

УДК 551.521

Л.С. Ивлев, В.И. Давыдова-Мартинес, О.А. Варгас, А. Мартинес

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЕЙ, ОЗОНА И СЕРНИСТОГО ГАЗА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ В ЗАПАДНОЙ МЕКСИКЕ

Измерены изменчивость ультрафиолетовой солнечной радиации, концентрации озона и сернистого газа, дисперсности и элементного состава аэрозолей в приземном слое атмосферы в г. Гвадалахара (Западная Мексика) в период перед и во время землетрясения 9 октября 1995 г. Обнаружены аномалии суточного хода и интенсивности УФ-радиации, концентрации озона, сернистого газа и аэрозолей, элементного состава аэрозолей непосредственно перед и во время землетрясения.

В период с 5 по 9 октября 1995 г. в Гвадалахаре были проведены круглосуточные комплексные наблюдения интенсивности ультрафиолетовой радиации, аэрозолей, озона и сернистого газа в приземном слое атмосферы, сопровождавшиеся стандартными метеорологическими наблюдениями. 9 октября в 9 ч 10 мин произошел сильный толчок около 7 баллов по Рихтеру в штатах Колима и Халиско с центром у побережья Тихого океана (вблизи Мансанильо).

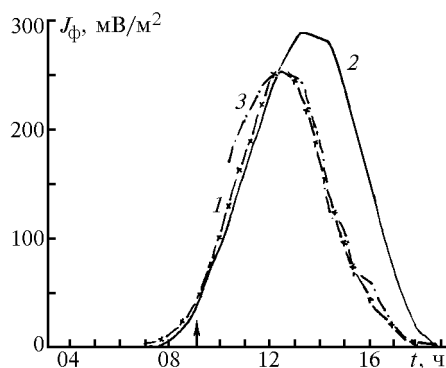


Рис. 1. Суточный ход интенсивности приходящей ультрафиолетовой радиации в центре Гвадалахары (Обсерватория астрофизики и метеорологии). Кривые 1, 2, 3 соответствуют измерениям 7, 8, 9 октября 1995 г.

Представляло несомненный интерес использование полученных экспериментальных данных для анализа влияния землетрясения или предшествующих ему процессов на измеряемые авторами характеристики. Не было обнаружено существенного влияния землетрясения на дневной ход интенсивности ультрафиолетовой радиации (рис. 1), хотя и представляется интересным наблюдение смещения максимума интенсивности падающей радиации 8 октября на более поздний срок, чем 7 и 9 октября. Небольшое уменьшение интенсивности в максимуме кривой 9 октября примерно на 10–15 кВт/м², возможно, обусловлено увеличением общего содержания пыли и сернистого газа в атмосфере.

Наблюдения сернистого газа до 9 октября не выявили определенного суточного хода содержания данного газа в приземном слое в Гвадалахаре. Максимумы SO₂ возникали нерегулярно и, возможно, определялись в первую очередь направлением ветра. Наибольшие значения концентрации сернистого газа наблюдались обычно в вечерние и ночные часы и не превышали значений 300 мкг/м³. В ночь с 8 на 9 октября было зафиксировано неожиданно очень высокое повышение концентрации сернистого газа с 1 ч 30 мин ночи до 6 ч утра. Концентрации достигали значений 740 мкг/м³ (рис. 2).

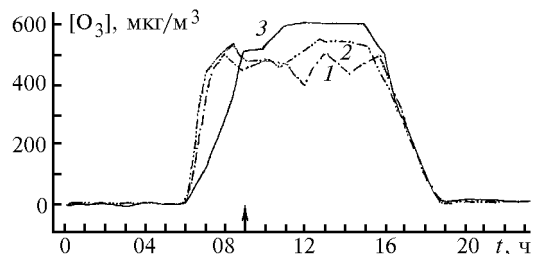


Рис. 2. Суточный ход концентрации озона в приземном слое (в центре Гвадалахары). Кривые 1, 2, 3 — измерения 7, 8, 9 октября 1995 г.

Анализ данных по суточному ходу концентрации приземного озона также показал необычное поведение приземного озона (рис. 3): во-первых, в день землетрясения в утренние часы концентрация озона росла заметно медленней, чем в предыдущие дни; во-вторых, наблюдалась приостановка роста его концентрации точно в момент первого сильного толчка, и, в-третьих, в последующие часы концентрация озона заметно превысила значения, наблюдавшиеся в дневные часы в предшествующие дни 7 и 8 октября.

Наиболее полный анализ был проведен на основе данных аэрозольных измерений счетной концентрации и дисперсности частиц с размерами $d \geq 0,4$ мкм с помощью фотоэлектрического счетчика АЗ-5М

и элементного состава аэрозольных проб, полученных с помощью трехслойных фильтров Петрянова.

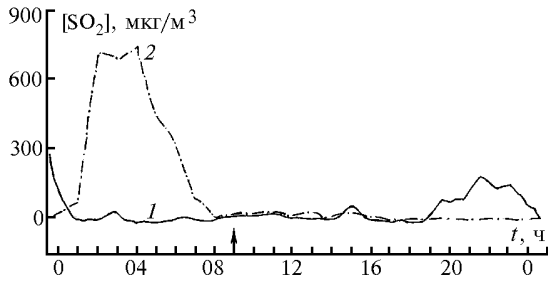


Рис. 3. Суточный ход концентрации сернистого газа в приземном слое (в центре Гвадалахары). Кривые 1, 2 – измерения 7, 9 октября 1995 г.

В табл. 1 представлены усредненные значения концентраций частиц в 12 диапазонах размеров по результатам круглосуточных измерений с 4 по 8 октября. Ежечасно проводилось не менее трех серий измерений (в ряде случаев делалось 4–5 серий).

В табл. 1 даны средние по двум часам, т.е. каждое значение в таблице представляет усреднение примерно 24 показаний, что существенно сглаживает кривые суточного хода дисперсности аэрозолей. Отметим, что в этих данных отчетливо проявляется заметный рост концентрации наиболее крупных частиц примерно с 10 ч утра. С использованием достаточно надежных средних данных было рассчитано изменение спектра размеров частиц конкретно в период, предшествующий землетрясению, и сразу после первого толчка. Данные в виде

отношения $\Delta N(r_i)$ к средним $\overline{\Delta N}(r_i)$ для того же времени суток представлены в табл. 2. Из них следует, что заметного увеличения общей счетной концентрации частиц $d \geq 0,4$ мкм ни до толчка, ни после него не наблюдается. Вариации N ($d \geq 0,4$ мкм) происходят на уровне погрешности измерений. Но трансформация спектра размеров частиц совершенно очевидна.

Таблица 1

Суточный ход дисперсности аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы г. Гвадалахара (Обсерватория астрофизики и метеорологии Гвадалахарского университета), 4–9 октября 1995 г., $\Delta N(r)$, л⁻¹

d, мкм	Время суток, ч											
	04–05	06–07	08–09	10–11	12–12	14–15	16–17	18–19	20–21	22–23	00–01	02–03
> 10	2,95	2,50	3,80	7,45	8,75	6,55	7,80	13,2	17,0	16,0	7,90	3,00
7–10	4,86	3,95	5,70	11,0	9,60	8,60	6,75	12,2	30,5	27,5	12,4	3,25
4–7	28,5	22,6	42,2	53,6	31,0	47,6	26,6	112	140	75	58,0	23,5
2–4	92,5	89,2	134	140	136	64,4	78,6	274	550	500	274	92,0
1,5–2	71,8	58,0	93,5	65,2	25,2	99,0	113	72,2	257	161	169	77,2
1,0–1,5	120	99,2	319	135	80,8	507	950	118	580	376	420	830
0,9–1,0	136	1230	1440	880	324	714	1520	606	812	975	4320	7440
0,8–0,9	4630	7300	5570	4440	3660	6760	13000	2440	1410	4830	9220	7100
0,7–0,8	14400	17200	14100	13100	12100	8840	22500	20800	3380	13200	18400	29200
0,6–0,7	26900	32500	31400	33000	26100	17200	27600	31900	25400	21700	28600	23800
0,5–0,6	20200	17300	29600	23700	31300	29500	13400	22400	32000	24100	14800	9850
0,4–0,5	11700	750	2750	3320	3750	16000	2000	2060	17900	10400	1700	950
N, см ⁻³	78,3	76,6	85,5	78,9	77,5	79,7	81,2	80,8	82,5	76,4	78,0	79,4

Таблица 2

Измерение концентрации и спектра размеров частиц в приземном слое атмосферы до и во время землетрясения в

г. Гвадалахара 9 октября 1995 г. (отношение $\Delta N(r)/\overline{\Delta N}(r)$, %)

d, мкм	8 октября				9 октября		
	21 ч	22 ч	23 ч	24 ч	9 ч 20 мин	10 ч 10 мин	11 ч
> 10	73	81	88	136	579	684	263
7–10	100	139	65	125	544	596	772
4–7	67	144	152	≥122	237	204	251
2–4	64	102	140	≥131	281	324	234
1,5–2	64	136	153	≥137	129	150	296
1,0–1,5	76	157	166	126	118	495	75
0,9–1,0	97	145	95	102	101	118	63
0,8–0,9	68	143	82	229	63	251	190
0,7–0,8	149	193	163	90	133	170	174
0,6–0,7	101	143	132	106	100	96	80
0,5–0,6	120	71	103	99	77	88	60
0,4–0,5	90	36	89	42	0	0	0
≥ 0,4	108	105	123	98	92	115	93

Увеличение доли крупных частиц наблюдается уже с 22 ч 8 октября. Наиболее убедительны превышения концентрацией частиц своих средних значений в диапазонах размеров $1,0 \leq d \leq 1,5$ мкм и $0,7 \leq d \leq 0,8$ мкм. Появляются и дополнительные моды, которые, правда, недостаточно устойчивы и иногда сменяются минимумами (например, мода $0,8 \leq d \leq 1,0$ мкм). Возможно, это обусловлено пространственной неоднородностью поля концентраций аэрозольных частиц разных размеров из-за различных сепарационных механизмов. Сразу после первого толчка наблюдалось резкое увеличение числа частиц в диапазоне размеров $d > 1,0$ мкм, а затем в области $0,7 \leq d \leq 0,9$ мкм.

Были также обработаны результаты рентгенофлуоресцентного элементного анализа проб, бравшихся в разное время суток и с разным объемом прокачанного воздуха. Всего было проэкспонировано 12

трехслойных фильтров. Объемы воздуха, прокачанного через фильтры, изменялись от 18 до 72 м³. Это позволило с некоторой погрешностью выявить средний суточный ход концентрации отдельных элементов (погрешность была обусловлена не совсем одинаковым ходом содержания элементов в приземном слое атмосферы в разные дни). Для 9 октября определялись концентрации элементов в ночное время (до землетрясения) и в дневное (после землетрясения). Основные измерения проводились на крыше Обсерватории в центре города (авенида Вайярда) на

высоте 18 м от поверхности земли. Ближайшие здания с большей высотой находились на расстояниях не меньше 100 м.

Отдельные пробы были взяты в других точках города: на площади Кабаньяс, вблизи исторического центра города, примерно в 3 км к югу от Обсерватории, на высоте 7 м от поверхности земли, и в парке Барранка на краю широкого ущелья-каньона, прорезающего северно-восточную часть Гвадалахары. Основные результаты элементного рентгенофлуоресцентного анализа представлены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Концентрация элементов в приземном слое атмосферы г. Гвадалахара до и после землетрясения 9 октября 1995 г., нг/м³

Элемент	Средние за 4–8 октября (Обсерватория)					Дом А. Мартинеса (юго-восток)	Площадь Кабаньяс (центр)	Площадь Барранка 7–8 октября		Обсерватория 5–6 октября	Во время землетрясения 8–9 октября		
	сутки	ночь (21–08)	день (10–18)	утро (08–11)	вечер (18–21)	день 9.10.95 (08–18)	вечер 6.10.95 (19–21)	вечер (19–21)	ночь (21–08)	сутки	сутки	ночь (20–09)	день (09–18)
Al	4860	6620	5030	5450	4710	12100	15400	7900	2300	2000	4000	4400	3700
Si	49600	78600	36200	≤79000	295000	263000	203000	198000	44600	26200	117000	128000	106000
P	<900	<700	<1100	<600	<500	<1000	<4000	<3000	<800	<800	<700	<600	<800
S	34000	47000	29100	55900	61300	67300	32000	29000	9300	21800	40000	44800	35300
Cl	1800	2000	2200	4310	13200	3900	3300	4000	1800	900	950	900	1000
K	1800	2210	2030	≤1800	7900	5310	5900	4700	1910	840	3760	3540	3980
Ca	4120	6060	3710	≤4100	8600	11400	10600	3700	2850	1850	9080	9130	9020
Ti	361	498	381	≤450	2360	840	320	360	222	123	592	633	550
V	75	75	98	80	<40	103	300	260	54	43	111	84	138
Cr	33	55	24	–	74	36	40	<50	34	11	12	9	25
Mn	46	56	58	63	254	124	85	255	35	14	132	133	131
Fe	1980	3020	1640	≤3600	13000	6230	5340	2620	1600	950	4660	4800	4520
Ni	16	15	26	21	<5	26	57	25	14	5	24	21	26
Cu	46	62	50	≤60	102	106	198	118	60	18	81	74	88
Zn	74	78	88	≤74	520	106	191	57	51	46	266	334	138
Ga	5,9	8,2	6,3	–	<2	<4	86	17	<4	<2	<3,5	<3	<4
Se	4,1	4,5	5,7	8,5	<1	14	36	7	17	1	<3	<3	<3
Br	40	53	36	28	436	45	90	42	19	29	130	216	45
Rb	22	32	24	36	<2	42	50	67	5	2	18	23	14
Sr	56	76	57	≤57	180	96	108	94	52	24	62	77	47
Zr	62	152	96	–	220	105	210	206	70	10	158	188	129
W	11	<9	<17	8,5	<6	<10	<70	<30	<10	<6	14	15	12
Hg	5,3	2,2	6,0	3,8	44	–	–	20	–	9	–	–	–
Pb	418	486	538	≤278	872	159	221	794	82	134	701	1100	302

Обращает на себя внимание поведение элементов Si, Ca, Fe, которые определенно реагируют на землетрясение, ведут себя практически идентично и, очевидно, входят в состав вещества, эмиттируемого с поверхности, а возможно, и из глубины почвы. Сходное поведение наблюдается также у элементов K, Ti, Mn. Для ряда элементов землетрясение не сказалось существенно на изменении их содержания в приземном слое: Al, P, Ga, Se, Zr, Hg, Rb, или же слабо повлияло на повышение концентрации: S, V, Ni, Cu. Определенно выявляются элементы, у которых при землетрясении наблюдается понижение их концентрации в приземном слое: Cr, Cl, вероятно Hg.

Особое поведение у некоторых элементов проявляется в резком уменьшении концентрации днем 9 октября, после первого толчка: Cr, Zn, Br, Zr, Pb. Можно предположить, что перестали работать ан-

тропогенные источники этих элементов. Данные табл. 3 позволяют также сделать вывод, что ряд элементов: Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Br – эмиттировался в приземный слой атмосферы уже в ночное время 8–9 октября, т.е. до первого толчка.

Результаты анализа распределения элементов по размерам, представленные в табл. 4 (распределение по трем слоям фильтра), подтверждают вывод о сходном поведении элементов Ca, Si, Fe. Эти элементы находятся, в основном, в самых крупных частицах, и при землетрясении происходит заметная трансформация спектра аэрозольных частиц, содержащих эти элементы, в сторону их укрупнения. Следует отметить, что этот эффект наблюдается и для других элементов: Al, Cl, K, Sr, Pb, Cr, Ti, Cu, Mn, Ni, Zn, но с разной степенью выраженности эффекта.

Таблица 4

Распределение элементов в трех слоях фильтров, %

Элемент	5–8 октября, среднее	9 октября, землетрясение	12 октября, Колима	Элемент	5–8 октября, среднее	9 октября, землетрясение	12 октября, Колима
Al	67	84	77	Mn	60	80	78
	12	2	8		27	14	11
	21	14	15		13	6	11
Ca	80	87	94	Cr	18	31	31
	14	11	3		34	31	37
	6	2	3		48	38	32
K	60	78	72	Sr	68	70	92
	23	17	19		19	16	–
	17	5	9		13	14	8
Ti	60	80	82	S	52	48	32
	20	12	12		22	22	36
	20	8	6		26	30	32
Cu	43	50	54	D	76	77	82
	22	26	20		10	13	18
	35	24	26		14	10	–
Pb	38	47	67	V	46	38	29
	24	20	17		25	34	–
	38	33	16		29	28	71
Si	84	85	98	Br	64	54	53
	12	11	2		25	34	27
	4	4	–		11	12	20
Fe	76	84	97	Rb	57	69	48
	16	13	2		6	23	42
	8	3	1		37	8	10
Ni	41	46	66	Zr	52	61	24
	43	35	34		22	12	59
	16	19	–		26	27	17
Zn	74	76	82	Se	37	26	–
	8	12	8		60	38	42
	18	13	10		3	36	58

Анализ распределения элементов по размерам для пробы, взятой в центре атмосферных исследований Колимакого университета 12–13 октября, под-

тверждает вывод об укрупнении аэрозольных частиц, содержащих террогенные элементы, после землетрясения. Так, для элементов Ca, Cl, Ti, Cu, Zn, Fe, Ni, Pb, Sr наблюдается дальнейшее укрупнение частиц, содержащих эти элементы, а для элементов Al, K, Mn – тенденция к возвращению в состояние до землетрясения. Особое поведение S, очевидно, вызвано его преимущественно вулканическим происхождением. Элементы Se, Br, V и Rb, Zr также следует выделить в две особые группы: для первых трех элементов обнаруживается явное уменьшение размеров частиц при землетрясении, а два последних ведут себя сходно с S, что позволяет предположить их преимущественно вулканическое происхождение. По элементам P, Ga, W, Hg делать какие-либо выводы трудно из-за высоких погрешностей определения их концентраций.

Таким образом, рассмотренные экспериментальные результаты дают основание утверждать, что землетрясение вносит определенные изменения в свойства и состав атмосферы, по крайней мере ее приземного слоя. Наиболее отчетливо это проявляется в составе и структуре приземных аэрозолей. Причем особо следует подчеркнуть, что происходит генерация грубодисперсных аэрозолей террогенного происхождения; она начинается за несколько часов до первого толчка.

Наблюдение усиления эмиссии сернистого газа в приземный слой атмосферы за несколько часов до первого толчка имеет чрезвычайно важное прогностическое значение. Однако единичное наблюдение этого явления не позволяет делать определенный вывод. Необходимо его повторное наблюдение. Также несомненно интересным представляются результаты наблюдений поведения приземного озона. Они дают основание утверждать, что гетерогенные процессы гибели молекул озона играют не последнюю роль в изменчивости содержания озона в нижних слоях атмосферы.

НИИФ С.-ПГУ, Россия
Гвадалахарский и Колимакий университеты, Мексика

Поступила в редакцию
5 мая 1997 г.

L.S. Ivlev, V.I. Davydova-Martines, O.A. Vargas, A. Martines. Variability of Characteristics of Aerosols, Ozone, and Sulfur Gas in the Ground Layer during Earthquake in West Mexico.

Variability of UV Solar radiation, concentration of ozone and sulfur gas, dispersity and element composition of aerosol within the atmospheric ground layer were measured in the period before and during the earthquake of 9.10.95 in Guadalajara (West Mexico). Anomalies in diurnal behaviour, and intensity of UV radiation, concentration of ozone, sulfur gas, and aerosols as well as in element composition of the aerosols immediately before and during the earthquake were found.