

В.Н. Макаров¹, С. Охта²

Органический и неорганический углерод в атмосферных аэрозолях Якутии

¹ Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск, Россия² Университет Хоккайдо, Япония

Поступила в редакцию 20.05.2004 г.

Приводятся результаты геохимического мониторинга газов и аэрозолей приземной атмосферы на атмосферо-химических станциях, расположенных на побережье моря Лаптевых (в районе пос. Тикси) и в Центральной Якутии (район г. Якутска). Рассматриваются особенности распределения органического и неорганического углерода в составе аэрозолей приземной атмосферы районов, расположенных в различных климатических условиях (резко континентальном, близком к ариднему и приморском гумидном), находящихся под воздействием качественно и количественно различного техногенного давления.

Геохимический мониторинг газов и аэрозолей приземной атмосферы проводится Институтом мерзлотоведения СО РАН (Россия) и Университетом Хоккайдо (Япония) с 1993 г. Распределение углерода в атмосферных аэрозолях изучается на атмосферо-химических станциях, расположенных на побережье моря Лаптевых (в районе пос. Тикси) и в Центральной Якутии (район г. Якутска).

Отбор проб атмосферных аэрозолей осуществляется на установках, состоящих из набора селективных фильтров, через которые с помощью насосов пропускается атмосферный воздух с фиксированной скоростью. Применяются два типа фильтров диаметром 47 мм: тефлоновые (Sumitomo Fuluoropore AF07P) для водорастворимых веществ и кварцевые волоконные (Palluflex 2500 QAT-UP) для углеродных частиц. Атмосферные аэрозоли, прошедшие через импактор с диаметром пор 2 мкм, отбираются на каждом фильтре с помощью насоса со скоростью прохождения воздуха 5 л/мин. Фильтры меняются через 30 дней. Контроль скорости прохождения воздуха через фильтры производится расходомером.

После отбора образцов из фильтра вырезаются несколько дисков диаметром 1 см. Половина дисков используется для определения общего содержания углерода. Вторая половина нагревается в электропечи при температуре 300 °С в воздухе в течение 30 мин для удаления органического углерода, затем они анализируются на содержание элементарного углерода. Разница между содержанием общего и элементарного углерода дает содержание органического углерода.

Определение углерода осуществляется на комбинации NC-анализатора (Sumitomo Chemical Industry Inc., модель NC-80) и газового хроматографа (Hitachi Inc., модель 163 FID) с никелевым каталитическим метанизатором и пламенно-ионизационным детектором. Аналитические методы позволяют определять минимум 1 мкг углерода [1].

В результате мониторинга получены многолетние данные о химическом составе газов и аэрозолей приземной атмосферы в районах, расположенных в различных климатических условиях (резко континентальном, близком к ариднему и приморском гумидном), находящихся под воздействием качественно и количественно различного техногенного давления.

Установлено, что углерод является доминирующим компонентом в составе аэрозолей атмосферы Якутии: суммарное содержание элементарного и органического углерода обычно составляет от 60–70% общего количества атмосферных аэрозолей в Центральной Якутии и 50–90% – в арктической зоне.

Параметры распределения содержания органического и неорганического углерода в приземной атмосфере района Якутска и Тикси показаны в табл. 1.

Таблица 1
Изменение концентрации органического и неорганического углерода в приземной атмосфере района Якутска и Тикси, мкг/м³

Концентрация	СТФ	ЕС	ОС	ОС/ЕС
<i>Якутск</i>				
Максимальная	42,0	16	29	
Минимальная	0,57	0,14	0,45	
Среднее	11,0	3,2	5,8	1,81
Количество проб	58	58	58	
<i>Тикси</i>				
Максимальная	3,0	1,7	2,0	
Минимальная	0,39	0,064	0,22	
Среднее	1,3	0,34	0,67	1,97
Количество проб	60	60	60	

Примечание. СТФ – общая концентрация аэрозолей в атмосфере; ЕС – элементарный углерод; ОС – органический углерод.

Содержание большинства компонентов аэрозолей (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , SO_4^{2-}) и элементарного углерода выше в зимней атмосфере. Относительно однородно в течение года содержание органического углерода. Например, в районе Якутска содержание большинства компонентов аэрозолей и элементарного углерода в зимней атмосфере города в 1,5–3,5 раза превышает летние концентрации (табл. 2).

Таблица 2

Среднее содержание общей концентрации аэрозолей, органического и неорганического углерода в приземной атмосфере Якутска, $\text{мкг}/\text{м}^3$

Период года	СТФ	ЕС	ОС	ΣС	ОС/ЕС	<i>n</i> *
Летний (июнь–август)	16,8	3,0	6,7	9,7	2,23	13
Зимний (ноябрь–март)	17,9	5,2	7,2	12,4	1,38	28
Зима/лето	1,1	1,7	1,1	1,16	–	–

* *n* – количество проб.

Концентрация органического и неорганического углерода в приземной атмосфере района Тикси также подвержена значительным колебаниям в течение года. Содержание элементарного углерода в аэрозолях заметно выше в зимней атмосфере прибрежного района и значительно (в 2,1 раза) превышает летние концентрации. Несколько меньшее накопление характерно для органического углерода (табл. 3).

В отдельные годы (август 1996-го, июль–июль 1998 г.) концентрация углерода в летний период повышается в 2–3 раза (табл. 4) в связи с лесными

пожарами, которые охватывают значительные территории. Так, в июне 1998 г. на территории Якутии было обнаружено 337 очагов лесных пожаров, сгорело и повреждено около 2,1 млн м^3 древесины [2]. В эти периоды соотношение ЕС и ОС меняется в сторону еще большего преобладания органического углерода. Например, в августе 1996 г. в период интенсивных лесных пожаров отношение ОС/ЕС в районе Якутска составило 2,64.

Таблица 3

Среднее содержание органического и неорганического углерода в приземной атмосфере района Тикси, $\text{мкг}/\text{м}^3$

Период года	СТФ	ЕС	ОС	ΣС	<i>n</i>
Летний (июль–август)	1,20	0,09	0,81	0,90	15
Зимний (ноябрь–март)	2,03	0,19	1,11	1,30	25
Зима/лето	1,7	2,1	1,4	–	–

Влияние лесных пожаров, большинство которых возникло в таежной зоне Якутии, приводит к незначительному повышению концентрации углерода в атмосферных аэрозолях тундры – в районе пос. Тикси, т.е. на расстоянии около 1 000 км.

Расчеты, выполненные сотрудниками Института космифизики СО РАН (г. Якутск) по методике, предложенной в работе канадских исследователей [3], показывают, что в результате лесных пожаров в Центральной Якутии в 1999 г., когда сгорело свыше 97 млн т лесной биомассы (рис. 1), в атмосферу поступил большой объем парниковых газов: CO_2 – 73; CO – 4,8; CH_4 – 0,4 млн т (табл. 5).

Таблица 4

Средняя концентрация органического и неорганического углерода в атмосферных аэрозолях в летний период (июль–август), $\text{мкг}/\text{м}^3$

Станция	Период	ΣС	ОС	ЕС	ОС/ЕС
Якутск	Без пожаров (<i>n</i> = 6)	5,52	3,37	2,15	1,57
	С пожарами (<i>n</i> = 7)	12,40	8,95	3,45	2,59
	Пожары/ясно	2,25	2,66	1,60	–
Тикси	Без пожаров (<i>n</i> = 8)	0,82	0,57	0,24	2,37
	С пожарами (<i>n</i> = 7)	2,29	1,21	1,08	1,12
	Пожары/ясно	2,79	2,12	4,50	–

Таблица 5

Площади пожаров и эмиссия парниковых газов на территории Якутии [2]

Год	Площадь пожаров, 10^6 га	CO_2 (С), 10^6 т	CO (С), 10^6 т	CH_4 (С), 10^6 т
1995	0,12	2,1 (0,57)	0,2 (0,09)	0,011 (0,008)
1996	2,5	46,0 (12,54)	4,3 (1,84)	0,43 (0,32)
1998	1,1	19,0 (5,18)	1,8 (0,77)	0,17 (0,13)
1999	3,9	73 (19,91)	4,8 (2,06)	0,40 (0,30)

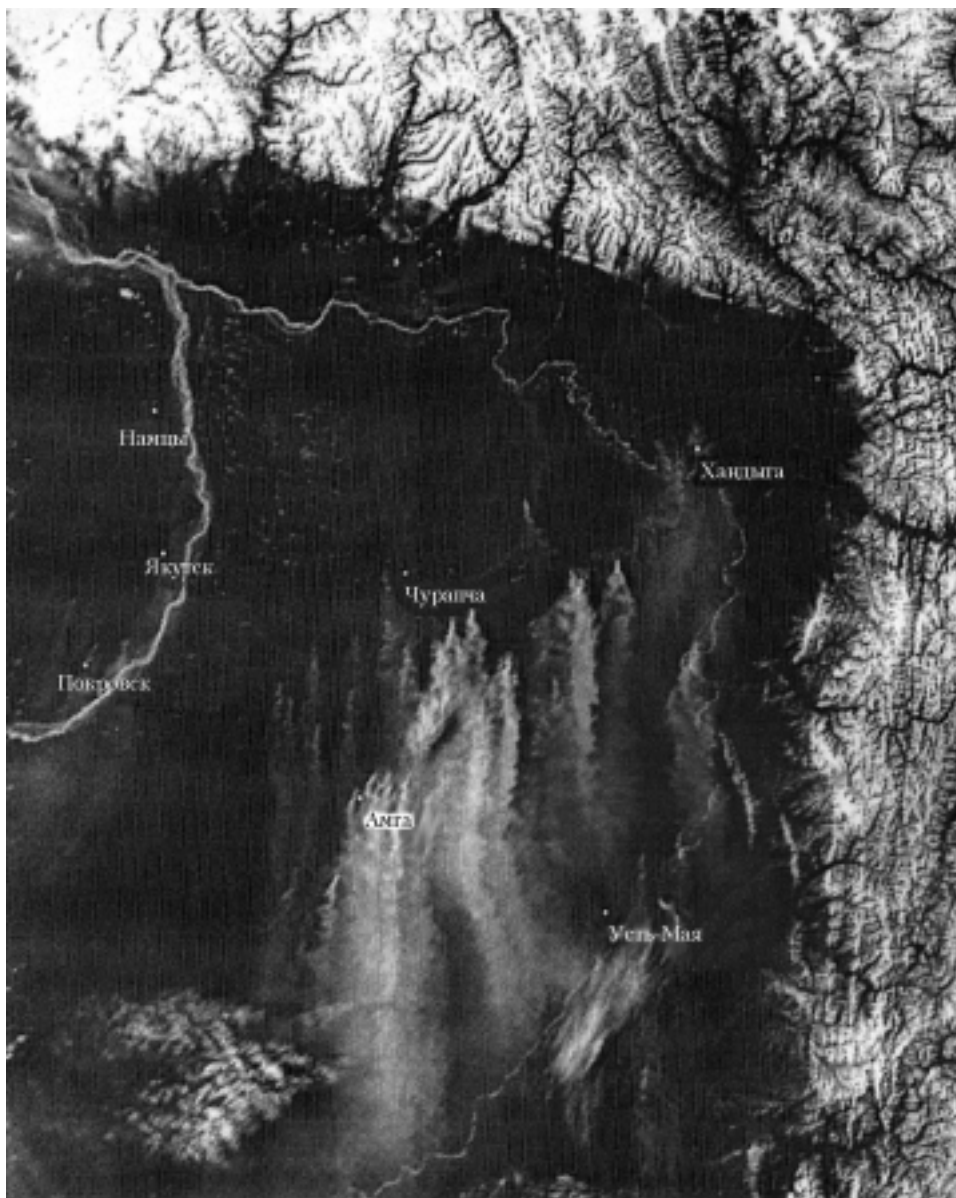


Рис. 1. Крупные лесные пожары на Лено-Алданском междуречье в Якутии (май, 1999 г.) по данным, полученным со спутника NOAA

Таблица 6

Соотношение площади пожаров, расчетной эмиссии углерода в атмосферу и содержания углерода в атмосферных аэрозолях

Год	Площадь, 10 ⁶ га	Жидкие осадки, мм	Эмиссия С, 10 ⁶ т	Летнее содержание С в аэрозолях, мкг/м ³	
				Якутск (n = 13)	Тикси (n = 15)
1994	—	200	—	5,6	0,6
1995	0,12	109	0,67	3,3	1,0
1996	2,5	162	14,7	7,6	1,6
1997	—	190	—	—	1,3
1998	1,1	115	6,08	12,0	0,7
1999	3,9	190	22,3	36,1	0,7

Площади пожаров, величина расчетной эмиссии углерода в атмосферу и содержание углерода в атмосферных аэрозолях на станциях Якутска и Тикси в период 1994–1999 гг. приведены в табл. 6.

Сравнение расчетных данных об эмиссии углерода в атмосферу [2] и наблюдаемых значений содержания углерода в атмосферных аэрозолях на станции Якутск показывает существование функ-

циональной связи между сравниваемыми величинами (рис. 2). Такой связи с данными о содержании углерода в атмосферных аэрозолях на станции пос. Тикси не отмечается.

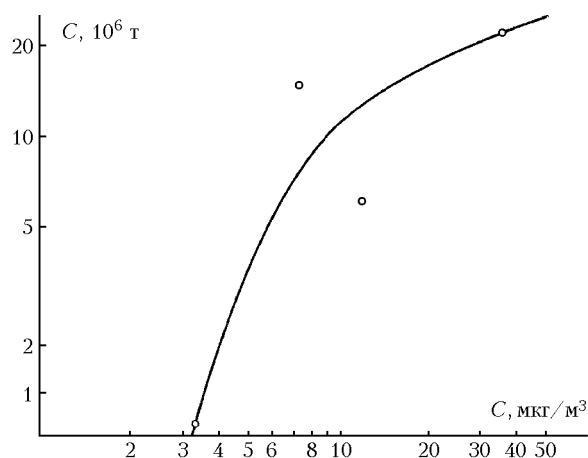


Рис. 2. Зависимость между эмиссией углерода в атмосфере и содержанием углерода в атмосферных аэрозолях на станции Якутск

В атмосфере Центральной Якутии преобладает локальный перенос осадочного материала и антропогенных выбросов, велико влияние лесных пожаров,

на побережье моря Лаптевых — преимущественно дальний и глобальный тропосферный перенос [1].

Американские [4] и японские [5] ученые изучали состав атмосферных аэрозолей в окружающей среде США и Японии: в крупных городах, промышленных районах, пригородах и отдаленных (фоновых) районах (табл. 7).

Концентрации общего содержания углерода и элементарного углерода в г. Якутске находятся примерно на том же уровне, что и в городах США (Плисантон, Лурей) и Японии (Саппоро, Канто). Фоновое содержание суммарного углерода и элементарного углерода на островах, расположенных в Тихом океане — Nachiyo-jima и Chichi-jima (Япония), несколько превышают соответствующие значения, наблюдаемые в прибрежном районе моря Лаптевых Северного Ледовитого океана (пос. Тикси). Можно заключить, что в фоновых районах концентрации элементарного углерода составляют 0,3–1,4 мкг/м³ (около 6–20% от общей массы аэрозолей).

Максимальные концентрации общего содержания углерода и элементарного углерода, наблюдаемые в г. Якутске (май, 1999 г.), составляют 36,1 и 7,1 мкг/м³ соответственно, количество органического углерода в этот период достигло 29,0 мкг/м³.

Таблица 7

Средние концентрации углерода в аэрозолях (мкг/м³) окружающей среды США [4], Японии [5] и России (район исследований)

Город	Дата	$C_{\text{общ}}$	ЕС	ЕС/СТФ
США				
<i>Крупные города</i>				
Нью-Йорк	10.02–06.03.72	33,1	13,3	0,09
Вашингтон	9–28.06.72	11,6	6,5	0,11
Денвер	08.11–20.12.78	15,8	5,4	0,06
<i>Пригороды</i>				
Уоррен	1979–1980	12,3	3,7	0,06
Плисантон	13.08–05.09.72	9,6	3,2	0,03
<i>Промышленные города</i>				
Аббевиль	05.08–11.09.79	12,5	1,7	0,04
Лурей	14.07–15.08.80	9,4	1,7	—
Япония				
<i>Крупные города</i>				
Канто, окрестности Токио	1982	5–18	2–10	0,06–0,16
Саппоро	1982	4–19	3–8	0,09–0,23
<i>Фоновые территории</i>				
Nachiyo-jima	1981	1,2–3,2	0,6–1,4	
Chichi-jima	1981	0,8–2,5	0,4–1,3	
Россия				
<i>(наши данные)</i>				
Якутск	1993–1999	9,0	3,2	0,03
пос. Тикси		1,01	0,34	0,26

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке средствами интеграционного проекта № 11 в составе программы № 13 Президиума РАН.

1. *Ohta S., Fukasava T., Murao N., Makarov V.N.* Summer concentration of atmospheric pollutants in urban and rural areas of Siberia // *J. Global Environ. Engin.* 1995. V. 1. P. 15–26.
2. *Соловьев В.С., Васильев Е.К.* Спутниковый мониторинг лесных пожаров и оценка их последствий // *Наука и образование. Изд-во АН РС (Я).* 2000. № 4(20). С. 22–27.
3. *Charlson R.J., Schwartz S.E., Hales J.M.* Climate forcing by anthropogenic aerosol // *Science.* 1992. V. 255. P. 423–430.
4. *Wolff G.T., Groblicki P.J., Cadle S.H. and Countess R.J.* Particulate carbon at various locations in the United States // *Particulate carbon: Atmospheric Life Cycle* (edited by G.T. Wolff and R.L. Klimisch). New York: Plenum Press, 1982. P. 297–315.
5. *Ohta S., Okita T.* Measurement of particulate carbon in urban and marine air in Japanese areas // *Atmos. Environ.* 1984. V. 18. N 11. P. 2439–2445.

V.N. Makarov, S. Ohta. **Organic and inorganic carbon in atmospheric aerosols in Yakutia.**

This paper presents analysis of the results of geochemical monitoring of gases and aerosols in the near-surface atmosphere which has been carried out by the Permafrost Institute, Russia, and Hokkaido University, Japan, since 1993. Measurements of aerosol carbon concentrations in the atmosphere have been made at at-mo-geochemical stations located on the Laptev Sea coast (near Tiksi) and in Central Yakutia (near Yakutsk). As a result of monitoring studies, long-term data have been obtained on the chemical composition of atmospheric gases and aerosols for the areas with different climates (the nearly arid, continental climate at Yakutsk and the humid, maritime climate at Tiksi) and with different, both quantitatively and qualitatively, anthropogenic impact.