

## Аэрозоли Сибири. Итоги семилетних исследований

К. П. КУЦЕНОГИЙ, П. К. КУЦЕНОГИЙ

*Институт химической кинетики и горения СО РАН  
630090 Новосибирск, ул. Институтская, 3*

### АННОТАЦИЯ

Анализируются результаты семилетних исследований характеристик атмосферных аэрозолей (АА) в Сибири. Приведены сведения по дисперсному, химическому и ионному составу АА Сибирского региона. Результаты анализа пространственно-временного изменения химического состава и концентрации АА позволили выявить источники локального, регионального и глобального масштаба. Сформулированы представления о структуре АА в Сибири.

Данная работа является обзором основных результатов, полученных в рамках проекта "Аэрозоли Сибири", начатого в 1991 г.

Он был стимулирован крупным международным проектом "Арктическая дымка", который связан с исследованием проблемы дальнего транспорта промышленных выбросов Северного полушария в район Арктики. Одним из важных заключений, основанных на экспериментальных данных, накопленных в рамках проекта "Арктическая дымка", явилось то, что значительная часть (от 20 до 50 % по различным оценкам) загрязнения атмосферы Арктики связана с эмиссией крупных промышленных центров, расположенных на территории бывшего СССР (Урал, Казахстан, Сибирь). Так, например, эмиссия  $SO_2$  с территории США и Канады составляла около 30,8 % от суммарных промышленных выбросов в Северном полушарии. Аналогично с территориями Западной Европы и бывшего СССР – 39,1 и 30,1 % соответственно [1]. Согласно тем же оценкам, эмиссия  $SO_2$  от промышленных предприятий Сибири составила примерно третью часть (9,2 %) от суммарных выбросов с территории бывшего СССР.

К моменту начала проекта "Аэрозоли Сибири" в Северном полушарии существовала система наземного мониторинга и проводились ре-

гулярные наблюдения за различными характеристиками атмосферных аэрозолей (АА) и их пространственно-временными изменениями. Такие регулярные наблюдения позволяют, в частности, оценить удельную нагрузку на Арктический регион от различных источников. Однако окончательное количественное подтверждение правильности сделанных оценок связано с измерением тех же характеристик АА на территории расположения источника выбросов. Хотя система мониторинга, созданная при реализации проекта "Арктическая дымка", состояла из 22 станций наблюдения, расположенных в различных районах Северного полушария, ни одна из них не находилась на территории бывшего СССР [2].

Поэтому целью проекта "Аэрозоли Сибири" стало:

1. Изучение закономерностей образования, трансформации и переноса аэрозолей в Сибирском регионе на локальном, региональном и глобальном уровнях для выявления их источников и стоков.

2. Оценка влияния АА на качество атмосферного воздуха, уровни загрязнения растительности, почвы и воды, скорости миграции различных веществ и элементов в объектах окружающей среды.

3. Выяснение воздействия АА различной природы на здоровье людей и животный мир.

4. Исследование влияния АА на атмосферные процессы и климат.

Детально структура и пути реализации проекта, а также первые результаты изложены в [3].

Сибирь – огромная территория с разнообразным ландшафтом и специфическими особенностями климата, где наряду с мощными естественными источниками аэрозолей расположены гигантские промышленные центры, ведется интенсивное сельское хозяйство. Здесь проходят крупные транспортные магистрали. Ежегодно в течение значительного периода времени в Сибири на огромных площадях происходят лесные пожары, выбрасывающие в атмосферу большие массы аэрозолей и химических активных газов [4, 5].

Как уже указывалось выше, в Сибири находятся мощные источники техногенных выбросов  $SO_2$ , составляющих около 9 % валовой антропогенной нагрузки Северного полушария. Известно, что  $SO_2$  – основной компонент, приводящий к фотохимическому образованию сульфатного аэрозоля. Последний теснейшим образом связан с процессом образования "кислотных дождей" [6].

Один из мощных источников грубодисперсных аэрозолей ( $d > 1$  мкм) естественного происхождения – почвенная эрозия. Образование почвенно-эрозионных частиц происходит в результате пыления под действием ветра легко эродируемых почв, в особенности лессового типа.

Из данных, приведенных в [7], видно, что наиболее крупные массивы таких почв находятся либо на территории Сибири, либо в непосредственной близости от нее. Поэтому можно ожидать, что на территории Сибири образуется достаточно стабильная концентрация почвенно-эрозионных аэрозолей.

Большое влияние на окружающую среду и климат оказывают АА, образующиеся в процессе вулканической деятельности или в результате эмиссии из разломов земли аэрозольных частиц или химически активных газов. В [8] приведена карта расположения тектонических зон в различных регионах земного шара. Из нее видно, что такие зоны находятся как в районах Восточной и Южной Сибири, так и в приграничных территориях. К настоящему времени на территории Сибири, в основном на базе биологиче-

ских и геофизических стационаров Сибирского отделения РАН, создана система наземного мониторинга, где ведутся систематические наблюдения за различными характеристиками АА. Система охватывает значительную часть Сибирского региона, протяженностью с юга на север и с востока на запад более 1 000 км [1].

**Результаты мониторинга атмосферных аэрозолей.** Свойства АА определяются такими характеристиками, как спектр размеров, концентрация, химический состав и морфология частиц. Поэтому основное внимание уделялось измерению и изучению их пространственно-временного изменения.

**Дисперсный состав.** Измерения спектра размеров АА в двух точках – в Новосибирской области и в районе оз. Байкал – в диапазоне от  $10^{-3}$  до  $10^2$  мкм показали, что формы кривых распределения в обеих точках наблюдений практически совпадают. Так как расстояние между точками наблюдения составляет около 1300 км, то можно говорить о том, что на формирование спектра размеров АА в Сибири оказывают влияние процессы глобального масштаба. Распределение частиц по размерам имеет три моды. Весь спектр размеров может быть удовлетворительно аппроксимирован зависимостью, которая по классификации Витби [9] характеризует АА удаленных континентальных территорий. Параметры распределения, определенные экспериментально [10, 11], приведены в табл. 1.

Из таблицы видно, что 80 % частиц находятся в наиболее мелкой (нуклеационной) моде, 20 % от общего числа частиц сосредоточены во второй (аккумуляционной) моде. Это наиболее долгоживущая часть спектра размеров частиц АА.

Удельная поверхность играет решающую роль как при оценке влияния АА на радиационный теплообмен в атмосфере, так и на различные физико-химические процессы, связанные с участием аэрозольных частиц в различных атмосферных процессах. Наиболее существенно это проявляется при анализе влияния АА на климат, а также на процессы химического превращения различных химически активных газовых составляющих атмосферы.

Из табл. 1 видно, что почти 91 % суммарной удельной поверхности приходится на вторую моду. Если счетная концентрация и удельная поверхность в основном (более 98 %) находят-

Т а б л и ц а 1

**Микрофизические характеристики АА Сибири**

Характеристика АА	Мода 1	Мода 2	Мода 3
Счетная концентрация			
$d_{i50}$ , мкм	0,024	0,17	1,6
$\sigma_{ig}$	1,6	1,6	2,4
$N_i$ , см <sup>-3</sup>	5200	1300	0,3
%	80	20	–
Удельная поверхность			
$d_{i50}$ , мкм	0,030	0,21	3,4
$\sigma_{ig}$	1,6	1,6	2,4
$S_i$ , см <sup>2</sup> /см <sup>3</sup>	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-8}$
%	7,6	90,7	1,7
Массовая концентрация			
$d_{i50}$ , мкм	0,033	0,24	5,0
$\sigma_{ig}$	1,6	1,6	2,4
$i$ , г/см <sup>3</sup>	1	1	2,6
$M_i$ , мкг/м <sup>3</sup>	0,1	9,4	52,5
%	0,1	15,2	84,6

ся в субмикронной ( $d < 1$  мкм) части спектра, то массовая концентрация АА, как видно из таблицы, определяется грубодисперсной ( $d > 1$  мкм) фракцией. Это, как правило, фракция аэрозольных частиц, которая образуется в результате почвенной эрозии. Из таблицы видно, что эти частицы находятся в третьей моде. Доля ее массы составляет около 85 % от суммарной массовой концентрации.

Изучение суточного изменения счетной концентрации показало, что в течение суток наблюдается два максимума: утренний и вечерний. Установлен также суточный цикл изменения спектра размеров субмикронной фракции АА [10]. Анализ выясненных закономерностей удовлетворительно описывается моделью фотохимической конверсии газ-предшественник – аэрозольная частица [10, 11].

Предложенная физико-химическая модель образования и трансформации субмикронной фракции АА подтверждается также и экспериментальными данными сезонных изменений светорассеяния аэрозольными частицами [12, 13].

Помимо почвенной эрозии, заметный вклад в массовую концентрацию грубодисперсной фракции вносят крупные лесные пожары и пыльца древесных растений в период их цветения [14–16].

**Химический состав АА.** Исследование многоэлементного состава АА позволяет получить важную информацию о типе аэрозольных частиц, а также о возможных источниках их образования. Установлено, что совокупность эле-

ментов, содержащихся в аэрозольных частицах, можно разбить на три класса в зависимости от их распределения по частицам разного размера. Первый включает аэрозоли, в которых элементы (такие как Са, Тi, Fe, Rb, Sr, Y, Zr и др.) в основном (98 %) находятся в грубодисперсной фракции ( $d > 1$  мкм). Эти частицы образуются в результате ветровой эрозии почв. Ко второму классу относятся частицы, в которых элементы (например, Sc, V, Cu, Вг и др.) главным образом (64 %) концентрируются в субмикронной фракции ( $d < 1$  мкм). Это частицы техногенной природы.

К третьему классу относятся частицы, в которых элементы (такие как Mn, Zn, As, Pb и др.) достаточно равномерно распределены по всему спектру размеров. Это частицы смешанного типа [16].

В последние десятилетия большое значение придается изучению проблемы техногенной нагрузки на окружающую среду и в связи с этим – вопросу о влиянии уровня загрязнения на здоровье людей. Если в промышленной гигиене степень загрязнения рабочего места исследуется уже более полувека, то проблема непреднамеренного воздействия на региональном и глобальном уровнях была впервые осознана человеческим сообществом в середине 60-х гг. во время интенсивного испытания ядерного оружия [17]. Несмотря на запрещение ядерных испытаний в конце 60-х гг., внимание к проблеме радиоактивного загрязнения не ослабевает, и особенно острым становится вопрос об отдаленных последствиях воздействия загрязнения на здоровье населения, подвергшегося непосредственному воздействию радионуклидов во время прохождения аэрозольного облака от ядерных взрывов, а также в результате попадания долгоживущих нуклидов в организм человека из-за миграции по пищевым цепям. Это привело к необходимости изучения закономерностей переноса и миграции радионуклидов в объектах окружающей среды [18–21].

Катастрофа на Чернобыльской АЭС в 1986 г. вновь продемонстрировала, какая опасность угрожает человечеству в результате аварий на особо опасных промышленных предприятиях [22].

В середине 60-х гг. внимание общественности привлекает проблема непреднамеренного влияния на биосферу и здоровье населения широкомасштабных обработок растений против вредителей и болезней хлороорганическими пес-

тицидами. Глубокие и систематические исследования этих вопросов привели к тому, что в конце 70-гг. сформировалось понимание важности всесторонней оценки антропогенной нагрузки на биосферу [23, 24].

В результате к настоящему времени проблема загрязнения окружающей среды и здоровья населения признана одной из наиболее важных [25].

Анализ пространственно-временного изменения многоэлементного состава АА позволяет выяснить типы источников и масштабы их влияния на уровни загрязнения окружающей среды. На рис. 1 показаны закономерности изменения относительной концентрации ( $X_{Fe}$ ) различных элементов, экспериментально наблюдаемых в составе АА как на юге (*a, б, в*), так и на севере (*г*) Западной Сибири.

Темными точками на рис. 1, *a, б, в* показаны средние геометрические значения измерений в пос. Ключи (лесостепная зона), светлыми квадратиками показаны значения измерений в пос. Карасук (степная зона). На рис. 1, *г* точками представлены результаты измерений в

пос. Тарко-Сале (лесотундровая зона), а квадратиками – в пос. Самбург (тундровая зона). Значение  $X_{Fe}$  вычислялось по следующему соотношению:

$$X_{Fe} = \frac{C_i}{C_{Fe}},$$

где  $C_i$  – среднее геометрическое значение массовой концентрации  $i$ -го элемента в аэрозольных частицах;  $C_{Fe}$  – аналогичная величина при измерении концентрации железа.

Из приведенных данных видно, что темные точки и светлые квадратики располагаются достаточно близко друг к другу. Так как расстояние между Ключами и Карасуком около 450 км, а между Тарко-Сале и Самбургом примерно 250 км, отмеченный факт указывает на то, что многоэлементный состав АА Западной Сибири слабо зависит от пространственных масштабов для выбранного времени года.

Чтобы выяснить источники АА, обратим внимание на кривую, проведенную жирной линией на рисунках 1, *a–г*. Она представляет относительное содержание различных элементов в земной коре (кларк элементов).

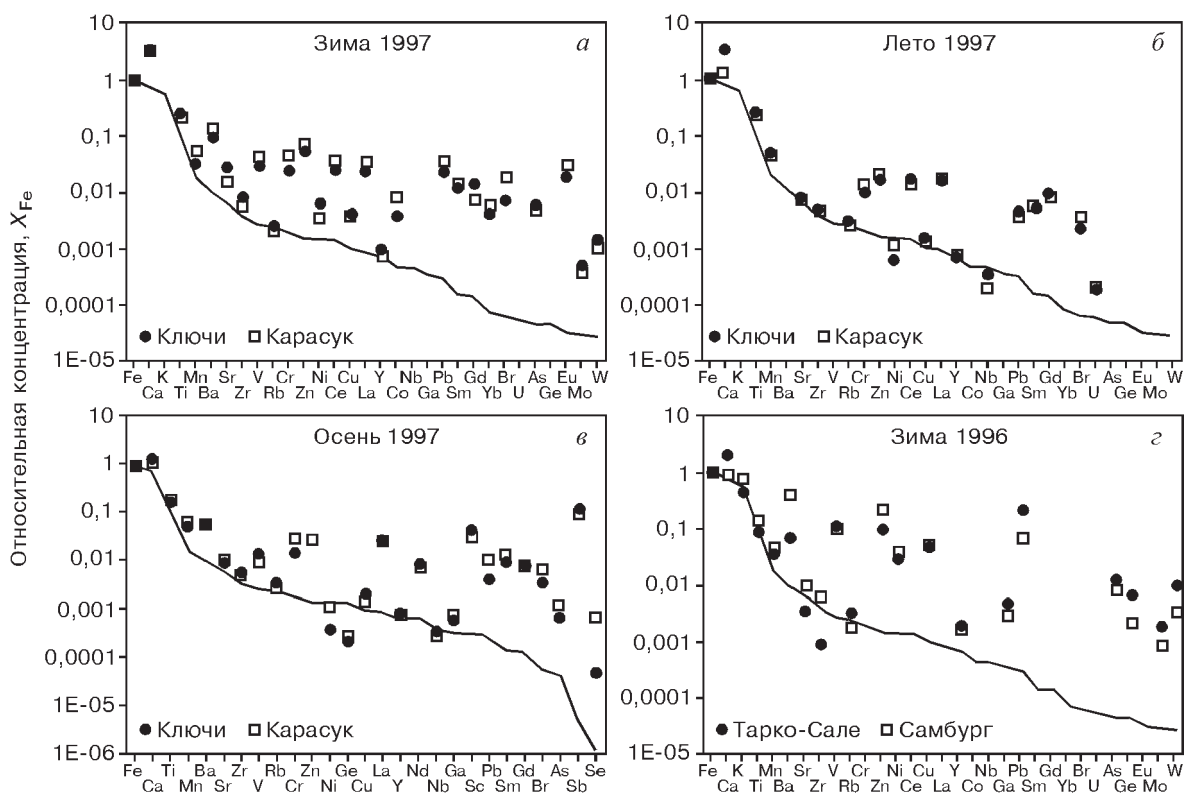


Рис. 1. Пространственно-временное изменение многоэлементного состава атмосферных аэрозолей в Западной Сибири.

**Массовая концентрация (нг/м<sup>3</sup>) различных элементов атмосферных аэрозолей на севере и юге Западной Сибири зимой**

Регион	Места отбора проб	Антропогенные элементы							
		V	Zn	Ni	Cu	Pb	As	Ge	
Север	Тарко-Сале	16	18	5	9	40	6	1	
	Самбург	13	27	4	7	9	1	0,3	
Юг	Ключи	21	38	2	7	15	1	0,7	
		Почвенно-эрозионные элементы							
		Ca	Ti	Mn	Sr	Zr	Rb	Y	Fe
Север	Тарко-Сале	380	17	8	0,7	0,2	0,7	0,2	190
	Самбург	120	18	6	1,2	0,8	0,3	0,2	130
Юг	Ключи	2400	300	90	21	12	6	1,2	1800

Из сравнения экспериментальных данных и положения кривой видно, что число элементов, попадающих на кларковую кривую, зависит от времени года. Элементы, содержание которых соответствует кларку, относят к источникам почвенно-эрозионного типа. В том случае, если величина  $X_{Fe}$  какого-либо элемента превышает кларковое значение более чем в 10 раз, то говорят об антропогенном источнике загрязнения атмосферы. По определению, отношение  $X_{Fe}/(X_{Fe})_{\text{кларк}}$  называют коэффициентом обогащения (ЕФ). Поэтому по величине ЕФ все элементы можно разделить на две группы. К первой группе (ЕФ < 10) относят элементы, которые содержатся в частицах, образуемых ветровой эрозией почв. Во вторую группу (ЕФ > 10) попадают элементы, содержание которых связано с частицами от антропогенных источников. Из рис. 1 легко видеть, что отношение числа элементов в АА от природных и техногенных источников меняется в зависимости от сезона года. В зимний период преобладают элементы, эмитируемые антропогенными источниками. В летний период, наоборот, большинство элементов обусловлено интенсивностью почвенно-эрозионной активности.

В табл. 2 приведены значения массовых концентраций двух классов элементов в АА в зимний период. Из табл. 2 видно, что массовые концентрации элементов, связанных с почвенно-эрозионными процессами образования АА, на юге Западной Сибири выше, чем на севере, в 6 (Ca, Y) – 60 (Zr) раз.

Для элементов, содержание которых обусловлено эмиссией из техногенных источников, массовая концентрация на севере равна или превышает величину, наблюдаемую в южных районах региона.

Этот факт указывает на то, что процессы, связанные с появлением элементов второго класса, носят глобальный характер. Распространение элементов, образующихся в результате почвенной эрозии, обусловлено процессами регионального масштаба.

В табл. 3 приведены результаты анализа экспериментальных данных определения многоэлементного состава аэрозольных частиц диаметром крупнее 0,3 мкм, полученных методом сканирующей электронной микроскопии с электронным микрозондом (ЕРХМА). Различные методы статистического анализа экспериментальных данных позволяют идентифицировать типы источников атмосферных аэрозолей в Сибирском регионе. Из этих результатов удалось выяснить ряд особенностей в составе АА Сибири. Так, в зимний период достаточно четко выделяется вклад в уровень загрязнения атмосферы источников антропогенного типа. Отчетливо выделяются частицы летучей золы, образуемые в результате выбросов тепловых электростанций, а также частицы, связанные с деятельностью предприятий цветной металлургии (частицы с повышенным содержанием Pb и Zn). В летний период обнаруживается значительное число частиц биологического происхождения. Частицы с повышенным содержанием Fe и Ca в зимний период встречаются чаще, чем летом [26–28]. Нет какой-либо значимой разницы в химическом составе индивидуальных частиц, отобранных в разных районах Сибири в один и тот же сезон года. Это подтверждает вывод о том, что атмосферные аэрозоли в Сибири хорошо перемешаны и образуют систему глобального масштаба – "Сибирскую дымку"

## Многоэлементный состав индивидуальных аэрозольных частиц

Озеро Байкал, лето					
Верхняя часть		Средняя часть		Нижняя часть	
Элементный состав	Относительная доля, %	Элементный состав	Относительная доля, %	Элементный состав	Относительная доля, %
Al, Si, Fe	45,0	Al, Si, Fe	71,7	Al, Si, Fe	35
Органика	25,2	Ca, S	14,3	Кварц	24,5
Ca, S	13,3	Fe-обогащ.	5,3	Al-обогащ.	7,1
P, K, Cl, S	5,8	Cl, K, P, S	2,4	P, K, Cl	6,0
Fe-обогащ.	4,4	Al-обогащ.	0,6	Pb-обогащ.	0,2
S-обогащ.	3,9	S-обогащ.	3,7	S-обогащ.	6,4
Zn-обогащ.	1,2	Zn-обогащ.	1,1	Ca, S	4,7
Al-обогащ.	0,9	Ti-обогащ.	1,0	Ti-обогащ.	0,4

Новосибирская область							
Карасук, зима		Карасук, лето		Ключи, зима		Ключи, лето	
Элем. состав	Отн. доля, %	Элем. состав	Отн. доля, %	Элем. состав	Отн. доля, %	Элем. состав	Отн. доля, %
Al, Si, Fe	57,4	Al, Si, Fe	64	Al, Si, Fe	57,3	Al, Si, Fe	53,5
кварц	11,5	Fe-обогащ.	10,4	Si-обогащ.	24,3	Ca, S	19,6
Ca, S	13,3	Ca, S	10,3	Органика	9,9	Zn, Fe, Ti	8,6
Fe-обогащ.	9,1	Cl, K, P, S	7,2	Ca, S	5,1	Fe-обогащ.	8,0
Pb-rich	5,2	Ca, Si	6,8	Fe-обогащ.	3,4	P, S, K, Cl	6,0
S-обогащ.	3,5	Pb-обогащ.	1,3			S-обогащ.	3,6
Zn-обогащ.	1,2						
Ti-обогащ.	0,8					Pb-обогащ.	0,9

[26]. В том случае, когда известен тип источника или источник может быть точно идентифицирован, нетрудно определить многоэлементный состав аэрозолей от конкретного источника и оценить его долю в массовой концентрации АА.

В частности, измерены многоэлементный состав от крупного лесного пожара и пылевая компонента АА Сибири [4, 29, 30].

**Ионный состав.** Другой важной компонентой АА Сибири является водорастворимая часть, которую можно охарактеризовать ионным составом. Эта составляющая была исследована в различных частях Сибирского региона [31–34]. Данные по ионному составу водорастворимой части аэрозолей (ИСАА) и мокрых осадков (ИСАР) позволяют выяснить вклады газофазных и эрозийных составляющих в процессах их формирования на основе учета соотношения ионов атмофильных и литофильных элементов. Эти данные имеют самостоятельное значение в связи с проблемой "кислотных дождей", причиной которых является дефицит катионов, нейтрализующих анионы, генерируе-

мые в атмосфере из газовой фазы или поступившие с летучими кислотами [6, 35, 36].

Совместное изучение ИСАА и ИСАР в одних и тех же пунктах наблюдений расширяет возможности анализа факторов формирования, переноса и стока компонентов атмосферы. Полученные нами данные показывают, что на юге Западной Сибири ИСАА и ИСАР отличаются повышенной долей литофильных элементов, что может быть следствием дальнего воздушного переноса солей наземного происхождения.

В 1994–1998 гг. в Новосибирской области были проведены комплексные исследования ИСАА и ИСАР в нескольких точках, расположенных на достаточном удалении от воздействия локальных техногенных источников и друг от друга. Сопоставление массовой концентрации аэрозолей и общей минерализации мокрых осадков с данными для других регионов позволяет полагать, что выбранные точки отражают региональный аэрозольный фон для юга Западной Сибири. Стехиометрические соотношения молярных концентраций ионов и данные

статистического факторного анализа показывают наличие региональных особенностей ИСАА и ИСАР, проявляющихся в высокой доле вклада терригенных источников не только в летний, но и в зимний периоды, когда местные наземные источники изолированы снежным покровом. Газофазные процессы генерации ИСАА дополняются реакциями нейтрализации с катионами солей из наземных источников, что приводит к отсутствию закисления мокрых выпадений на юге Западной Сибири. Отмечено различие ионного состава аэрозольных частиц и мокрых осадков, наиболее заметное по соотношению хлорида и сульфата. Эти региональные особенности ИСАА и ИСАР могут быть следствием атмосферного переноса терригенных солей из регионов, расположенных к юго-западу от Новосибирской области.

Рис. 2 иллюстрирует изменчивость ионного состава на значительной части территории Сибири. Примечательной особенностью этих результатов является необычно высокое содержание ионов натрия в Новосибирской области, которая удалена на значительные расстояния от морей и океанов. Возможные причины этого можно связать с дальним переносом почвенно-эрозионных частиц либо с засоленных почв Кулундинской степи, либо с территории Аральского моря. Стрелкой на этом рисунке отмечено среднее климатическое направление ветра в период, соответствующий отбору проб.

Таким образом, данные метеонаблюдений подтверждают сделанные нами предположения. Общий химический состав АА в Сибири и его сезонные изменения приведены на рис. 3. Из этого рисунка видно, что в летний период почвенно-эрозионные процессы – наиболее важный фактор, влияющий на химический состав АА в Сибири.

В то же время в окрестностях мощных источников (индустриальные центры, крупные лесные пожары) хорошо перемешанные аэрозоли природного и антропогенного происхождения создают протяженные территории с повышенной концентрацией различных элементов и частиц, в десятки и сотни раз превышающей концентрации фоновых районов.

На рис. 4 (а-г) приведен пример влияния эмиссии аэрозолей на изменение химического состава АА в Новосибирской области.

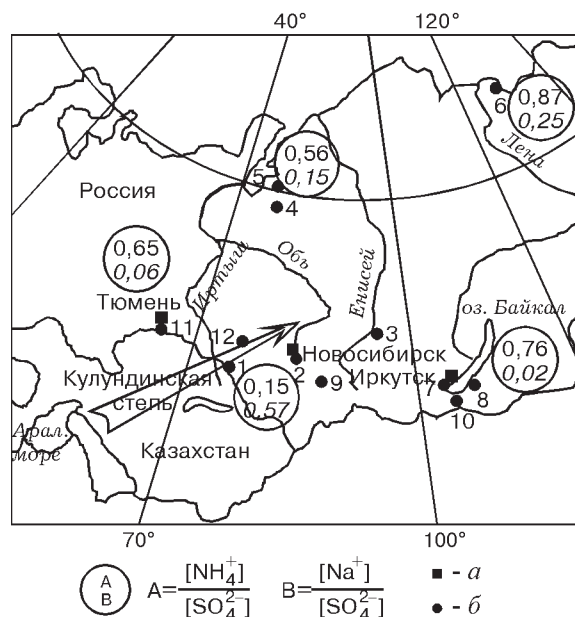


Рис. 2. Карта ионного состава атмосферных аэрозолей в Сибирском регионе.

а – большие города региона; б – места отбора проб.

1 – Карасук, 2 – Ключи, 3 – Погорельский Бор, 4 – Тарко-Сале, 5 – Самбург, 6 – Тикси, 7 – Листвянка, 8 – Танхой, 9 – Усть-Кан, 10 – Монды, 11 – Иестек, 12 – Чаны.

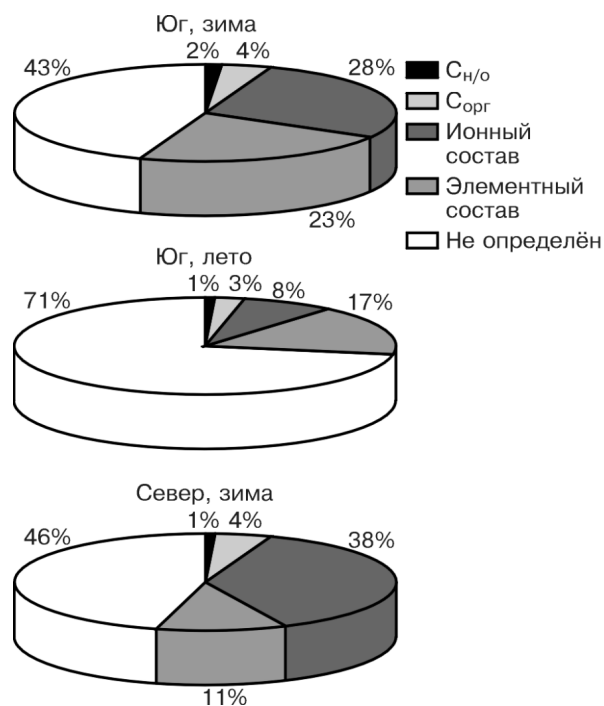


Рис. 3. Химический состав атмосферных аэрозолей в Западной Сибири.

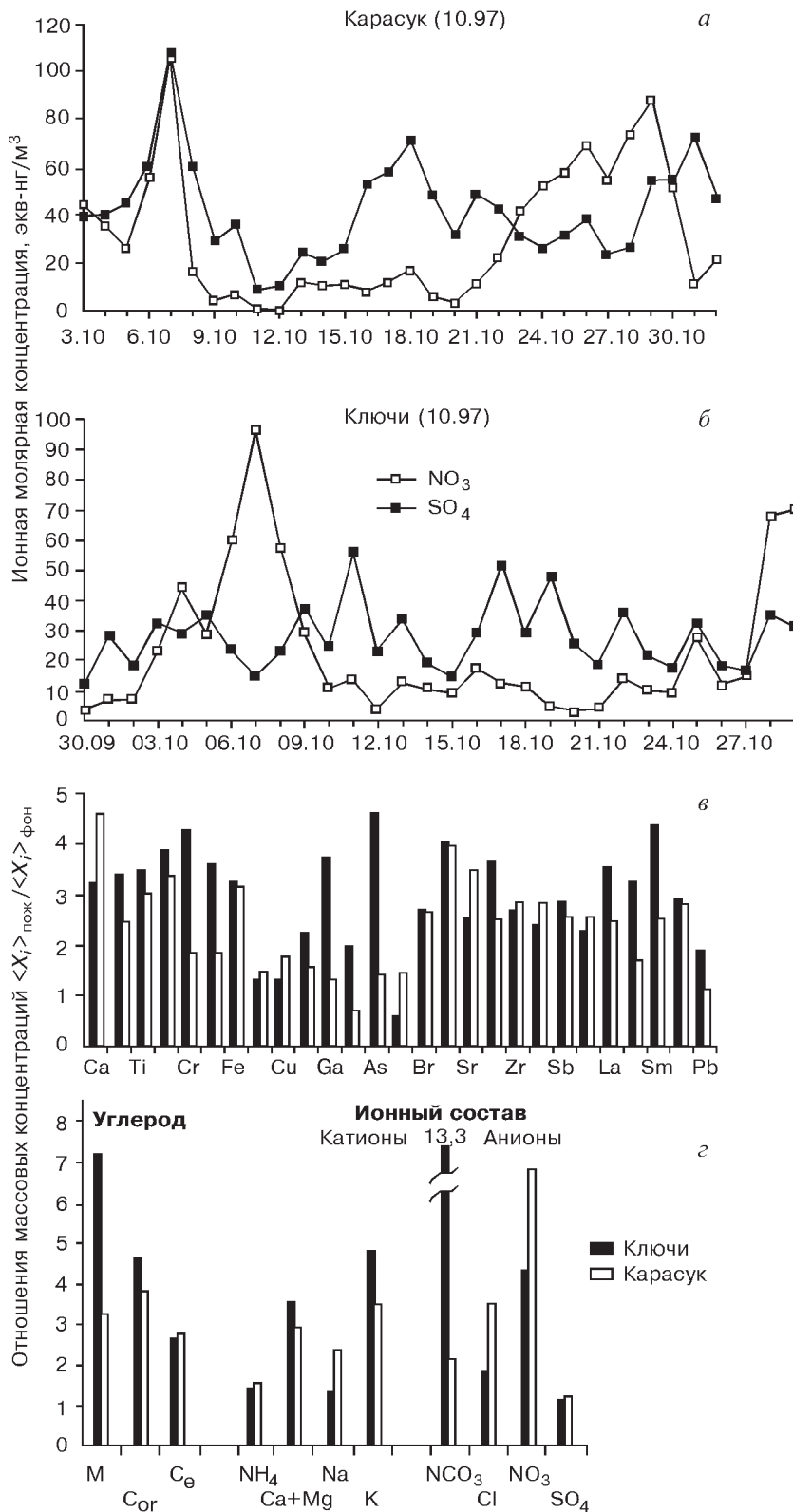


Рис. 4. Изменение химического состава атмосферных аэрозолей, образующихся при лесных пожарах.

В верхней части рисунка (а, б) показана динамика изменения концентрации нитратов (светлые квадратики) и сульфатов (темные квадратики) в октябре 1997 г. Из рисунков видно, что наряду с периодами значительного превышения концентрации сульфатов над нитратами, что характеризует ионный состав фоновых АА Сибири, наблюдаются протяженные (несколько дней) интервалы времени, когда отношение концентрации ионов имеет обратный смысл. Так как расстояние между точками наблюдений около 450 км, а периоды повышенных концентраций нитратов примерно одни и те же, то указанные промежутки наблюдений отнесем к периоду существования лесных пожаров. Это также подтверждается и данными нефелометрических наблюдений в Ключах.

На рис. 3, в показано изменение концентрации различных элементов в АА в период лесных пожаров по отношению к концентрации тех же элементов, когда пожары прекращались. Темными столбцами указано отношение для аэрозольных проб, отобранных в Ключах. Светлые столбцы показывают аналогичное отношение для образцов АА, отобранных в Карасуке. Видно, что для большинства элементов концентрация в период лесных пожаров превышает ее значение для фоновых условий в 1,5 – 4,5 раза.

Аналогичные результаты при измерении массовой



концентрации (М), содержания органического ( $C_{ог}$ ) и неорганического ( $C_e$ ) углерода, а также концентрации различных ионов представлены на рис. 4, з. Из этого графика видно, что концентрация и этих соединений, и элементов в АА, как правило, в период лесных пожаров заметно возрастает по сравнению с периодом, характеризующим фоновое состояние атмосферы.

При развитой конвекции летом влияние промышленных центров простирается на несколько десятков километров. В условиях устойчивой стратификации (зимой) зона влияния промышленного центра распространяется на сотни километров. Это приводит к образованию в некоторых частях Сибири зон повышенного техногенного загрязнения регионального масштаба. Начиная с конца весны вплоть до поздней осени в Сибири происходят лесные пожары, охватывая площадь в несколько миллионов гектаров. При этом в атмосферу попадает несколько миллионов тонн аэрозолей. Дымовые шлейфы от крупных лесных пожаров распространяются на расстояния в несколько сотен или тысяч километров, а высота дымовой колонки достигает нескольких километров.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Организованная в Сибири наземная система мониторинга АА позволяет получить достаточно разнообразную информацию об основных характеристиках аэрозольных частиц и их пространственно-временном изменении.

Разработана методика анализа указанной информации, позволяющая выявить источники атмосферных аэрозолей локального, регионального и глобального масштабов.

Таким образом, создана база для детального изучения влияния АА Сибири на изменение качества окружающей среды и оценки их влияния на уровни загрязнения биосферы, здоровье населения, а также на различные атмосферные процессы и климат.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. П. Куценогий, П. К. Куценогий, *Химия в интересах устойчивого развития*, 1997, 5, 457–471.
2. L. A. Barrie, *Atmospher. Environ.*, 1986, 20, 643.
3. К. П. Куценогий, *Оптика атмосферы и океана*, 1994, 7, 1015–1021.
4. К. П. Куценогий, Э. Н. Валендик, Н. С. Буфетов, В. Б. Барышев, *Сиб. экол. журн.*, 1996, 3: 1, 93.
5. Э. Н. Валендик, Там же, 1996, 3: 1, 1.
6. Ю. А. Израэль, И. М. Назаров, А. Я. Прессман и др., *Кислотные дожди*, Л., ГИМИЗ, 1989.
7. J. M. Pacyna, V. Ottar, *Atmospher. Environ.*, 1989, 23, 809.
8. V. Alekseev, N. Alekseeva, *Nucl. Geophys.*, 1992, 6: 1, 99.
9. K. T. Whitby, *Atmospher. Environ.*, 1978, 12, 135.
10. P. Koutsenogii, *Measurements of Remote Continental Aerosol in Siberia*, Ph.D., Mainz, 1992.
11. P. Koutsenogii, R. Jaenicke, *J. Aeros. Sci.*, 1995, 25, 377.
12. П. К. Куценогий, Н. С. Буфетов, Е. И. Киров, С. И. Шуйский, *Оптика атмосферы и океана*, 1995, 8: 9, 1355.
13. P. Koutsenogii, *Atmospher. Res.*, 1997, 44: 1–2, 167.
14. В. В. Головкин, П. К. Куценогий, Е. И. Киров и др., *Оптика атмосферы и океана*, 1998, 11: 6, 645.
15. В. В. Головкин, Е. И. Киров, К. П. Куценогий, Тез. докл. V Рабочей группы "Аэрозоли Сибири", 1998, 55.
16. P. K. Koutsenogii, N. S. Boufetov, A. I. Smirnova, K. P. Koutzenogii, *Nucl. Inst. Meth. Phys. Res.*, 1998, A405, 405.
17. И. Л. Кароль. Радиоактивные изотопы и глобальный перенос в атмосфере, Л., ГИМИЗ, 1972.
18. Радиоактивность атмосферы. Тр. ИЭМ, 1972, вып. 1(32).
19. Там же, 1970, вып. 17.
20. Радиоактивность природной среды. Тр. ИЭМ, 1977, вып. 6(64).
21. Ф. И. Павловская, Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах, М., Атомиздат, 1974.
22. В. К. Савченко, Экология Чернобыльской катастрофы, Минск, 1997.
23. Ю. А. Израэль, Экология и контроль состояния природной среды, М., ГИМИЗ, 1984.
24. Поведение пестицидов и химикатов в окружающей среде. Труды Советско-Американского симпозиума, Айова-Сити, США, октябрь 1987 г., Л., ГИМИЗ, 1991.
25. В. А. Коптюг, Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 года). Информационный обзор СО РАН, Новосибирск, 1992.
26. П. К. Куценогий, Х. Ван Малдерен, С. Хоорнаерт и др., *Оптика атмосферы и океана*, 1996, 9: 6, 712.
27. H. Van Malderen, R. Van Grieken, N. S. Boufetov, K. P. Koutsenogii, *Envir. Sci. Technol.*, 1996, 30: 1, 312.
28. H. Van Malderen, R. Van Grieken, T. V. Khodzher et al., *Atmosph. Envir.*, 1996, 30, 1453.
29. N. S. Boufetov, V. B. Baryshev, E. N. Valendik, K. P. Koutzenogii, International aerosol symposium. Atmospheric aerosol, v. 1, March 21–25, Moscow, 1994, 30.
30. В. В. Головкин, Г. А. Ковальская, Е. И. Киров и др., *Оптика атмосферы и океана*, 1998, 11: 7, 737.
31. Б. С. Смоляков, Л. А. Павлюк, А. М. Немировский и др., Там же, 1996, 9: 6, 773.
32. Б. С. Смоляков, Л. А. Павлюк, К. П. Куценогий и др., *Химия в интересах устойчивого развития*, 1997, 5: 2, 193.
33. Б. С. Смоляков, Л. А. Павлюк, К. П. Куценогий и др., *Оптика атмосферы и океана*, 1997, 10: 6, 656.
34. Б. С. Смоляков, К. П. Куценогий, Л. А. Павлюк и др., Там же, 1998, 11: 7, 723.
35. П. Бримблкомб, Состав и химия атмосферы, М., Мир, 1988.
36. Acidic Precipitations. Formation and Impact on Terrestrial Ecosystems. Ed. By Brandt. VDI-Kommission. Dusseldorf, 1987.

## **Aerosols of Siberia. Results of 7-year-long Studies**

K. P. KUTSENOGII, P. K. KUTSENOGII

Results of 7-year-long studies of characteristics of atmospheric aerosols (AA) in Siberia are analyzed. Data on particle size distribution, chemical and ionic composition of AA in the Siberian region are presented. The results of analysis of spatial-temporal variation of chemical composition and AA concentration have made it possible to detect local, regional and global-scale sources. Notions of AA structure in Siberia are formulated.