

ОЦЕНКА РАСЧЕТНОЙ ВЕЛИЧИНЫ МАГНИТУДЫ МАКСИМАЛЬНОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ

Б.М.Панахи

*Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А*

В данной работе предпринята попытка оценки энергии извержений грязевых вулканов и оценки повторяемости извержений. Оценка энергии извержений определялась по объему сопочной брекчии, изверженной на поверхность Земли. Проведенные оценки величины K позволили рассмотреть зависимость числа извержений N_K от величины их энергетических классов K . Отмечается линейный характер графика повторяемости, который хорошо согласуется с данными, полученными для магматических вулканов как для всего мира, так и для отдельных регионов. Получены величины максимальной магнитуды извержений для периодов 100, 1000 и 10000 лет.

Введение

В областях развития грязевых вулканов помимо угрозы, обусловленной землетрясениями, существует также угроза эффекта колебаний, связанных с извержениями. Интенсивность этих колебаний может достигать VI-VII, иногда VIII баллов MSK. При Общем Сейсмическом Районировании (ОСР) в целом и оценках сейсмической угрозы в высокосейсмичных областях в частности оценки сейсмической угрозы, обусловленные эруптивной деятельностью грязевых вулканов, не будут доминирующими. Иное содержание они приобретают при детальных работах в областях слабой и умеренной сейсмичности, когда оценка угрозы, связанной с извержениями грязевых вулканов, имеет существенное значение для окончательного расчета максимальной сейсмической угрозы. Иными словами, оценка интенсивности сейсмического эффекта, связанного с извержениями грязевых вулканов, может представлять значительный интерес на стадии Детального Сейсмического Районирования (ДСР), выполняемого в масштабе 1:1000000 - 1:200000, и сейсмического микрорайонирования территорий отдельных объектов в масштабе 1:50000 и крупнее.

При оценках совокупности ожидаемых сейсмических воздействий на территориях проектирования важнейших объектов, производимых в вышеуказанных масштабах, для ДСР могут быть выявлены опасные зоны, связанные с деятельностью грязевых

вулканов. В связи с этим оценка сейсмической угрозы в этих областях развития грязевых вулканов должна включать оценки эффекта землетрясений, а также и оценки максимальной интенсивности сотрясений, связанных непосредственно с извержениями грязевых вулканов. Очевидно, что такая оценка может быть осуществлена на основе количественных подходов и не должна ограничиваться оценками интенсивности известных, уже проявившихся ранее вулканов по статистическому принципу. Поскольку важным качеством карт ОСР является их прогнозный характер, то и в отношении оценок интенсивности сотрясений, вызванных деятельностью грязевых вулканов, необходимо сохранять такой же подход. В этом отношении оценки интенсивности сотрясений, вызванных деятельностью грязевых вулканов, достаточно актуальны и имеют высокое практическое значение.

Особенности методического подхода

Применение методов количественной оценки сейсмической активности для характеристики сейсмической угрозы, связанной с деятельностью грязевых вулканов, связано с рядом проблем. Среди многочисленных сведений о деятельности грязевых вулканов лишь для небольшой их части имеются инструментальные данные региональных сейсмических станций Азербайджана. Энергетическая характеристика извержений грязевых вулканов осуществлена лишь для их ограниченного количе-

ства, не превышающего 10 (Рогожин, Борисов, 1996). В связи с этим в случае отсутствия информации об энергетическом ранжировании грязевых вулканов построение карт активности и плотности энергии фактически сводится к построению карт плотности грязевых вулканов. Очевидно, что последние не позволяют проводить оценки режима активности грязевого вулкана с целью расчета $M_{\max}$ для извержений грязевых вулканов.

Макросейсмическая информация об интенсивности сотрясений при извержении грязевых вулканов практически отсутствует. Это обусловлено двумя основными причинами. Во-первых, большая часть грязевых вулканов Азербайджана расположена в относительно редко заселенной местности, в связи с чем информация о их деятельности поступает с некоторым опозданием и в объеме, недостаточном для анализа макросейсмических данных. Во-вторых, как уже отмечалось, сотрясения, генерируемые в процессе извержения грязевого вулкана, из-за малой глубины очага извержения и его низкой энергии по сравнению с землетрясениями имеют узколокальный эффект, быстро затухающий с расстоянием. Надо полагать, что совокупность указанных причин затрудняет осуществление статистической характеристики интенсивности сотрясений почвы при извержениях.

Таким образом, необходимо установление потенциальных грязевых вулканов и зон их вероятного возникновения. Для этого аналогично сеймотектоническому методу представляется возможным использование приемов экстраполяции (Губин, 1976), а именно, если в однородной зоне разрывов где-либо было зарегистрировано извержение грязевого вулкана, то возможность такого извержения экстраполируется на геологически аналогичные участки разрывов этой зоны. Такая экстраполяция возможна в зоны других сходных разрывов, связанных с первой единым современным тектоническим процессом.

Очевидно, что выявление мест будущих извержений представляет собой крупную комплексную научную задачу, предусматривающую проведение детальных геофизических исследований по изучению строения и вещественного состава осадочного чехла и более глубоких разделов коры.

Количественная оценка сотрясений

Количественное выражение активности каждого извержения является необходимым условием оценок интенсивности максимальной угрозы, связанной с его деятельностью. Очевидно, что наиболее объективной представляется дифференциация активности извержений по их энергетическому потенциалу. В этой связи нами предпринята попытка оценки энергии извержений грязевых вулканов. Каждое извержение определяется выходом сопочной брекчии на поверхность Земли. Поэтому его естественной количественной мерой может служить масса сопочной брекчии m , поступившая на поверхность за все время извержения. Эта величина может быть определена по соотношению

$$M = \Sigma(\rho_i, V_i),$$

где

ρ_i, V_i - плотность и объем твердых, жидких и газообразных продуктов извержения грязевого вулкана.

Величина, численно равная десятичному логарифму общей массы продуктов извержения m , вышедших на поверхность в течение акта извержения грязевого вулкана, может количественно характеризовать извержение (Токарев, 1987):

$$K = \lg(m, kg).$$

Для характеристики магматических вулканов такая оценка активности впервые введена П.И.Токаревым (1987). Им за полную энергию извержения принята тепловая энергия, равная массе магмы, умноженной на ее теплосодержание:

$$E = m[C_M(T_M - T_B) + q],$$

где

C_M - теплоемкость магмы,

T_M - температура магмы,

T_B - температура воздуха,

q - теплота кристаллизации магмы.

Таблица 1

Рассчитанные значения К для некоторых извержений грязевых вулканов

№ №	Вулкан	Дата	К	№ №	Вулкан	Дата	К
1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Янан-Тава	1825	10.5	58.	о.Зенбил	4.9.1961	9.7
2.	Боздаг-Гобу	9.12.1827	10.1	59.	Келаны	15.9.1962	8.6
3.	Отманбоздаг	3.2.1854	10.7	60.	Айрантекен	7.10.1964	9.2
4.	О.Гил	24.6.1860	7	61.	Гушчи	11.9.1965	8.6
5.	Локбатан	17.1.1887	8.4	62.	Отманбоздаг	1.10.1965	8.6
6.	Бузовнинская сопка	05.1892	6.9	63.	Готурдаг	15.10.1966	8.3
7.	Шихзагирли	12.2.1902	7	64.	Бахар	20.3.1967	9
8.	Отманбоздаг	22.11.1904	10.1	65.	Меликчобанлы	3.10.1967	8
9	Локбатан	3.2.1915	6-7	66.	Кейреки	14.4.1968	4.6
10.	Кейреки	17.2.1915	6.6	67.	Айрантекен	10.6.1969	7.4
11.	Сабаил	27.7.1915	6.6	68.	Келаны	12.12.1969	9.1
12.	Гушчи	11.1917	8	69.	Чеилдаг	4.6.1970	7.7
13.	о.Дашлы (Камень Игнатия)	7.10.1920	9	70.	Сабаил	25.6.1970	7.4
14.	Локбатан	7.1.1923	7	71.	Демирчи	12.11.1971	4-5
15.	о.Гарасу	8.2.1923	8.2	72.	Локбатан	1.10.1972	8
16.	Бузовнинская сопка	8.10.1923	7.4	73.	Азяхтарма	1973	6.5
17.	Ахтарма-Пула	1923	8.2	74.	Боздаг-Гобу	9.5.1974	7.8
18.	Торагай	13.3.1924	8.8	75.	Шихзагирли	1974	7.7
19.	Боздаг-Гекмалы	17.5.1926	6.8	76.	Агноур	1.5.1976	8
20.	Локбатан	14.8.1926	7.4	77.	Дашмардан	26.9.1976	8.2
21.	о.Гил	13.11.1926	9.1	78.	Сарынча	10.10.1976	8
22.	Чигил-дениз	1.5.1927	6.7-8	79.	о.Гарасу	28.3.1977	9.6
23.	Чигил-дениз	13.11.1927	9.1	80.	Айрантекен	18.9.1977	9
24.	Чигил-дениз	5.11.1928	8.8	81.	Локбатан	6-7.10.1977	8.7
25.	Шихзагирли	24.11.1929	7.4	82.	Готурдаг	1977	7.5
26.	о.Санги-Мугань	11.4.1932	8.7	83.	Меликчобанлы	1977	8.1
27.	Чапымыш	28.5.1933	7	84.	Локбатан	31.3.1980	8.8
28.	Локбатан	23.2.1935	8.1	85.	Шихзагирли	2.11.1980	8.2
29.	Сарынча	15.6.1936	8.9	86.	Ахтарма-Пашалы	1982	8.5
30.	о.Гил	28.9.1937	7	87.	Нардаранахтарма	1982	8
31.	Чигил-дениз	8.11.1939	8.8	88.	Джагирлы	1983	8
32.	о.Хара-Зия	11.8.1940	9.8	89.	Нардаранахтарма	1984	8
33.	Локбатан	1.3.1941	7.2	90.	Хамамдаг	25.5.1984	7.6
34.	Шихзагирли	3.7.1946	8.3	91.	Бахар-дениз	06.1984	4-5
35.	Хамамдаг	09.1947	8.6	92.	Торагай	1985	7.8
36.	Торагай	13.11.1947	8.1	93.	Ахтимер	1985	8.5
37.	Ахтарма-Пашалы	25.11.1948	5-6	94.	Нардаранахтарма	1986	8.2
38.	Шихзагирли	3.4.1949	8.3	95.	Гушчу	08.1986	7.8
39.	Большой Книзадаг	12.5.1950	8.4	96.	Шорсулу	1986	6.3
40.	Бузовнинская сопка	18.7.1950	7.3	97.	Шихзагирли	04.1987	8.1
41.	Чигил-дениз	4.12.1950	8	98.	Боздаг-Гобу	24.6.1987	7.4
42.	Каракюре	18.7.1951	8.4	99.	Боздаг-Гездек	1988	7.9
43.	Отманбоздаг	1951	7.9	100.	Шокихан	1988	7.1
44.	Гушчи	1952	8	101.	Айрантекен	1988	6
45.	Кейреки	08.1952	9.1	102.	Ахтимер	1988	7.7
46.	Бузовнинская сопка	26.2.1953	7.6	103.	Кейреки	26.2.1989	7
47.	Бузовнинская сопка	10.9.1953	7.9	104.	Солахай	1989	8.5
48.	Локбатан	30.6.1954	8.3	105.	Шокихан	1989	7.5
49.	Дашмардан	21.11.1954	9.6	106.	Готур	1989	7.5
50.	Шихзагирли	30.1.1955	8.3	107.	Айрантекен	22.7.1990	7
51.	Боздаг-Гобу	27.8.1957	6.6	108.	Заахтарма	27.6.1990	8.7

Продолжение таблицы 1

52.	Бахар-дениз	15.10.1958	8	109.	Шихзагирли	1991	6.5
53.	о.Хара-Зирия	21.10.1959	7	110.	Шихзагирли	1992	9.8
54.	Локбатан	17.12.1959	8	111.	Кушчи	12.10.1992	6.6
55.	Чигил-дениз	25.12.1959	8.3	112.	Бахар	3.10.1992	8.6
56.	Дурандаг	18.6.1960	9.2	113.	Кушчи	12.10.1992	6.6
57.	о.Хара-Зирия	23.7.1960	8.8	114.	Бахар	3.10.1992	8.6

Очевидно, что данное соотношение может быть использовано и для оценок полной энергии извержения грязевых вулканов. В этом случае перечисленные выше параметры будут иметь вполне определенное численное значение. Так, удельная теплоемкость сопочной брекчии составит 840 дж/кг×к (Рахманов, 1987), температура воздуха на поверхности Земли - 300°Т. Надо полагать, что q в случае с извержением грязевых вулканов не учитывается.

Согласно (Рахманов, 1987), разность температур составляет 120° К. В этом случае энергия извержения составит $E = 1.0 \times 10^5$ т. Таким образом, полная энергия извержения грязевого вулкана является функцией массы изверженной сопочной брекчии.

Десятичный логарифм полной энергии извержения грязевого вулкана $K = \log E$ может по аналогии с землетрясениями (для близких слабых событий $M < 5$) характеризовать энергетический класс сейсмических колебаний, возникающих при извержении грязевых вулканов.

По определениям З.З.Султановой (1986), энергия извержений грязевых вулканов не превышает энергии землетрясений энергетического уровня $K=9.6$. По данным Ф.Т.Кулиева, энергия извержения грязевого вулкана Локбатан (01.10.1972) соответствовала энергии тектонического землетрясения энергетического класса $K=8.9$ (Якубов и др., 1975). Энергия вулканических (магматических) землетрясений по сравнению с энергией сотрясений, вызванных извержениями грязевых вулканов, характеризуется несколько более высокими величинами, в основном не превышающими 10^{10} - 10^{11} дж. В некоторых случаях энергия вулканических землетрясений достигала величины 10^{12} - 10^{13} дж (Зобин, 1979).

Нами рассчитана величина энергетического класса K колебаний, связанных с извержениями в пределах Юго-Восточного Azerbaijan. Основу расчетов составил каталог зафиксированных извержений грязевых вулканов (Якубов и др., 1974).

Результаты определений K представлены в виде таблицы 1. Для некоторых извержений имеются инструментальные определения величины энергетического класса. Характерно, что отмечается хорошая их сходимость с расчетными значениями K (Панахи, Рахманов, 1998).

Оценки максимальных извержений

До настоящего времени количественных характеристик извержений грязевых вулканов практически не проводилось. Предпринятые выше оценки величины K позволяют впервые рассмотреть вопрос о повторяемости извержений, иными словами, рассмотреть зависимость числа извержений N_K от величины их классов K . Распределение извержений грязевых вулканов по величине энергетического класса приведено в таблице 2. Для количественных оценок повторяемости нами использованы кумулятивные величины количества извержений ΣN . Нормирование осуществлялось для периода в 168 лет на площади 16.800 кв.км (область развития грязевых вулканов Azerbaijan).

Эти результаты также представлены в таблице 2. Данные таблицы представлены в графической форме на рисунке. Судя по графику, для извержений с $K > 8$ зависимость $\Sigma N^*(K)$ имеет линейную форму:

$$\lg N = aK + b,$$

где

N - число извержений,

a и b постоянные коэффициенты.

Таблица 2

Данные для построения графика повторяемости извержений грязевых вулканов

№	Период	Время	Класс, К	Количество	Кумулятивное количество	Нормированное ΣN^*	$\lg \Sigma N^*$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1825-1992	168	7	24	114	0.04	-1.39
2	“	“	8	52	90	0.032	-1.5
3	“	“	9	27	38	0.013	-1.87
4	“	“	10	8	11	0.0039	-2.41
5	“	“	11	3	3	0.001	-2.97

Судя по графику, в пределах рассматриваемой области один раз в 100 лет может произойти извержение с энергией $M = 2.8$, которое по аналогии с оценками повторяемости землетрясений можно назвать проектным извержением. Тогда извержение с энергией $M = 5.8$, могущее произойти один раз в 10000 лет, можно также по аналогии назвать - максимальным расчетным извержением. Извержение с $M = 4.4$ может повторяться один раз в 1000 лет. Трансформация величины энергетического класса в значения магнитуды осуществлялось на основании корреляционного соотношения, связывающего эти величины:

$$K = 1.8M + 4.$$

Отмечаемая линейность графика повторяемости для больших извержений грязевых вулканов, очевидно, является общей закономерностью и хорошо согласуется с данными, полученными для магматических вулканов как для всего мира, так и для отдельных регионов (Гущенко, 1979; Токарев, 1987; Simkin et al., 1981).

Заключение

Таким образом, для более 100 извержений грязевых вулканов рассчитаны величины энергетического класса, и составлен график повторяемости извержений для восточного Азербайджана. Установлено, что прогнозная величина магнитуды максимальных извержений составляет $M = 2.8$, $M = 4.4$ и $M = 5.8$ для периодов в 100, 1000 и 10000 лет соответственно.

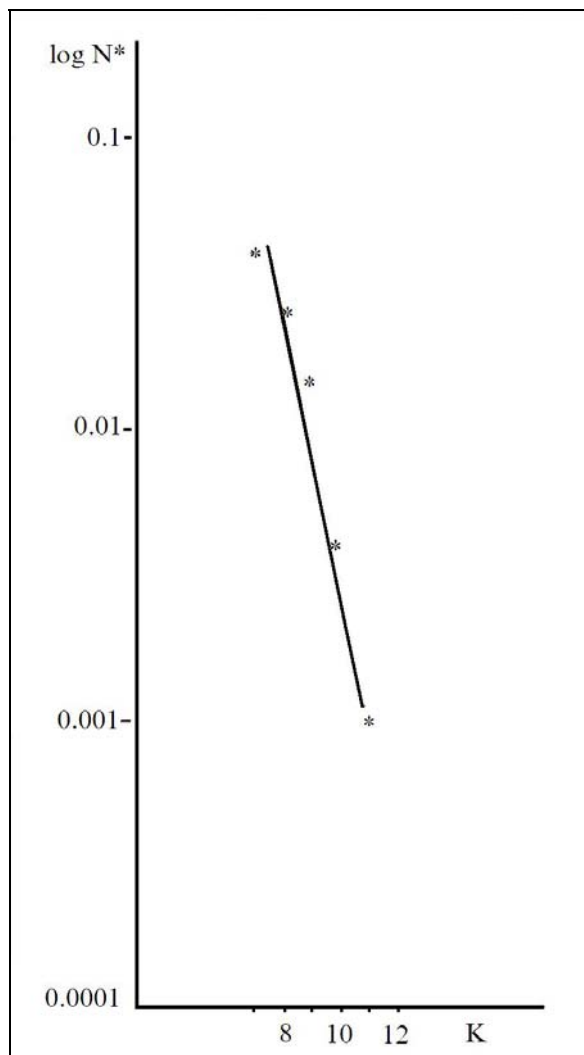


График повторяемости извержений грязевых вулканов Восточного Азербайджана и прилегающей части Каспийского моря

ЛИТЕРАТУРА

- ГУБИН, И.Е. 1976. О картах сейсмического районирования с сейсмогенными зонами. В кн.: *Сеймотектоника некоторых районов юга СССР*. Наука. Москва. 6-25.
- ГУЩЕНКО, И.И. 1979. Извержения вулканов мира. Наука. Москва.
- ЗОБИН, В.М. 1979. Динамика очага вулканических землетрясений. Наука. Москва.
- ПАНАХИ, Б.М., РАХМАНОВ, Р.Р. 1993. Грязевулканические землетрясения. *Вулканология и сейсмология*, 2, 98-103.
- ПАНАХИ, Б.М., РАХМАНОВ, Р.Р. 2000. Сейсмичность областей развития грязевых вулканов (Азербайджан и регион Каспийского моря). В: *Материалы международного семинара*. Научный мир. Москва. 111-128.
- РАУТИАН, Т.Г. 1988. Определение параметров субочагов землетрясений и их интерпретация. *Вопросы инженерной сейсмологии*, 29.
- РАХМАНОВ, Р.Р. 1987. Грязевые вулканы и их значение в прогнозировании газонефтеносности недр. Недра. Москва.
- РОГОЖИН, Е.А., БОРИСОВ, Б.А. 1986. Сейсмодислокации в эпицентральных зонах землетрясений Западной Туркмении. Детальные инженерно-сейсмологические исследования. *Вопросы инженерной сейсмологии*. 27, 116-135.
- СУЛТАНОВА, З.З. 1986. Ощутимые землетрясения Азербайджана. 1966-1982 гг. Элм. Баку.
- ТОКАРЕВ, П.П. 1987. Характеристика и повторяемость вулканических извержений. *Вулканология и сейсмология*, 6, 110-118.
- ЯКУБОВ, А.А., АЛИ-ЗАДЕ, А.А., РАХМАНОВ, Р.Р., МАМЕДОВ, Ю.Г. 1974. Каталог зафиксированных извержений грязевых вулканов Азербайджана (за период 1810-1974 гг.). Баку.
- ЯКУБОВ, А.А., КУЛИЕВ, Ф.Т., ИСМАИЛ-ЗАДЕ, Т.А. 1975. Грязевой вулкан Локбатан и его извержение 1 ноября 1972 г. *Изв. АН СССР, сер. геол.*, 12, 116-119.
- SIMKIN, T., SIEBERG, L., McCLELL, L., BRIDGE, D., NEWHELL, C., LATTER, I. 1981. Volcanoes of the World. Smith. Inst., Hutchinson Ross. Publ. Comp.

Рецензент: член-корр. НАН Азербайджана П.З.Мамедов