

Б.Д. Белан

## К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ «ШАПКИ» ЗАГРЯЗНЕНИЙ НАД ПРОМЫШЛЕННЫМИ ЦЕНТРАМИ

На основании полученных с помощью самолетного зондирования данных о составе и объеме выбросов в г. Павлодаре рассчитаны возможные концентрации примесей в предположении, что они рассеиваются в объеме, создаваемом локальной циркуляцией вокруг города, образующейся в соответствии с теорией Пененко–Алюяна. Сопоставление расчетных данных с прямыми измерениями концентрации вне шлейфов на той же высоте показало хорошее совпадение, что свидетельствует о выполнимости теоретических положений.

Скопление промышленных объектов на ограниченной территории, какой является современный город, привело к тому, что здесь выбрасывается в окружающую среду большое количество всевозможных загрязнений, не наблюдающихся в естественных условиях. Это химические вещества в разных состояниях и разной природы, дополнительная тепловая энергия, электромагнитное излучение и т.п. Вследствие этого город становится «островом тепла», что достаточно давно установлено [1]. Над ним возникает дымка примесей, состоящая из газообразных и аэрозольных веществ, получившая название «шапки» загрязнений. Характерной ее особенностью является то, что она сохраняется над городом не только при слабом, но и при ветре средней интенсивности, исчезая ненадолго при прохождении атмосферных фронтов, после чего достаточно быстро восстанавливается [2].

Разработанные в [3] методы и модели, а затем и расчеты, приведенные для конкретных регионов, показали [4], что город является не только «островом тепла», но и «островом загрязнений» из-за особенностей локальной циркуляции воздуха, возникающей в его окрестностях. В результате действия такой циркуляции примеси, выбрасываемые в воздух города, как бы запираются на его территории встречными потоками. Схематически это показано на рис. 1, а. Схема построена на основании сообщения [4] и представляет собой упрощенный вариант излагавшихся в нем результатов расчета.

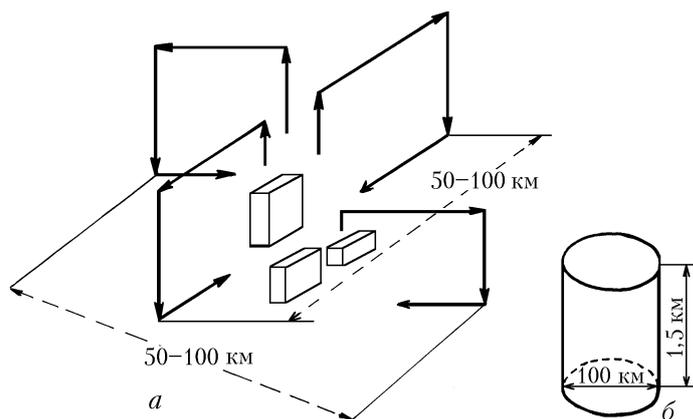


Схема образования локальной циркуляции вокруг города (а); схема расчетной области, принятая в настоящей работе (б)

Приводимые в [4] данные не только существенно изменяют современные представления об аэрации городов, но и позволяют объяснить целый ряд фактов, установленных экспериментально и не поддающихся интерпретации на основании сложившихся представлений. Это, в частности, касается быстрого восстановления (1–2 дня) фотохимического равновесия в возду-

хе промышленного центра после прохождения через город атмосферного фронта, очищающего его от загрязнений [2, 5].

Насколько известно автору, до настоящего момента не проведено полной верификации указанных расчетов. В данном случае имеется в виду не приземной слой, а весь объем воздуха, вовлекаемый в локальную циркуляцию в окрестностях города, радиус которой, по данным [4], может изменяться от 50 до 200 км, в зависимости от масштаба промышленного центра.

Накопленный в ИОА СО РАН материал по экологическому зондированию воздушного бассейна ряда городов [6] позволяет отчасти восполнить этот пробел, а именно: рассчитать концентрации примесей отдельных ингредиентов по результатам прямых измерений объема и состава выбросов и сопоставить их с прямыми измерениями концентрации над городом и в его приземном слое. Этому и посвящена настоящая статья.

Для расчетов был выбран г. Павлодар, в котором были измерены весной 1990 г. состав и объем выбросов основных источников, расположенных на его территории и в расположенном поблизости г. Ермаке. Перечень основных источников и концентрации различных веществ в шлейфах приведены в [7]. Там описана методика отбора проб и методы анализа.

Кроме измерения параметров выбросов в этот же период измерялась концентрация аэрозольных загрязнений в приземном слое на территории города и на разных высотах над ним. Всего было проанализировано 24 пробы из приземного слоя и 27, полученных на высоте 200 м, ближайшей к высоте труб, из которых производились выбросы. Полагая, что большая часть выбрасываемых веществ рассеется в пределах области, охватываемой локальной циркуляцией воздуха, зададим ее параметры в виде цилиндра с диаметром 100 км и высотой 1,5 км (рис. 1, б). Эта высота совпадает с уровнем верхней границы слоя перемешивания, определенной по результатам вертикального зондирования.

В таблице представлены данные об объеме отдельных ингредиентов аэрозоля, выбрасываемых перечисленными источниками. Определение объема выбросов осуществлялось по данным об их концентрации, измеренной в [7], и данным о скорости потока и площади сечения шлейфа. В этой же таблице представлены данные о средних концентрациях зафиксированных веществ на высоте 200 м и у поверхности земли, а также рассчитанные по схеме на рис. 1, б концентрации в предположении, что примеси рассеиваются полностью. Здесь же приведены соотношения концентраций, рассчитанных по объему выбросов и измеренных на высоте 200 м и у поверхности земли соответственно.

Из таблицы видно, что на высоте 200 м соотношение концентраций, рассчитанных по валовому выбросу основных источников и измеренных вне шлейфов, в большинстве случаев близко к единице, изменяясь от 0,23 до 1,69. Исключение составляют Mg (0,04), Zn (2,30), Ti (3,60), Ca (2,06). У Mg, по-видимому, имеется другой источник, а Zn, Ti, Ca, вероятно, находятся в составе гигантских частиц, которые быстро оседают. Такое совпадение рассчитанных и измеренных концентраций (19 из 23 рассмотренных компонентов) в пределах воздушного бассейна конкретного города свидетельствует о выполнимости результатов, полученных по методологии [3, 4], поскольку концентрации оказались близкими по величине, в пределах коридора ошибок определения химического состава аэрозоля, приведенного в [7].

Последняя строка таблицы показывает отношение концентраций, рассчитанных по объему выбросов основных источников и измеренных в приземном слое воздуха, и позволяет оценить вклад источников, имеющих большую высоту выброса. Напомним, что в городе обычно действует еще один крупный источник примесей – автотранспорт, выбросы которого поступают непосредственно в приземной слой.

Из анализа данных соотношения концентраций выбросов на высоте и у поверхности земли видно, что в приземном слое выше концентрация  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , что отражает действие нижерасположенных источников. Концентрация же ряда металлов Cr, Ti, Ca, Si, Fe и ионов  $\text{SO}_4$  и As много меньше, чем расчетная. Это, по-видимому, свидетельствует о том, что перечисленные вещества не поступают непосредственно в приземной слой, а рассеиваются по всей области, представленной на рис 1, б.

Таким образом, результаты комплексного определения рассеивания антропогенного аэрозоля в воздушном бассейне г. Павлодара и его окрестностей свидетельствуют о том, что теоретический подход [3] и результаты численного моделирования [4] с хорошей степенью достоверности описывают локальную циркуляцию воздуха в окрестностях города, которая приводит к образованию на его территории «острова загрязнений».

**Объем выбросов отдельных компонент аэрозоля (т/сут) в г. Павлодаре, их средние концентрации (мкг/м<sup>3</sup>) и соотношение**

Предприятие	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	P <sup>5+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Ag <sup>5+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Pb	Cr	Mn	Mg	Zn	Ti	Ca	Si	Fe	V	Al	Cd
ТЭЦ-1	0,15	0,25	3,87	0,04	0,95	0,02	0,21	0,41	0,02	0,004	0,09	0,004	0,09	0,42	0,01	0,26	1,32	1,64	13,15	6,58	0,01	13,68	2,04
ТЭЦ-2	9,70	6,58	10,76	0,08	0,53	0,01	8,24	23,39	0,38	1,96	0,35	-	0,37	0,22	-	-	1,83	-	18,30	10,25	-	18,69	-
ТЭЦ-3	0,20	0,11	3,72	0,03	1,28	0,02	2,67	3,34	0,07	1,65	0,01	0,02	-	0,02	0,88	0,34	0,79	2,01	19,99	8,03	0,02	12,20	-
Алюминиевый завод	-	0,31	1,42	0,21	0,57	-	1,20	0,09	0,01	0,11	0,03	0,02	0,17	0,27	0,00	0,71	1,30	1,16	9,77	4,46	0,01	8,46	1,44
Тракторный завод	0,01	0,01	1,24	0,11	0,14	0,00	0,64	0,42	0,00	0,29	0,01	-	0,08	0,02	0,06	0,03	0,08	0,31	4,64	0,71	-	2,50	-
НПЗ	-	1,48	4,28	0,51	0,35	0,03	1,78	0,85	0,11	0,10	0,03	-	0,43	0,04	0,01	0,00	0,41	5,51	23,09	12,31	0,00	23,60	4,00
ГРЭС	2,65	1,38	2,40	2,77	1,90	1,04	7,79	6,95	1,56	1,84	0,16	0,01	1,73	0,35	0,81	1,35	2,77	8,82	32,64	17,99	0,03	38,06	5,88
Средн.(расч.)	1,09	0,86	2,35	0,32	0,49	0,09	1,91	2,93	0,18	0,70	0,05	0,005	0,24	0,11	0,15	0,23	0,72	1,65	10,32	5,12	0,006	9,95	1,13
Средн.(200 м)	1,50	0,60	2,10	0,70	1,90	0,40	4,60	4,80	0,14	0,90	0,11	<	0,41	0,29	3,50	0,10	0,20	0,80	6,10	3,10	0,015	6,20	0,90
Средн.(0 м)	2,56	0,97	3,60	0,30	-	0,79	-	0,12	-	0,05	0,03	0,02	0,02	-	0,06	0,05	0,03	0,32	0,27	0,46	-	5,70	-
Расч./200 м	0,73	1,43	1,12	0,46	0,26	0,23	0,42	0,61	1,29	0,78	0,45	-	0,59	0,38	0,04	2,30	3,60	2,06	1,69	1,65	0,40	0,60	1,25
Расч./0 м	0,43	0,89	0,65	1,07	-	0,11	-	24,42	-	14,00	1,67	0,25	12,00	-	2,50	4,60	24,00	5,16	38,22	11,13	-	1,75	-

1. Владимиров А. М., Ляхин Ю. Н., Матвеев Л. Т., Орлов В. Г. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 424 с.
2. Белан Б. Д., Микушев М. К., Панченко М. В. и др. // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4. N 4. С. 995–1005.
3. Пененко В. В., Алоян А. Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985. 256 с.
4. Пененко В. В. // Тезисы докладов Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу. Томск, Изд. ТНЦ, 1995. С. 56.
5. Белан Б. Д., Зуев В. Е., Панченко М. В. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 1–2. С. 131–156.
6. Белан Б. Д., Лиготский А. В., Лукьянов О. М. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 8. С. 1093–1100.
7. Белан Б. Д., Симоненков Д. В., Толмачев Г. Н. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. N 4. С. 453–459.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
6 декабря 1995 г.

**B. D. Belan. To the Problem of Contamination «Top» Formation over Industrial Centres.**

Basing on the data obtained by means of aircraft sounding over Pavlodar town, the possible concentration of contaminants is computed assuming that they are scattered in the volume formed due to local air circulation about the town. The circulation arises in accordance with the Penenko – Aloyan theory. The comparison of the computed data with the data on the concentration direct measurement outside the plumes at the identical heights has shown a good agreement between them, that points to the theory applicability.