской Академии наук, Москва*

Таблица 1. Химический состав углеводородов сухих газов из грифона грязевого вулкана горы Карабетова (отбор 05.09.2002 г.)

№ пробы	Концентрация, %									
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	<i>h</i> -C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈	<i>i</i> -C ₅ H ₁₂	<i>h</i> -C ₅ H ₁₂
3	57.78	Не определялись								
4	64.35	0.53	Не обн.	0.2037	Не обн.	0.0502	0.0461	0.0024	0.0594	0.0278
5	70.20	0.61	Не обн.	0.2333	Не обн.	0.0614	0.0708	0.0021	0.0584	0.0282
6	74.17	Не определялись								

Таблица 2. Химический состав углеводородов сухих газов из грифона грязевого вулкана горы Карабетова (отбор 05.09.2002 г.)

№ пробы	Концентрация, %					Изотопный состав δ ¹³ C, ‰PDB		
	CO ₂	CH ₄	He	H ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ + C ₃	CO ₂
3	14.16	38.45	0.005	Не обн.	28.06	-31.7		Не обн.
4	14.21	48.55	0.004	Не обн.	21.43	-31.5	-30.5	»
5	14.87	66.9	0.007	0.002	14.92	-31.6		»
6	17.39	69.28	0.003	Не обн.	8.45	-31.7		-20.7

жана, а также Тамани, по-видимому, уходят в отложения осадочных пород мезозоя [5, 6]. Заметим, что последние или локализованы непосредственно в глубинных разломах, или приурочены к областям их влияния. Например, грязевый вулкан Кипящий бугор в Юго-Западной Туркмении входит в цепочку грязевых вулканов, заполняющих Гораньдаг-Окаремскую зону глубинных разломов, уходящих на территорию Ирана [7]. В свою очередь грязевый вулкан Дашгиль Шемахино-Кобыстанской грязевулканической области Азербайджана расположен на оси западной периклинали одноименной складки, являющейся частью Алятской гряды, осложненной крутыми продольными тектоническими нарушениями [8] и т.д.

Проявления грязевого вулканизма пространственно и генетически связаны с районами развития диапиризма в осадочной толще. Существуют различные модели, объясняющие природу явления грязевого вулканизма как разгрузку глубоких флюидов под действием аномально высокого пластового давления [15], дилатансии и компакци [14]. Важную роль играют также газы в геологических слоях, являющихся источником продуктов грязевого вулканизма, что во многом определяет режим грязевулканической деятельности. Чередование мощных взрывных извержений и периодов относительного покоя (свободного истечения) во многом определяется особенностями газогенерации в недрах.

На примере взрыва грязевого вулкана горы Карабетова уточним масштабы выхода на дневную поверхность углеродистых газов в пароксиз-

мальной стадии извержения вулкана. Заметим, что полученные ранее в основном на примерах азербайджанских грязевых вулканов данные масштабов указанного явления расходятся [8] на 2 или даже более порядков величины по сравнению с ранее определявшимися величинами этого параметра [8–11].

Среднее количество газа (\bar{q}), расходуемое на вынос единичного объема брекчии, определяется из соотношения [8]

$$\bar{q} = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} qf(x)dx, \quad (1)$$

где d_{\min} и d_{\max} – минимальный и максимальный диаметры обломков, $f(x)$ – дифференциальная функция распределения вулканической брекчии по размерам; будем предполагать, что размеры обломков равномерно распределены в интервале 0.001–0.1 м.

Согласно [8], общее количество газа (\bar{Q}), выделившееся при выносе данного объема брекчии ($W = 800 \text{ м}^3$), может быть оценено из выражения $\bar{Q} = \bar{q}W$,

$$\bar{q} = \frac{3\rho_G \cdot H}{d_{\max} - d_{\min}} \times \left[\ln \frac{d_{\max}}{d_{\min}} + \frac{2}{v_0} \sqrt{\frac{4(g+a)(\rho_s - \rho_G)}{3\lambda\rho_G}} (\sqrt{d_{\max}} - \sqrt{d_{\min}}) \right], \quad (2)$$

ρ_G – плотность газа в области его выхода на поверхность, $\lambda = 0.5$, $a = v_0^2/2H$, ρ_s – плотность обломков, g – ускорение силы тяжести, v_0 – начальная скорость вылета обломков (~10 м/с). Для $v_0 = 10$ м/с и $H = 5$ км, $\bar{q} \approx 5 \cdot 10^6 \frac{\text{м}^3 \text{ газа}}{\text{м}^3 \text{ брекчии}}$, $\bar{Q} \approx 4 \cdot 10^9 \text{ м}^3$.

Пусть q_0 , q – начальное и текущее значения расхода газа, Q_0 – начальный запас, Q – количество вытекающего газа. Тогда, согласно [8],

$$q = q_0 \left(1 + \frac{k-1}{2} \frac{q_0}{Q_0} t \right)^{-\frac{k+1}{k-1}}, \quad (3)$$

$$Q = Q_0 \left(1 - \left(1 + \frac{k-1}{2} \frac{q_0}{Q_0} T \right)^{-\frac{2}{k-1}} \right),$$

где $k = 1.3$ – показатель адиабаты, t – текущее время, T – период извержения в режиме свободного истечения [8]. Начальный расход $q_0 = v_G \rho_G s$, где s – суммарное сечение всех проводящих каналов (~1% от общей площади грязепооявления $2.4 \cdot 10^4 \text{ м}^2$). Если теперь положить $v_G \approx 400$ м/с, $\rho_G = 3 \text{ кг/м}^3$, то $q_0 \approx 1 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$. Принимая во внимание, что извержение длилось около 50 мин, получаем $Q_0 \approx 3 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ (см. рис. 1).

Химически сухие газы грязевого вулкана горы Карабетова (табл. 1, 2) представляют собой смеси углеводородов ряда метана и его гомологов до изо- и нормальных пентанов и гексанов, азота, углекислоты, а также гелия, а в единичных образцах – молекулярного водорода. По содержанию гелия газы грязевого вулкана горы Карабетова представляют собой природные смеси, генезис которых связывается с осадочно-метаморфическим комплексом пород условного фундамента или породами гранитного комплекса литосферы. Газы, даже спустя более года после взрыва грязевого вулкана, химически все еще остаются нестабильными, т.е. процессы перманентной генерации и восстающего массопереноса структур нефтяного ряда от очага их генерации до приземной тропосферы сопровождаются значительными изменениями их химического состава (табл. 1). Особенно нестабильны содержания метана и азота, которые варьируют в пределах десятков процентов по объему. Более стабильны содержания гомологов метана.

Относительно стабилен также изотопный состав углерода метана (табл. 2), вариации которого укладываются в пределы приборных погрешностей изотопного анализа углерода, т.е. в 0.1% PDB, что свидетельствует или об ограниченных размерах, или о единственности очага его генера-

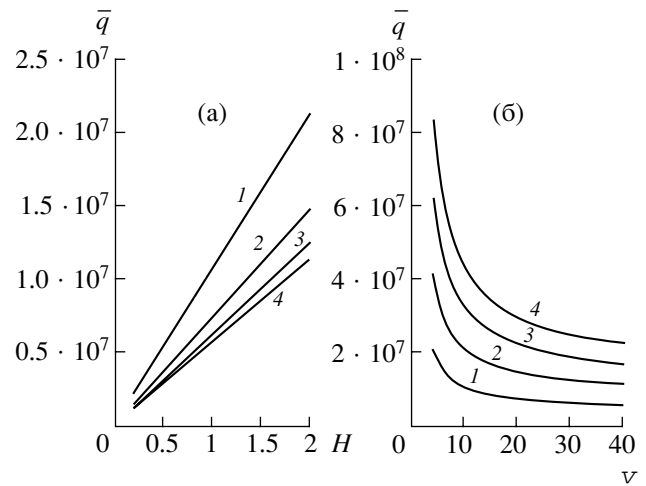


Рис. 1. Средний расход газа на вынос брекчии: а – в зависимости от глубины очага (10^4 м) для различных значений скорости истечения $v = 10, 20, 30, 40$ м/с (1, 2, 3, 4 соответственно), б – в зависимости от скорости истечения (м/с) для различной глубины очага $H = 10, 20, 30, 40$ км (1, 2, 3, 4 соответственно).

ции с изотопно-тяжелым углеродом, на 10% превышающим изотопный состав углерода метана средней его пробы из зоны катагенного преобразования органического вещества осадочных пород [12]. Альтернативой последнему может быть допущение, что питающая область его разгрузки в тропосферу Земли из очага генерации под грязевым вулканом горы Карабетова находится в отложениях палеозоя, откуда метан и фрагменты высокометаморфизованных пород выносятся на поверхность, по-видимому, в пароксизмальном вулканизме, которые неоднократно обнаруживались в брекчии грязевых вулканов исследуемого региона [6], или даже из подкоровых глубин вместе с гомогенизированными по углероду породами мантийных глубин [13].

Отметим одну характерную особенность изотопного состава углерода углеводородных газов нефтяного ряда грязевого вулкана горы Карабетова, где условия их генерации сопровождались относительным утяжелением изотопного состава углерода суммы этана и пропана (табл. 2) по сравнению с изотопным составом углерода метана тех же образцов. Такой эффект, по-видимому, связан с процессами изотопного фракционирования углеродистых структур нефтяного ряда в условиях высоких температур и давлений в очагах их генерации. По сейсмическим данным [15], очаги генерации структур нефтяного ряда и очаги гипоцентров тектонических землетрясений пространственно сопряжены и работают в едином ритме.

Таким образом, 1) масштабность явления пароксизмального извержения грязевого вулкана

горы Карabetова предопределена положением последнего в структуре наиболее тектонически активных линеаментов северо-западного сектора Таманской грязевулканической провинции, проявляющегося в напряженном поле сейсмоакустической активности недр последнего; 2) сухие газы, поступающие из грифонов в приземную тропосферу, по химическому составу представляют собой смеси углеводородов ряда метана, азота и двуокиси углерода, а также гелия и водорода, т.е. газы, наиболее близко отвечающие газам условного фундамента геолого-тектонических структур северо-западного Предкавказья; 3) изотопно углерод углеводородов грифонных газов грязевого вулкана горы Карabetова также наиболее близко отвечает изотопному составу углеводородных газов условного фундамента и геолого-тектонических структур северо-западного Предкавказья.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 03-05-64020) и Фонда содействия отечественной науке (Russian Science Support Foundation).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кухарев Н.Л., Соколов А.А., Шереметьев В.М. и др. В сб.: Фундаментальные и прикладные проблемы мониторинга и прогноза техногенных и социальных катастроф. "Стихия-2002", 14-22 сентября 2002 г. Севастополь: СИНЭКО, 2002. С. 112-114.
2. Рудаков В.П., Войтов Г.И., Коробейник Г.С., Миллер Ю.М. // ДАН. 1998. Т. 361. № 3. С. 397-401.
3. Алексеев В.А., Алексеева Н.Г., Войтов Г.И. // ДАН. 2000. Т. 371. № 2. С. 227-230.
4. Войтов Г.И. // Геохимия. 2001. № 4. С. 422-433.
5. Ковалевский С.А. Грязевые вулканы Южного Прикаспия. Баку: Азгостопиздат, 1940. 200 с.
6. Шарданов А.К., Мальшик В.Т., Пекло В.П. Геологический сборник: Тр. Краснодар. фил. ВНИИ. М.: Недра, 1962. В. 10. С. 53-66.
7. Назаров Н.А. Грязевые вулканы Кеймир-Чекишлярского района Юго-Западной Туркмении. Ашхабад: Изд-во АН ТССР, 1957. 188 с.
8. Иванов В.В., Гулиев И.С. // Бюл. МОИП. Сер. геол. 1986. Т. 66. В. 1. С. 72-80.
9. Ахмедов Г.А., Зейналов М.М., Тагиева Э.А. Геология СССР. Т. 47. Шемахино-Кобыстанская область. М.: Недра, 1976. С. 121-139.
10. Дадьшев Ф.Г. Углеводородные газы грязевых вулканов Азербайджана. Баку: Азернешт, 1963. 68 с.
11. Галимов Э.М. Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. М.: Недра, 1973. 384 с.
12. Валяев Б.М., Гринченко Ю.И., Ерохин В.Е. и др. // Литология и полез. ископаемые. 1985. № 1. С. 72-87.
13. Каракин А.В. // Рос. журн. наук о Земле. 2001. Т. 3. № 4.
14. Холодов В.Н. // Литология и полез. ископаемые. 1987. № 4. С. 12-27.
15. Лаверов Н.П., Богатиков О.А., Гурбанов А.Г. и др. В сб.: Глобальные изменения природной среды и климата. Отд. вып. М., 1996. С. 103-124.