

Раздел II. Исследования абиотических компонентов ПТК заповедника

Оценка загрязнения атмосферы сернистым газом в Кавказском заповеднике

Животов А.Д.

Наблюдения за загрязнением окружающей среды осуществляются на станции комплексного фоновый мониторинга (СКФМ) «Лаура», расположенной на южной границе заповедника. Это базовая станция Глобальной (всемирной) системы мониторинга окружающей среды. На земном шаре около 40 таких комплексных пунктов наблюдений; в России – 6. Базовые станции размещаются исключительно в биосферных заповедниках.

Сернистый газ или диоксид серы (SO_2) является одним из главных компонентов, обуславливающих кислотность атмосферных осадков. В незагрязненной атмосфере геохимически чистых зон диоксид серы имеет, как правило, естественное происхождение. Серосодержащие соединения образуются в результате деятельности почвенных микроорганизмов и растений, природных газов, выходящих из почвы, горения биомассы (при лесных пожарах). В урбанизированных и промышленных зонах основным источником поступления диоксида серы в атмосферу является производство тепла и электроэнергии. При благоприятных ветровых и других метеорологических условиях сернистый газ может переноситься на расстояние 600-1000 км от источников выброса. При этом он сохраняет свою кислотную активность. В настоящее время влияние дальнего атмосферного переноса на постоянный рост фоновый глобальный загрязнения окружающей среды становится совершенно закономерным.

Газообразное окисление диоксида серы в атмосфере происходит в результате реакций с радикалами OH , CH_3O_2 , HO_2 . Во всех случаях окисление диоксида серы приводит к образованию серной кислоты. В условиях высокой влажности скорость окисления SO_2 может возрасти на 1-2 порядка. В отсутствие таких щелочных

агентов как аммиак или углекислый кальций природные уровни концентраций диоксида серы могут обеспечить кислотность дождевых осадков вплоть до $\text{pH}=4,5$ (Charlson, Rodhe, 1982). При контакте с подстилающей поверхностью молекулы газов могут поглощаться и, следовательно, выводиться из атмосферы. Из всех видов подстилающей поверхности наибольшим сопротивлением поглощению обладает сухой снег; наименьшим – влажная листва в период выпадения дождя или сразу после него. Выбросы диоксида серы в окружающую среду и последующее закисление осадков, воды озер и рек, а также почвы могут оказывать как прямые, так и не прямые (вторичные) воздействия на живые организмы и растения.

В многолетнем плане (1996-2002 г.г.) вариабильность концентраций диоксида серы в атмосфере очень высокая. Экстремальные значения изменяются от $0,01 \text{ мкг/м}^3$ (январь 1999 г.) до $0,28 \text{ мкг/м}^3$ (апрель 1996 г.). Средне многолетняя величина (норма) составила $0,078 \text{ мкг/м}^3$. При этом с 1996 по 2000 годы наблюдается устойчивое уменьшение среднегодовых значений в диапазоне $0,102-0,06 \text{ мкг/м}^3$ с последующей стабилизацией. Среднегодовые максимальные концентрации также непрерывно снижаются во времени с $0,173$ (1996 г.) до $0,077 \text{ мкг/м}^3$ (2002 г.) при норме $0,12 \text{ мкг/м}^3$. Среднегодовые минимальные содержания сернистого газа довольно стабильны и находились в пределах $0,036-0,05 \text{ мкг/м}^3$. Полная синхронность изменений, а именно уменьшение,

Таблица 1

Среднегодовые параметры содержания сернистого газа в атмосфере

Год	Концентрация, мкг/м^3					Коефф. аномальн.	Период аномальн., сут.	Степень аномальн.
	средняя	минимальная	максимальная	аномальная	ско			
1996	0,102	0,050	0,173	0,130	0,031	1,50	82	9,8
1997	0,097	0,041	0,167	0,120	0,030	1,50	79	8,9
1998	0,090	0,040	0,143	0,110	0,028	1,40	77	8,7
1999	0,085	0,038	0,128	0,100	0,028	1,20	104	9,8
2000	0,060	0,036	0,087	0,070	0,014	1,50	82	8,7
2001	0,060	0,042	0,081	0,068	0,011	1,50	110	11,2
2002	0,060	0,043	0,077	0,070	0,010	1,40	95	10,5
Норма	0,078	0,041	0,120	0,094	0,021	1,44	90	9,6

рассматриваемых параметров прослеживается до 2000 года, в дальнейшем, при противоположных тенденциях экстремальных значений, среднегодовые остаются постоянными (табл. 1, рис. 1). Таким образом, за последние 7 лет наименьшее загрязнение атмосферы диоксидом серы по максимальным и средним значениям наблюдалось в 2000-2002 годах.



Рис. 1. Средняя концентрация диоксида серы

Исходя из многолетних среднемесячных значений к наиболее чистым по содержанию SO_2 в атмосфере относятся февраль и август месяцы (0,064-0,067 мкг/м³). Самые высокие средние концентрации (0,095 мкг/м³) характерны для сентября. Экстремальные значения устойчиво коррелируются со средними – коэффициент корреляции

более 0,65. Максимальные содержания, существенно превышающие среднегодовую норму, наблюдаются, как правило, в апреле и сентябре – 0,152 и 0,138 мкг/м³, соответственно; минимальные (0,055 мкг/м³) в сентябре. Уровень загрязнения воздуха сернистым газом превышающий норму по трем показателям одновременно характерен для января, апреля, сентября и октября месяцев. Ниже нормы, как по средним, так и по экстремальным значениям концентрация SO_2 отмечается в феврале, августе, ноябре и декабре (табл. 2, рис. 2).

По абсолютному содержанию диоксида серы в приземной атмосфере верховья реки Мзымта относятся к наиболее чистым фоновым районам земного шара. В заповедниках Центральной и Восточной Европы, включая Россию, содержание сернистого газа колеблется от 2 до 34 мкг/м³; в Средней Азии, Сибири и Дальнем Востоке от 0,1 до 12 мкг/м³; в Северной Америке – 0,3-14; в Южной Америке – 0,9-3,2 мкг/м³. Над мировым океаном и в Антарктиде от 0,04 до 4 мкг/м³ (Израэль, 1989).

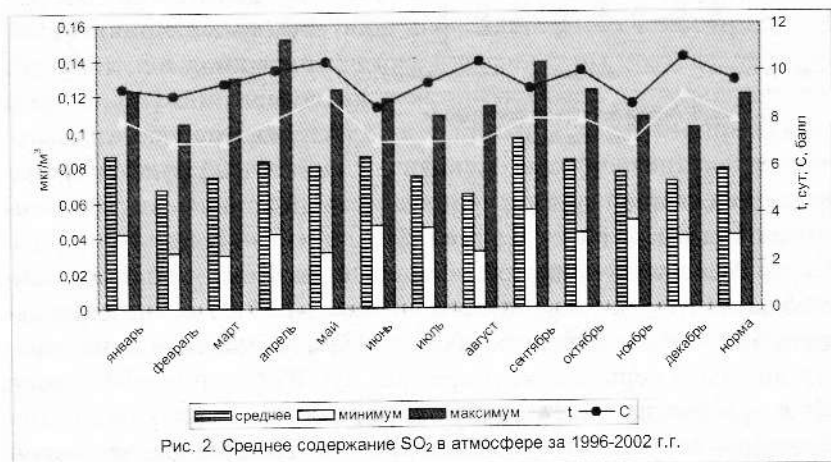
Таблица 2

Многолетние среднемесячные параметры содержания сернистого газа в атмосфере

Критерий		Месяц					
		январь	февраль	март	апрель	май	июнь
Концентрация, мкг/м ³	Средняя	0,086	0,067	0,074	0,083	0,080	0,085
	Минимальная	0,042	0,032	0,030	0,042	0,032	0,047
	Максимальная	0,122	0,104	0,130	0,152	0,123	0,118
	Аномальная	0,101	0,082	0,095	0,105	0,097	0,100
	СКО	0,024	0,020	0,026	0,028	0,021	0,021
Коэффициент аномальности		1,23	1,40	1,54	1,56	1,46	1,27
Период аномальности, сут		8	7	7	8	9	7
Степень аномальности		9,3	9,0	9,5	10,1	10,4	8,5

продолжение таблицы 2

Критерий		Месяц						Норма
		июль	август	сент.	окт.	нояб.	декабрь	
Концентрация, мкг/м ³	Средняя	0,074	0,064	0,095	0,083	0,076	0,071	0,078
	Минимальная	0,045	0,032	0,055	0,042	0,049	0,040	0,041
	Максимальная	0,108	0,113	0,138	0,122	0,107	0,101	0,120
	Аномальная	0,088	0,080	0,112	0,099	0,087	0,083	0,094
	СКО	0,017	0,021	0,023	0,022	0,016	0,017	0,021
Коэффициент аномальности		1,51	1,67	1,37	1,37	1,38	1,47	1,44
Период аномальности, сут		7	7	8	8	7	9	8
Степень аномальности		9,5	10,4	9,3	10,0	8,6	10,6	9,6



Резкая временная изменчивость содержания диоксида серы не позволяет корректно выделить положительные аномалии за относительно продолжительный отрезок времени, используя средние и экстремальные значения.

К тому же, при низких абсолютных концентрациях в определенный отрезок времени положительные аномалии нивелируются более высокими содержаниями в другие периоды. Для повышения достоверной вероятности положительных отклонений в качестве признака аномальности было использовано условие

$$K = (C_{\max} - C_{\text{cp}}) / \sigma \geq 0,7,$$

где K – коэффициент аномальности; C_{\max} – экстремальное среднесуточное значение концентрации; C_{cp} – среднемесячная концентрация; σ – среднее квадратичное отклонение (СКО) среднесуточной концентрации от среднемесячной.

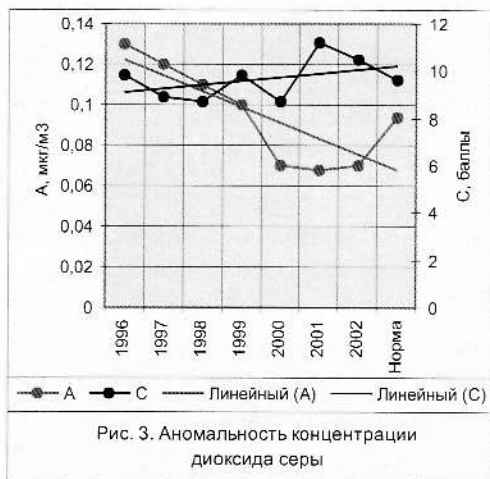


Рис. 3. Аномальность концентрации диоксида серы

В качестве критерия аномалии было принято условие, что коэффициент аномальности равен или более 0,7. Продолжительность аномального периода (t) определялась числом дней, когда среднесуточная концентрация оставалась выше принятой по критерию, т.е. являлась аномальной (A). В этом случае степень аномальности (C) будет определяться

взвешенной суммой периодов с тем или иным коэффициентом аномальности (табл. 1, 2; рис. 2, 3).

Расчеты по принятой методике показывают, что продолжительность периода с положительной аномалией и степень аномальности растут с уменьшением абсолютной и аномальной концентраций диоксида серы в атмосфере (рис. 3). Высокие концентрации SO_2 в приземном слое воздуха имеют, как правило, «ураганный» характер с непродолжительным временем существования. Значи-

тельно завышая максимальные, средние и аномальные значения они тем самым занижают относительные параметры, которыми являются продолжительность аномального периода и степень аномальности.

В многолетнем плане положительные аномальные концентрации сернистого газа наиболее длительное время прослеживались в 1999, 2001 и 2002 годах, суммарно превышая 90 суток/год (табл. 1). В апреле, мае, августе, октябре и ноябре степень аномальности концентрации SO_2 повышенная (табл. 2). Относительные показатели важны для анализа причин изменений содержаний сернистого газа (и других загрязнителей) в приземной атмосфере. При наблюдаемых низких абсолютных концентрациях диоксида серы эти параметры могут быть использованы с целью определения влияния метеорологических факторов, скорости и направленности перемещения воздушных масс, рельефа местности, деятельности почвенных организмов и растений.

Направление переноса воздушных масс не имеет однозначного характера в формировании фонового загрязнения воздуха. Предварительно можно сказать, что в периоды аномальной концентрации сернистого газа преобладают ветры широтной направленности, совпадающие с вытянутостью долины р. Лаура в месте наблюдений. С востока ветры отмечались в 41% случаев, с запада в 22%.

Среди компонентов экосистем суши весьма чувствительными к прямому воздействию диоксида серы являются растения. Будучи ассимиляционным ядом, диоксид серы обладает ярко выраженным фитотоксическим действием. Среди растений наиболее чувствительными являются лишайники. Изменение продуктивности высших растений под влиянием околофонового загрязнения атмосферы сернистым газом и соответствующего закисления осадков и почв практически не удастся определить полевыми методами. Модельные расчеты показали, что в околофоновом диапазоне диоксида серы продуктивность высшего растения убывает весьма медленно. Последнее не означает, что этот эффект можно игнорировать (Израэль, 1989).

Для высокогорных лесов характерен ряд особенностей: укороченный ростовой сезон и интенсивное действие природных

климатических стрессов (заморозки, кратковременные засухи, ветры). Почвы здесь бедные, плодородный слой тонкий. Кроны деревьев, особенно на склонах долин рек, находятся в облачном слое до 3000 часов в год. По данным м/с «Джуга» рН дождей достигает 4,5. Облака, как правило, имеют реакцию среды на 0,5 единиц ниже, т.е. они более кислые. Облака и туманы облегчают проникновение озона в хвою и листву. Только для этих лесов характерно действие высоких концентраций пероксида водорода (Заиков, 1991). У хвойных деревьев в первую очередь повреждаются молодые побеги, внешне это проявляется в усыхании кроны от верхушки вниз и от наружной части веток внутрь. Этот процесс принципиально отличается от повреждений хвойных пород, произрастающих на равнинах.

Индустриальные районы с концентрированными выбросами загрязняющих веществ в атмосферу расположены севернее заповедника. Поэтому, для оценки вклада трансконтинентального и регионального переноса воздушных масс в фоновое загрязнение воздуха станция наблюдения должна быть организована и на северном макросклоне ГКХ. Оптимальное ее размещение совместно с м/с «Джуга».

Литература

Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л. 1991. Кислотные дожди и окружающая среда. М.: Химия. 144 с.

Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Я. и др. 1989. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеиздат. 269 с.

Charlson R.J., Rodhe H. 1982. Factors controlling the acidity of natural rainwater. *Nature*, vol. 295, N 5851. P. 683-685.