ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТРОПОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД ЗАПАДНОЙ СИБИРЬЮ. ТЕРРИГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М., Симоненков Д.В., Толмачёв Г.Н.

Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

E-mail: bbd@iao.ru, rtm@iao.ru, simon@iao.ru, tgn@iao.ru

Рассматриваются ряды элементов, полученные в результате отбора проб атмосферного аэрозоля на фильтры за период 1983-1989 и 1997-2025 гг. с борта самолета-лаборатории «Оптик(-Э)» (на разных носителях) в слое атмосферы от 500 до 7000 м. За весь период было отобрано более 3000 проб. Исследуются концентрационные закономерности элементов аэрозоля Si, Al, Fe, Ca, Mg, Ti, содержания которых в литосфере больше 0,5% и которые по канонам геохимии считаются чисто природными, терригенными, элементами. Сравнение производилось путем сопоставления относительного содержания этих элементов в аэрозоле с их содержанием в литосфере, что показало хорошее соответствие матрицы терригенных элементов в аэрозоле и в литосфере с коэффициентом корреляции не менее 0,9. При этом наблюдается значительная изменчивость средних абсолютных концентраций (мкг/м^3) терригенных элементов в разные периоды, достигая полпорядка величины для железа и титана, и почти удвоения средней суммарной концентрации в более поздний период мониторинга по сравнению с 1983-1989 гг. Исследование корреляционных связей между концентрациями терригенных элементов во внутригодовом ходе разных лет двух периодов показало наличие устойчивой внутригодовой корреляции только терригенных макроэлементов – кремния, алюминия и железа.

Отбор проб атмосферного аэрозоля производился с борта самолета-лаборатории ИОА СО РАН, в качестве которых на разных этапах использовались самолеты Ил-14, Ан-30, Ту-134, Як-40. Для отбора проб использовалась специально созданная в ИОА фильтро-аспирационная установка, позволяющая производить изокинетический отбор аэрозольных частиц одновременно по трем независимым каналам на фильтры Петрянова типа АФА-ВП/ХП/ХА-20. Отобранные пробы аэрозоля анализировались на присутствие в них терригенных элементов, микроэлементов, и водорастворимой фракции аэрозоля. В представляемом докладе приводятся данные о содержании в атмосферном аэрозоле таких элементов как Si, Al, Fe, Ca, Mg, Ti, которые по геохимической классификации образуют группу терригенных элементов земной коры верхней части литосферы. В качестве эталона для сравнения полученных в результате химического анализа данных о содержании терригенных элементов в аэрозоле использовались кларки указанных выше элементов, в сумме которые составляют 99,4% всех элементов земной коры. Для корректного сравнения с эталоном, полученные абсолютные значения концентраций элементов были пересчитаны в относительные значения.

Хронологически отбор проб в тропосферном слое 500-7000 м над средней и южной частью Западной Сибири производился в два периода: 1983 - 1989 и после 1997 до 2025 года. Почти десятилетний перерыв в работе между этими периодами объясняется независящими от авторов причинами. Ежегодная статистика проб представлена в Табл. 1.

Таблица 1 - Статистика проб атмосферного аэрозоля, отобранного в тропосфере в разные годы.

Год	Кол-во	Год	Кол-во	Год	Кол-во
1983	83	1998	95	2011	81
1984	38	1999	97	2012	65
1985	266	2000	94	2013	86
1986	383	2001	100	2014	71
1987	208	2002	80	2015	57
1988	245	2003	96	2016	81
1989	110	2004	96	2017	41
		2005	98	2018	73
		2006	95	2019	49
		2007	97	2020	45
		2008	79	2021	26
		2009	56	2022	37
		2010	54	2023	68
				2024	49
				Всего 3299 проб.	

На рис. 1 в соответствии с разбивкой на два разнесенных на 8 лет периодов (1983-1989 и 1998-2024 гг.) по средним для каждого периода данным концентраций терригенных элементов построены графики их относительного содержания в аэрозоле Западной Сибири тропосферного слоя 500-7000 м в эти периоды, и в верхнем слое литосферы по данным [1].

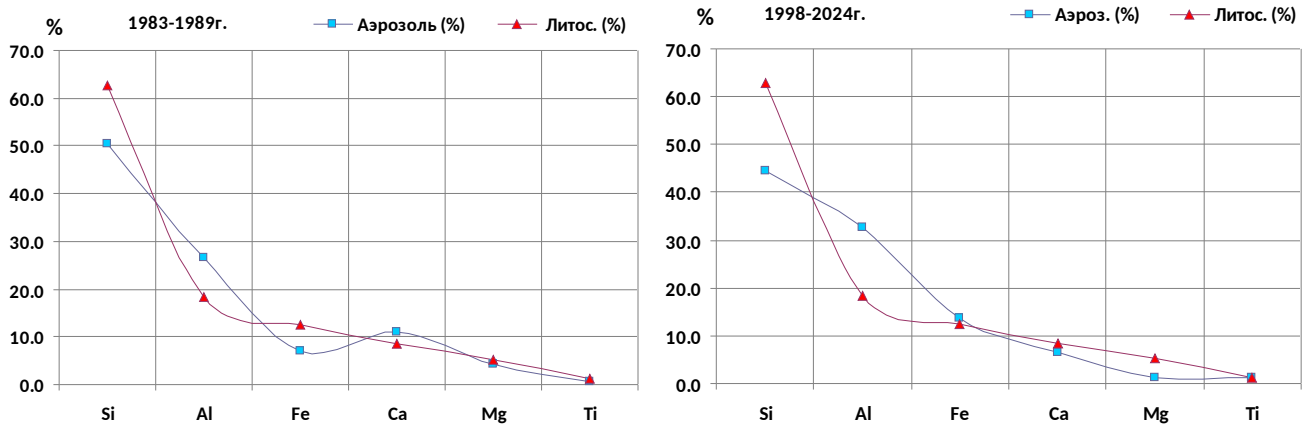

Рисунок 1 - Относительное содержание матрицы терригенных элементов в тропосферном аэрозоле Западной Сибири в разные периоды (1983-1989 и 1998-2024 гг.) и в литосфере.

Сравнивая графики рис. 1 можно сделать вывод, что изменение относительного содержания элементов характерно для всех исследуемых элементов в разной степени. Это очевидно на графиках рис. 2, на котором совмещен ход относительных концентраций терригенных элементов в оба периода.

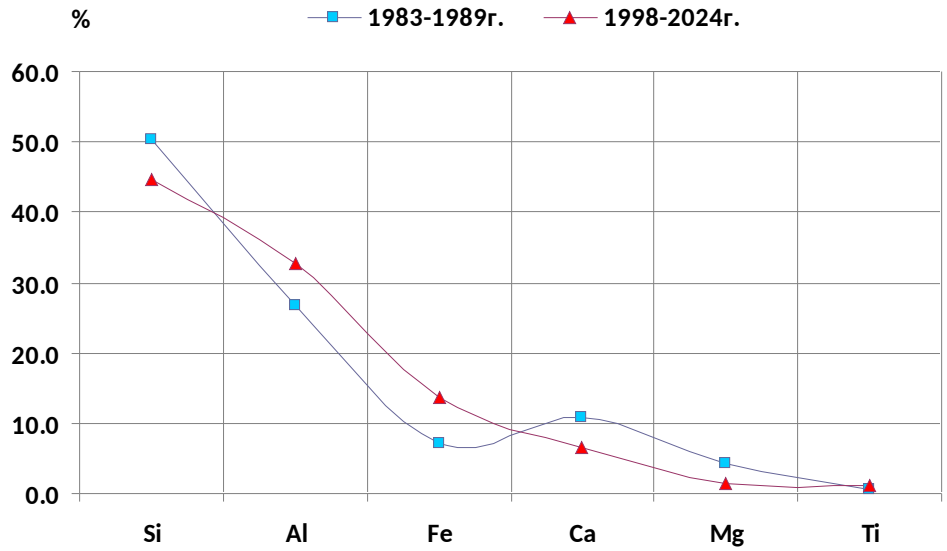

Рисунок 2 - Относительное содержание матрицы терригенных элементов в тропосферном аэрозоле Западной Сибири в разные периоды (1983-1989 и 1998-2024 гг.)

Средние абсолютные концентрации отмеченных терригенных элементов и их сумм в оба периода наблюдений представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Средние концентрации терригенных элементов в разные периоды (мкг/м^3)

	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Ti	Сумма
1983-1989г.	5.18	2.74	0.72	1.12	0.44	0.06	10.26
1998-2024г.	8.95	6.56	2.75	1.32	0.26	0.25	20.10

Очевидно, что разница средних абсолютных концентраций (мкг/м^3) терригенных элементов в разные периоды довольно существенна, достигая полпорядка величины для железа и титана, и почти удвоения средней суммарной концентрации в более поздний период мониторинга 1998-2024 гг. по сравнению с 1983-1989 гг.

Сравнительный корреляционный анализ для двух лет – по году из каждой выборки: для 1985 г. и 2016 г., для которых имелась наиболее близкая многомесячная статистика

распределения отобранных в году проб, был произведен по среднемесячным данным и показал, что только для терригенных макроэлементов – кремния, алюминия и железа - имеется устойчивая близкая годовая корреляция (по уровню доверительной вероятности 0,95). Корреляционные матрицы представлены в таблице 3. Значимые коэффициенты выделены жирным шрифтом жёлтой заливкой.

Таблица 3 – Корреляционные матрицы среднемесячных концентраций терригенных элементов для 1985 и 2016 гг.

1985 г.	**Si**	**Al**	**Fe**	**Ca**	**Mg**	**Ti**
Si	1	**0.8121**	**0.9753**	-0.0910	0.4867	-0.2186
Al		1	**0.8134**	-0.2439	0.2156	-0.1920
Fe			1	0.0411	0.5371	-0.2918
Ca				1	**0.7607**	-0.1678
Mg					1	0.0200
Ti						1

2016 г.	**Si**	**Al**	**Fe**	**Ca**	**Mg**	**Ti**
Si	1	**0.9510**	**0.9148**	0.2390	**0.7413**	0.0766
Al		1	**0.8631**	0.3811	**0.8060**	0.1577
Fe			1	0.2590	**0.8015**	-0.1682
Ca				1	0.1681	0.1051
Mg					1	-0.2077
Ti						1

В 1985 году связь между щелочно-земельными металлами присутствует, а в 2016 г. она имеется только у магния с тройкой терригенных макроэлементов.

Таким образом, можно сделать заключение. Относительный состав терригенных элементов в аэрозоле довольно стабилен и близок к относительному составу этой группы элементов земной коры в литосфере. Абсолютный состав (концентрации) изменчив во временном ходе, что требует более детального исследования.

Работа выполняется по госзаданию ИОА СО РАН.

1. Перельман А.И. Геохимия. – М.: ВШ, 1989. – 528 с.