

Б.Д. Белан, В.К. Ковалевский, Д.В. Симоненков, Г.Н. Толмачев, Т.М. Рассказчикова

СТРУКТУРА АЭРОЗОЛЬНЫХ «ШАПОК» НАД ПРОМЫШЛЕННЫМИ ЦЕНТРАМИ

По данным самолетного зондирования анализируется вертикальное и горизонтальное распределение атмосферного аэрозоля над рядом городов России и Казахстана. Показано, что аэрозольная шапка над промышленными центрами имеет вертикальную протяженность 400–600 м и полностью определяется высотой внутреннего слоя перемешивания. Горизонтальная протяженность ее, по-видимому, составляет десятки километров. Массовая концентрация аэрозоля в шапке в 2–8 раз выше, чем в приземном слое. Обогащение отдельных элементов в шапке может достигать 350 раз. Химический состав аэрозоля существенно отличается от приземного. При этом в каждом городе можно выделить характерный только для него моноэлемент, который наряду с особенностями химического состава выбросов может служить своеобразным паспортом промышленного центра при исследовании трансграничного переноса загрязнений воздуха.

Современный промышленный центр, на территории которого сконцентрировано большое количество жилых зданий и технологических объектов, представляет собой «остров» тепла в связи с тем, что на ограниченной площади выбрасывается в воздух значительное количество тепловой энергии. Неоднородное распределение температуры в его зоне вместе с орографией и наличием, как правило, больших водоемов приводит к образованию в окрестностях города местной циркуляции воздуха, способствующей накоплению примесей и появлению над ним шапки загрязнений [1, 2].

Кажущаяся простота этого явления (а шапка иногда хорошо видна визуально) привела к тому, что оно практически не изучено. Однако без учета закономерностей формирования шапки примесей прогноз уровня загрязнений воздуха в городе будет иметь низкую оправдываемость, весьма трудно устанавливать ареал воздействия выбросов города на окрестности, природоохранные мероприятия могут оказаться малоэффективными. В немногочисленных работах, посвященных исследованию распределения примесей над промышленными центрами [3–6], больше вопросов, чем ответов. В частности, до сих пор неизвестно: каковы масштабы шапок примесей по вертикали и горизонтали, каков их химический состав, каково обогащение элементов в шапке по сравнению с фоном или приземным воздухом в городе, как распределены примеси по вертикали и горизонтали и т.д. Более того, у многих специалистов природоохранных органов бытует заблуждение, что не следует проводить мониторинг загрязнений в шапке, так как их состав якобы не влияет на уровень концентрации примесей воздуха в приземном слое.

Тем не менее даже общие сведения указывают на то, что роль аэрозольной шапки чрезвычайно высока. Во-первых, слой примесей над городом ослабляет приток солнечного излучения, меняя радиационный баланс и, соответственно, тепловой режим на его территории. Во-вторых, в зависимости от состава ингредиентов в шапке может существенно измениться спектр приходящей солнечной радиации [7, 8]. При этом, как правило, сильнее поглощается ультрафиолетовая, фотосинтетически активная радиация. В-третьих, в шапке обычно интенсивно проходят фотохимические процессы, в результате которых из первичных выбросов в атмосфере образуются вторичные, более токсичные, чем исходные [9]. В-четвертых, из шапки на территорию города оседают большие аэрозольные частицы и газы с большим молекулярным весом, оказывая прямое воздействие на состав воздуха у поверхности земли [10, 11].

Естественно, что вклад каждого из перечисленных факторов неодинаков над разными городами и будет зависеть от характера промышленных предприятий, расположенных на их территории, от масштаба самих городов и их орографии, климатических характеристик зон, в которых они расположены, наличия вблизи городов крупных водоемов и т.п.

В данной статье представлены результаты исследования структуры аэрозольных шапок над городами, расположенными в России и Казахстане (табл. 1). Данные зондирования получены с помощью самолета-лаборатории Ан-30 «Оптик-Э» [12], по методике [13].

Таблица 1

Город	Период	Число проб по высотам							
		0	200	400	600	800	1000	1200	1400
Павлодар	13–20.03.1990	24	27	29	32	16	16	11	4
Усть-Каменогорск	03–10.04.1990	38	6	42	38	12	11	5	2
Хабаровск	20–30.06.1990	18	40	41	38	21	9	8	6
	10–19.12.1990	16	32	28	31	12	7	6	5
Нижний Тагил	01–06.11.1990	25	28	29	16	7	4	2	2
Комсомольск-на-Амуре	10–19.12.1990	24	12	37	36	19	8	6	4
Нижневартовск	19–29.08.1991	37	42	43	48	37	23	8	6
	24.11–03.12.1991	26	32	30	35	27	14	6	5

Таблица 2

Средняя концентрация компонентов аэрозоля (мкг/м³) у поверхности земли (C₀), на которую проводилась нормировка по высотам (C_H)

Город, времена года	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	Hg ²⁺	As ⁵⁺	Zn ²⁺	Cd ²⁺	F ⁻
Павлодар, весна	2,58	0,97	3,60	0,30	0,79	1,78	1,17	0,035	1,230	0,030	–	–
Усть-Каменогорск, весна	1,84	1,05	5,82	1,58	0,53	1,30	–	1,270	0,040	0,039	–	0,65
Хабаровск, лето	2,75	3,87	6,15	2,42	0,66	4,59	1,90	0,090	0,163	0,125	0,020	1,08
Хабаровск, зима	1,50	0,57	13,20	1,20	0,86	1,20	0,91	0,010	0,070	0,070	0,006	8,20
Нижний Тагил, осень	1,90	1,04	5,83	8,14	2,98	0,59	–	0,100	0,460	0,060	0,040	0,12
Комсомольск-на-Амуре, зима	2,17	0,42	2,85	3,24	0,25	–	2,68	–	0,100	0,138	0,046	1,15
Нижневартовск, лето	1,07	2,68	11,70	1,10	0,40	0,10	0,80	0,004	0,010	0,200	0,002	2,09
Нижневартовск, зима	0,63	0,57	22,75	1,20	0,43	–	0,16	–	–	0,060	0,008	3,10

Город, времена года	Si	Fe	Mn	Mg	Pb	Cr	Ni	Al	Ti	Ca	Cu	V
Павлодар, весна	0,27	0,46	0,006	0,060	–	0,057	0,020	5,70	0,044	0,80	0,050	0,001
Усть-Каменогорск, весна	3,56	0,70	0,003	0,003	0,005	0,007	–	–	0,780	0,45	0,014	0,006
Хабаровск, лето	4,57	0,79	0,042	0,340	0,004	0,025	0,012	2,53	0,473	1,99	0,050	0,129
Хабаровск, зима	29,20	9,80	0,130	0,670	0,006	0,100	0,100	4,71	0,180	7,26	0,240	0,001
Нижний Тагил, осень	–	4,90	0,090	0,610	–	0,100	0,060	1,40	0,140	26,63	0,040	0,003
Комсомольск-на-Амуре, зима	29,20	1,08	0,150	0,400	0,001	0,098	0,273	1,61	0,100	3,15	0,238	0,003
Нижневартовск, лето	17,32	6,70	0,300	20,400	0,080	0,270	0,010	10,10	0,280	26,09	0,070	0,007
Нижневартовск, зима	0,41	0,74	0,003	0,48	0,030	0,110	0,010	0,82	0,300	5,42	0,050	0,006

Примечание. Тире в графе обозначает, что элемент не определялся или его концентрация была ниже порога обнаружения.

Поскольку в статье анализ построен в основном на относительных характеристиках (все высотные распределения нормированы на значение концентрации у поверхности), то в табл. 2 приведены приземные концентрации химических компонентов, что, при желании, позволит перейти к абсолютным величинам.

Вначале рассмотрим среднее вертикальное распределение массовой концентрации аэрозоля над некоторыми городами. Из рис. 1 видно, что в шапках она может превышать концентрацию у поверхности земли от 2,6 (Усть-Каменогорск) до 10,8 раза (Комсомольск-на-Амуре). Высота расположения максимума концентрации изменяется от 200 до 400 м. Верхняя граница шапки прослеживается достаточно четко и располагается на высоте 400...600 м, изменяясь в этих пределах над разными городами. Тем самым аэрозольная шапка над городом отражает динамику внутреннего слоя перемешивания, которая, по ранее полученным данным [14], и заключена в этих пределах.

В Нижневартовске и Хабаровске зондирование проводилось дважды: зимой и летом, что позволяет оценить сезонную динамику аэрозольной шапки. Из рис. 2 видно, что от зимы к лету высота максимума концентрации повышается и меняется отношение приземной концен-

трации и концентрации в максимуме. Так, в Хабаровске максимум повышается с 200 до 400 м, в Нижнеартовске с 600 до 800 м. При этом в Хабаровске отношение концентраций в шапке и у поверхности земли от зимы к лету уменьшается, а в Нижнеартовске увеличивается и появляется вторичный максимум на высоте 400 м. Такая картина отражает географические особенности расположения этих городов. В частности, вблизи Нижнеартовска расположены месторождения Мегион и Самотлор, на которых до сих пор горят факелы, сжигающие сопутствующий добыче нефти газ.

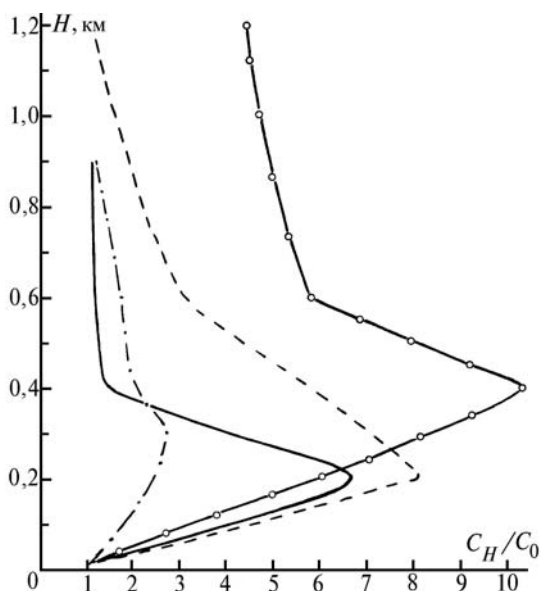


Рис. 1. Нормированное вертикальное распределение аэрозоля над городами: — Хабаровск (зима); --- Павлодар (весна); - · - Усть-Каменогорск (весна); -○-○- Комсомольск-на-Амуре (зима)

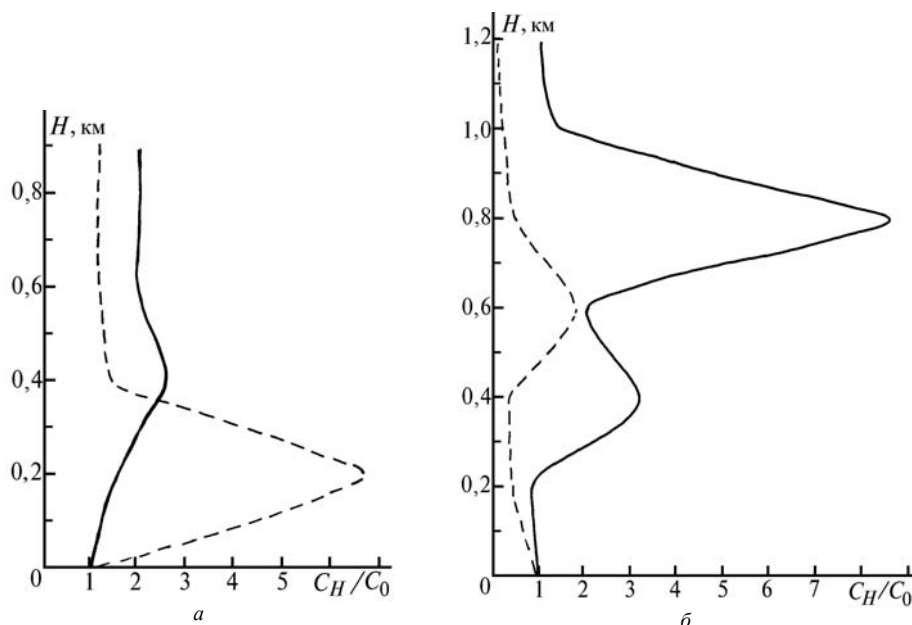


Рис. 2. Нормированное вертикальное распределение аэрозоля над городами: а – Хабаровск, б – Нижнеартовск; — лето, --- зима

По сложившимся представлениям формирование аэрозольной шапки происходит в результате суперпозиции нескольких механизмов. Это выбросы автотранспорта и низкорасположенных источников, рассеивающихся в пределах внутреннего слоя перемешивания; испаряющиеся с поверхности земли аэрозолеобразующие вещества, которые в атмосфере преобразуются

зуются в частицы; и наконец, шлейфы от высокорасположенных источников (выше 100 м) – ГРЭС, ТЭЦ, заводских труб и т.п., которые выбрасывают газы и аэрозоль непосредственно в шапку. И если во всех городах увеличение концентрации аэрозоля начинается от поверхности земли (см. рис. 1 и 2), то в Нижневартковске и зимой и летом (рис. 2, б) на высоте 200 м концентрация меньше, чем у земли и в шапке загрязнений. Это говорит о том, что мощность высоко расположенных источников, каковыми и являются факелы месторождений, много больше, чем интенсивность источников, расположенных на территории города, и что формирование шапки загрязнений здесь происходит несколько иначе.

В целом же при переходе от зимы к лету аэрозольная шапка хотя и меняет свою структуру, но остается в выделенном выше диапазоне.

По данным [15], при сжигании угля в атмосферу поступает: до 10% Al, Co, Fe, Mn, Sc, до 30% Cr, Cu, Ni, V и до 100% As, Br, Hg, Sb, Se. Газофазная составляющая этих элементов в выбросах металлургических заводов составляет для Cr, Se, Br, Cd до 30%, для As до 70%, для Hg до 100%. Выброс Pb в основном определяется выбросами автотранспорта.

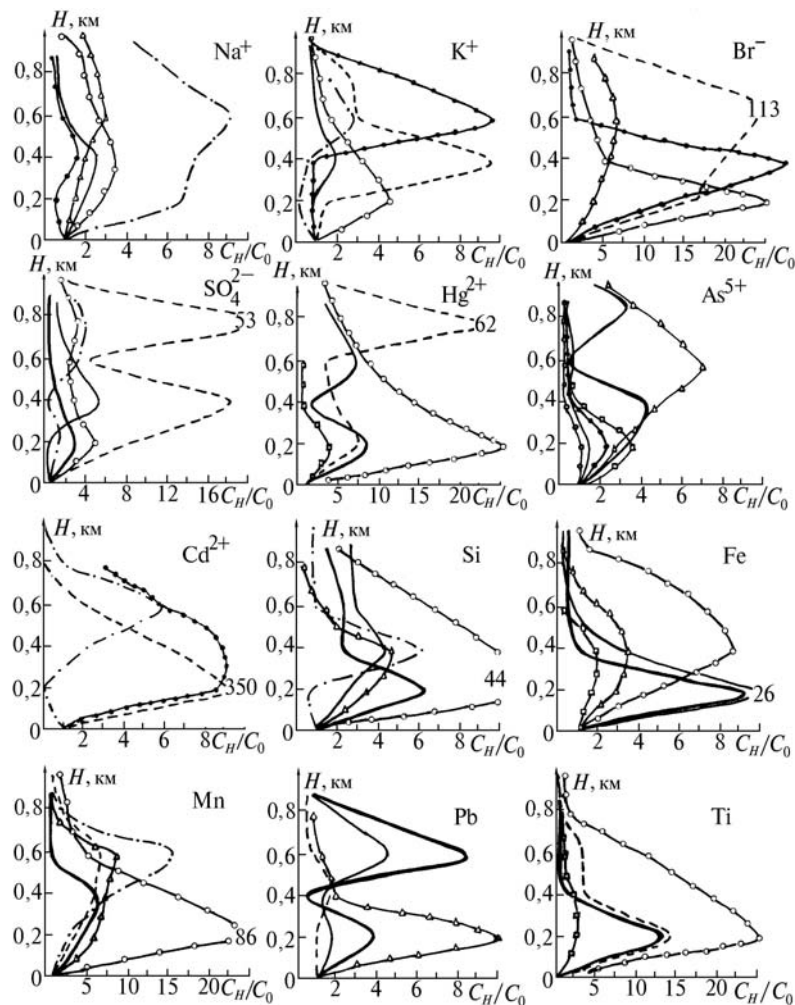


Рис. 3. Нормированное вертикальное распределение химических компонентов аэрозоля над городами: — — Хабаровск (лето); — — Хабаровск (зима); - - - - Нижневартковск (лето); - · - · - Нижневартковск (зима); \triangle - \triangle - Усть-Каменогорск; \circ - \circ - Павлодар; \bullet - \bullet - Комсомольск-на-Амуре; — — — — Нижний Тагил

Из рис. 3 видно, что подобно массовой концентрации максимумы содержания большинства химических компонентов также наблюдаются в шапке загрязнений, в слое 200–600 м. Исключение представляет лишь г. Нижневартковск в летнее время, где максимумы отношения концентраций, достигающие величины 53 и 62 для SO_4^{2-} и Hg^{2+} соответственно, наблюдаются на высоте 800 м.

Следует обратить внимание на факт значительно больших величин коэффициента обогащения отдельных ингредиентов в шапке по сравнению с массовой концентрацией. Если для массовой концентрации величина C_H/C_0 лежит в диапазоне 2 ... 8, то для Br^- , SO_4^{2-} , Hg^{2+} , Cd^{2+} в Нижневартовске летом она составляет 113, 53, 62 и 350 раз соответственно; для Br^- , Hg^{2+} , Si , Mn и Ti в Павлодаре 31, 32, 44, 86 и 32 раза соответственно; для Fe – 26 раз в Хабаровске летом; для Br^- – 35 раз в Комсомольске-на-Амуре.

Таким образом, данные вертикального распределения химических компонентов аэрозоля в шапке загрязнений неплохо согласуются с выводами [15].

Однако от общей закономерности, отмеченной выше, имеются немногочисленные отклонения, которые иллюстрируются на рис. 4.

Первое отклонение обусловлено наличием «чужих» шлейфов почти над всеми городами, над которыми проводились полеты. Это шлейфы, пришедшие извне на территорию города. Они дают дополнительный, расположенный сверху, источник химических компонентов, которых не имеется в выбросах данного города. Такое вертикальное распределение отражено на рис. 4. При этом рис. 4, *а* показывает наличие в Хабаровске, Нижневартовске и Комсомольске-на-Амуре как «своих» источников As^{5+} , K^+ , Cu , Cr , Ni , образующих шапку над городом, так и «чужих», поступивших извне. Рис. 4, *б* свидетельствует о том, что иногда внешний источник бывает настолько мощным, что создает инверсное распределение элементов по высоте. Такое распределение зафиксировано в Хабаровске, Комсомольске-на-Амуре и Усть-Каменогорске для Cd^{2+} , Cl^- , Cu , F^- , NH_4^+ . Траекторный анализ показал, что шлейф в Комсомольск-на-Амуре поступал из Амурска, в Хабаровск – с территории КНР, в Усть-Каменогорск – из Семипалатинска и Павлодара.

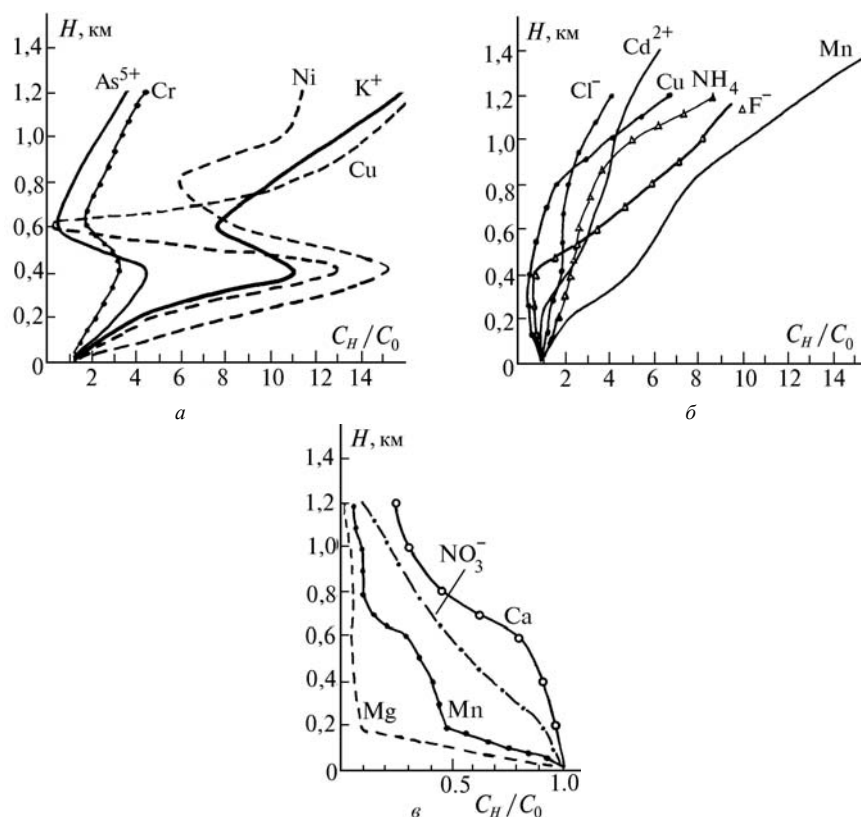


Рис. 4. То же, обозначения см. в подрисуночной подписи к рис. 3

На наш взгляд, данные рис. 4, *а* и *б* отвечают также и на вопрос, возникающий часто у специалистов по охране природы при приземном контроле: откуда в составе взвешенных веществ появляются элементы, которые не присутствуют в местных выбросах.

И наконец, рис. 4, *в* отражает ситуации, когда такие химические компоненты, как Ca , Mg , Mn , NO_3^- в Павлодаре, Нижневартовске и Комсомольске-на-Амуре генерируются в основном только у поверхности земли, и когда мощность приземных выбросов этих веществ намного

больше, чем интенсивность вышерасположенных источников. Подчеркнем, что из всех перечисленных в табл. 1 и 2 городов и веществ только в 4 случаях концентрация элементов у поверхности земли была больше, чем в шапке загрязнений.

Таким образом, на основании данных, приведенных на рис. 1–4, можно сделать однозначный вывод о том, что необходим хотя бы периодический контроль примесей непосредственно над городом.

Из вышеизложенного следует, что в «шапке» массовая концентрация аэрозоля и концентрация отдельных химических компонентов выше, чем в приземном слое. Возникает закономерный вопрос: как при этом соотносится химический состав частиц в шапке и в приземном слое воздуха. Такие данные (%) приведены для 5 городов на рис. 5, где сопоставляется химический состав аэрозоля у поверхности земли ($H=0$) и на уровне максимума концентрации, определенном по рис. 1. Заштрихован сектор с суммой элементов, перечисленных в табл. 2 и имеющих концентрацию каждого менее 1%.

Из рис. 5 видно, что в Хабаровске в приземном слое водорастворимая (фотохимическая) фракция (F^- , Cl^-) составляет около четверти от общей массы, террагенная (почвенная) – почти три четверти. При переходе на уровень максимума концентрации в шапке это соотношение меняется. На высоте 200 м почти полностью исчезает фотохимический компонент. Террагенная же составляет около 90%. Такой результат несколько неожидан, так как именно в этом городе на высоте 200 м наблюдается наибольшая интенсивность фотохимических процессов [9]. Возможны два объяснения этому факту. Во-первых, продукты фотохимических реакций быстро оседают на поверхность, что, кстати, также было отражено в [9]. Во-вторых, основные источники выбросов на данную высоту в период измерений работали на угле с большой зольностью. Это же, по данным [16–18], может привести к тому, что минеральная фракция по массе окажется доминирующей в общей концентрации выброса.

Близкая к описанной ситуация наблюдается и в г. Павлодаре (см. рис. 5). Отличие заключается лишь в том, что почвенная фракция здесь представлена в основном Al, его вклад у поверхности земли примерно 25%, на высоте 200 м около 50%. Фотохимический компонент, наоборот, у поверхности земли составляет около трех четвертей от общей массы, на высоте 200 м – немного больше одной четверти. Отметим, что в Павлодаре также основную массу высокорасположенных выбросов дают предприятия, работающие на угле с большой зольностью.

В Комсомольске-на-Амуре, Нижневартовске и Нижнем Тагиле изменение химического состава аэрозоля при подъеме самолета с поверхности земли на высоту с максимальной концентрацией в шапке загрязнений имеет обратный ход по сравнению с Павлодаром и Хабаровском (см. рис. 5). Если у поверхности земли фотохимический компонент составляет одну четверть, то в шапке его вклад увеличивается до 60–70%. Это объясняется тем, что на территории названных городов имеются крупные металлургические и химические производства, которые и выбрасывают основу фотохимического компонента.

Надо обратить внимание еще на один факт, который следует из анализа рис. 5. Как правило, в составе приземного аэрозоля в каждом городе имеется элемент террагенного происхождения, вклад которого в общую массу доминирующий. Для Хабаровска и Комсомольска-на-Амуре это Si, для Нижнего Тагила – Ca, для Павлодара – Al. Очевидно, что такой моноэлемент отражает особенности химического состава почвы, характерной для конкретного города. Из рис. 5 видно, что содержание этого элемента может уменьшаться или увеличиваться в шапке примесей над городом. Тем не менее выделение такого моноэлемента, наряду с данными о химическом составе выбросов, может оказаться своеобразным паспортом города при исследовании трансграничного переноса загрязнений.

Сопоставление данных, приведенных на рис. 3–5, показывает, что химический состав аэрозоля в шапке и в приземном слое существенно различается не только количественно, но и качественно. Это дополнительно усиливает тезис о необходимости мониторинга примесей в шапке над городом. Дело даже не в высокой токсичности многих компонентов, которые зафиксированы в шапках городов.

По полученным нами ранее данным [9–11], эти компоненты оседают в приземный слой на территории города. Кроме того, особенности циркуляции воздуха в окрестностях города способствуют тому, что загрязнения не уносятся с его территории, а накапливаются над ним [1, 2, 13]. Поэтому организация только приземного мониторинга не даст полной картины состояния воздуха во многих частях города.

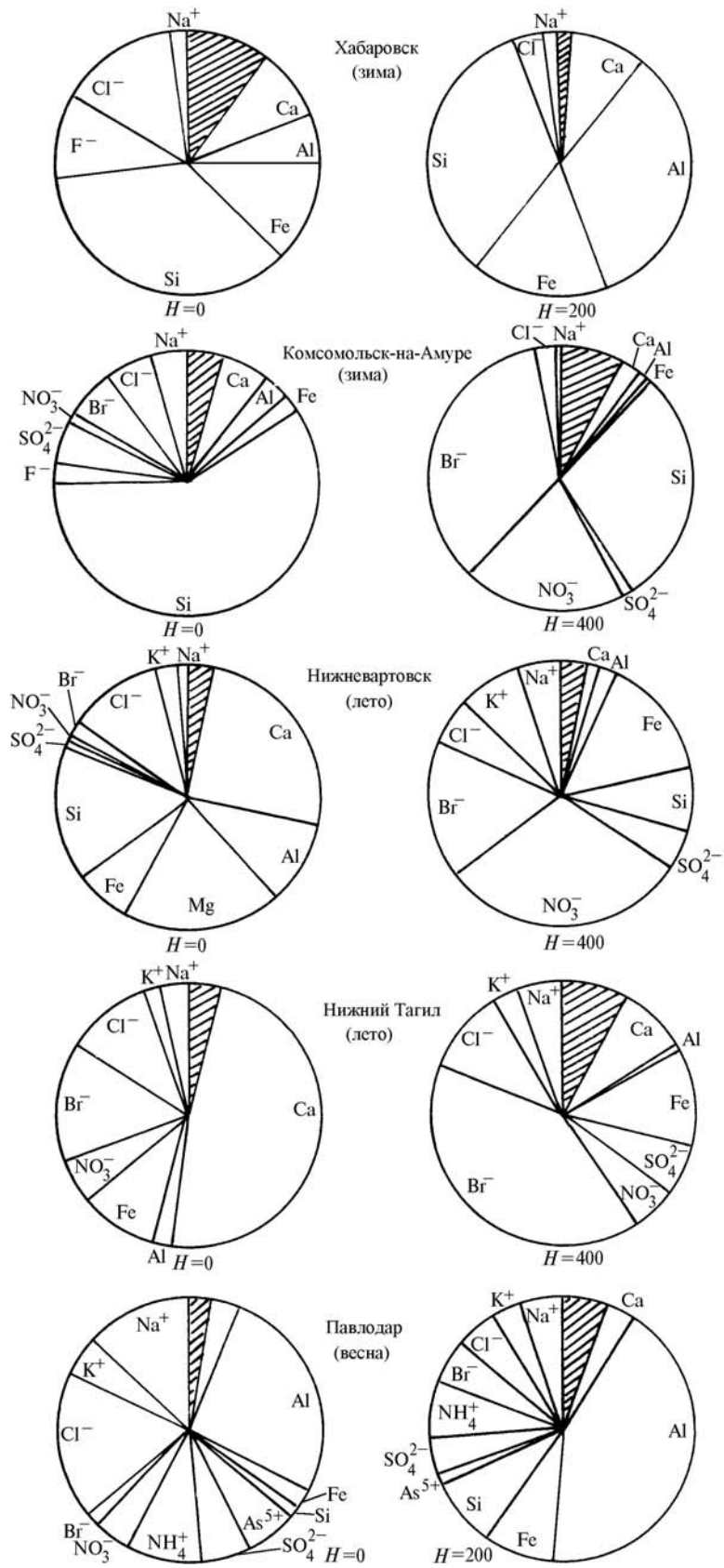


Рис. 5. Химический состав аэрозоля (%) у поверхности земли и в максимуме концентрации в «шапке»

Данные о горизонтальной структуре аэрозольной шапки над городом весьма противоречивы. Так, численное моделирование, проведенное в [1, 2], указывает на то, что она значительно больше территории города. В [3] сообщается, что самолет пересекает шапку в течение 50–60 с. В зависимости от типа самолета (его скорости) протяженность шапки может составлять 4 – 12 км. Проведенное нами исследование в перечисленных в табл. 1 городах подтверждает, что она действительно больше, чем территория города [9–11, 19, 20]. Однако, не зная результатов [2], мы не смогли правильно спланировать эксперимент. Поэтому построенные нами в [9–11, 19, 20] карты отражают только сердцевину, а не всю аэрозольную шапку целиком. Анализ этих карт показывает, что горизонтальная структура шапки, как правило, неоднородна. И размеры неоднородностей попадают примерно в диапазон, указанный в [3]. В зависимости от города они изменяются от 0,8 до 9 км. При этом сами шлейфы из выборки исключаются. В связи с изложенным, в настоящей статье не приводятся данные о горизонтальной структуре аэрозольных шапок. С одной стороны, карты горизонтальных распределений счетной концентрации аэрозоля в сердцевине шапки уже опубликованы [9–11, 13, 14, 19, 20]. С другой стороны, неизвестны полные горизонтальные размеры этих шапок.

Горизонтальная неоднородность распределения концентрации химических компонентов аэрозоля вне шапки и в ее сердцевине показана на рис. 6, который дает представление об обогащении элементов в составе частиц в районе г. Нижний Тагил.

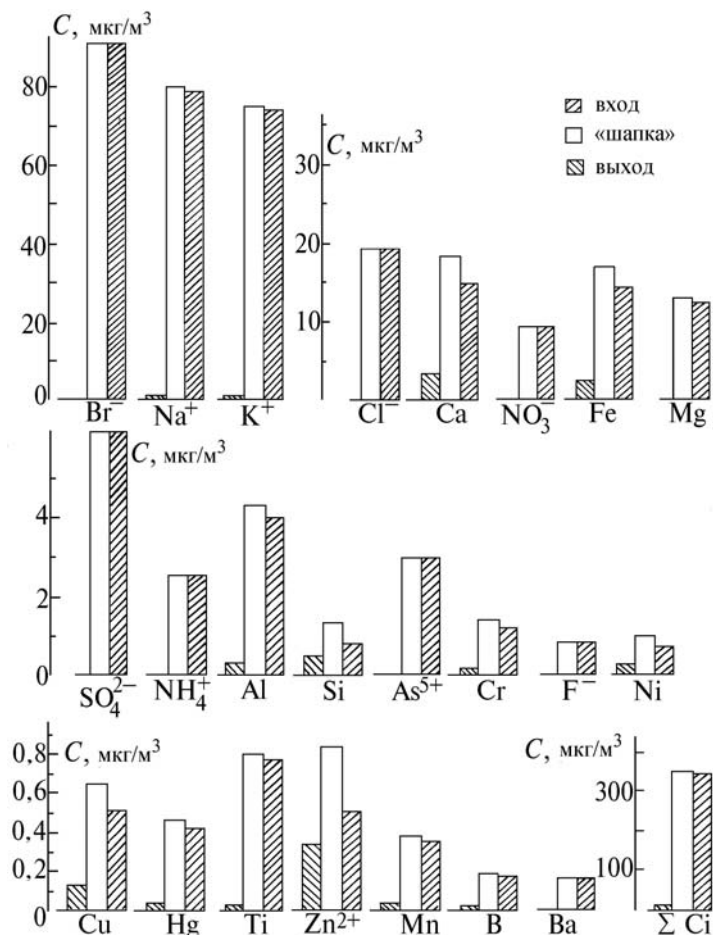


Рис. 6. Концентрации химических компонентов аэрозоля с наветренной стороны г. Нижний Тагил, в сердцевине «шапки» над городом и их разность

Рис. 6 построен по данным двух полетов. Один выполнялся с наветренной стороны города, в чистом воздухе, на высоте, где концентрация аэрозоля в шапке была максимальной. Вторым маршрут пересекал сердцевину шапки загрязнений на той же высоте. Столбец «выход» является разностью концентраций каждого элемента и суммарной, полученной по результатам обоих маршрутов. Данные приведены в абсолютных единицах, так как большинство элемен-

тов на «входе» воздуха в город имели концентрацию ниже порога обнаружения или на уровне следов. Поэтому нормировка, подобная той, которая выполнена для вертикального распределения, дала бы для ряда веществ бесконечно большую величину.

Из рис. 6 видно, что массовая концентрация аэрозоля в сердцевине шапки в 150 раз больше, чем с наветренной стороны города. Обогащение ионов Br^- , Na^+ , K^+ в шапке достигает 1200–700 раз. Обогащение «всего лишь в несколько раз» характерно только для террагенных элементов Ca, Fe, Al, Si, Cu, Zn.

Таким образом, горизонтальные контрасты концентрации аэрозоля между шапкой над городом и чистым воздухом гораздо больше, чем по вертикали, что в общем-то понятно. На территории города генерируются частицы в приземном слое низкорасположенными источниками, и сюда же оседает аэрозоль, «состарившийся» в шапке. В результате действия обоих механизмов контрасты концентрации по вертикали уменьшаются.

В заключение подведем основные итоги работы. Аэрозольная шапка над городом, возникающая вследствие суперпозиции выбросов в приземном слое и вышерасположенных источников, имеет вертикальные размеры в несколько сотен метров (400–600 м) и несколько десятков километров по горизонтали. Ее высота и динамика определяются уровнем внутреннего слоя перемешивания. Она имеет неоднородную структуру по вертикали и горизонтали и существенно отличается по химическому составу от приземного аэрозоля.

1. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985. 256 с.
2. Пененко В.В. // Тезисы докладов Сибирского совещания по климатологическому мониторингу. Томск, 1995. С. 56.
3. Горчиев А.А. // Тезисы докладов на межгосударственной конференции «Геоэкологические аспекты хозяйствования, здоровья и отдыха». Пермь, 1993. Ч. 1. С. 175–177.
4. Дячук В.А., Раменский Л.А. // Труды УкрНИГМИ. 1991. Вып. 241. С. 3–10.
5. Rosler F.M., Raffrath D., Peters W. // Environ. Meteorol.: Proc. Int. Simp. Wieszburg, 1988. P. 413–414.
6. Домбровская Э.П., Куклин А.М. // Атмосферноохранные проблемы Канско-Ачинского и Экибастузского топливно-энергетических комплексов. М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 54–64.
7. Logente J., Redano A., De Cabo X. // J. Appl. Meteorol. 1994. V. 33. N 3. P. 406–415.
8. Gueymard C. // Agr. and Forest. Meteorol. 1989. V. 45. N 3–4. P. 215–229.
9. Белан Б.Д., Микушев М.К., Панченко М.В. и др. // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. N 9. С. 995–1005.
10. Белан Б.Д., Бурков В.В., Панченко М.В. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 2. С. 186–192.
11. Белан Б.Д., Вавер В.И., Ковалевский В.К. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 5. С. 559–592.
12. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Кабанов Д.М. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 10. С. 1012–1021.
13. Белан Б.Д. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 2. С. 205–222.
14. Белан Б.Д. // Оптика атмосферы и океана. 1994. N. 7. N 8. С. 1044–1054.
15. Остромогильский А.Х., Петрухин В.А. // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеиздат, 1984. Вып. 2. С. 56–70.
16. Bowen H. J. M. Environmental chemistry of the elements. London: Academic Press, 1979. 333 p.
17. Lantzy R. J., Mackensie F. T. // Geochim. Acta. 1979. V. 43. N 4. P. 511–525.
18. Малахов С.Г., Махонько Э.П. // Успехи химии. 1990. Т. 59. Вып. 11. С. 1777–1798.
19. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Задде Г.О. и др. // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. N 6. С. 636–641.
20. Белан Б.Д., Зуев В.Е., Панченко М.В. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 1–2. С. 131–156.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
26 января 1996 г.

B. D. Belan, V. K. Kovalevskii, D. V. Simonenkov, G. N. Tolmachev, T. M. Rasskazchikova. **Structure of Aerosol «Tops» over Industrial Centers.**

The vertical and horizontal distribution of the atmospheric aerosol over some Russian and Kazakhstan towns is analyzed based on the aircraft sounding data. The vertical length of the aerosol «top» over the industrial centers is shown to be from 400 to 600 m and to be fully determined by the height of the interior mixing layer. Its horizontal length seems to be tens of kilometers. The aerosol mass concentration in the «top» is from 2 to 8 times higher than within the ground layer. The concentration of individual components in the «top» can be in excess of 350. The chemical composition of the aerosol in it differs significantly from that in the ground one. It is found that there is a typical mono-element in every town which can serve as the certificate of the industrial center indicating the chemical composition of its ejections and be useful in the study of the air contamination transfer from one region to another.