

Б.Д. Белан, Г.О. Задде, В.К. Ковалевский, М.В. Панченко, Т.М. Рассказчикова, С.А. Терпугова, Г.Н. Толмачев, А.Г. Тумаков

О ПРИРОДЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ НЕКОНДЕНСАЦИОННЫХ ОБЛАКОВ

На основе анализа химического состава, оптических и микрофизических характеристик аэрозоля, в облаке и вне его, метеорологических параметров и синоптической ситуации в районе наблюдений выявлены общие закономерности условий образования, внутреннего строения и дисперсного состава аэрозольных неконденсационных облаков. Обоснован механизм образования таких облаков, заключающийся в том, что в отдельных случаях конвективные потоки, выносящие аэрозоль, пробивают слой инверсии.

Одна из сложнейших проблем оптики атмосферы — разработка методов и технических средств устранения искажающего влияния атмосферы на информацию, передаваемую по оптическим каналам, требует для своего решения учета всего многообразия проявления свойств атмосферного аэрозоля природного и антропогенного происхождения в различных пространственных и временных масштабах [1]. В связи с этим представляет интерес не только изучение его типичных состояний, но и исследование ситуаций, существенно отличающихся от средних условий. Одним из таких достаточно редких состояний атмосферного аэрозоля являются обнаруженные в 1981 году в условиях сухой ясной погоды пространственно-ограниченные скопления аэрозольных неконденсационных облаков. Их основные характеристики по данным, полученным во время исследовательских полетов самолета-лаборатории ИОА СО АН СССР в течение 1981—1984 г., описаны в [2, 3]. В течение 1985—1988 г. была продолжена и существенно расширена программа и продолжительность работ самолета-лаборатории. В процессе самолетного зондирования параметров атмосферы были получены новые, дополнительные сведения о параметрах таких облаков, общее число наблюдений которых к настоящему времени составляет 24 случая. Это позволяет не только дать описание их морфологии, но и представить механизм образования таких объектов. Прогрессу в исследовании аэрозольных неконденсационных облаков во многом способствовало расширение состава аппаратуры бортового измерительного комплекса, по сравнению с использовавшимся ранее в [2, 3].

В состав комплекса были введены модифицированный фотоэлектрический аэрозольный нефелометр (ФАН) с устройствами термо- и гигрометрии и 12-канальный параллельный анализатор распределения частиц по размерам. Это дало возможность получить информацию о коэффициенте аэрозольного рассеяния, его изменчивости под воздействием увлажнения и нагрева, а также уменьшить в 10 раз время регистрации спектров распределения частиц по размерам.

Целью настоящей работы является обобщение имеющихся сведений о физической природе аэрозольных неконденсационных облаков.

1. Основные характеристики аэрозольных облаков

Прежде чем перейти к анализу физической природы аэрозольных облаков, дадим общую характеристику условий, в которых они наблюдались (суммарные сведения представлены в табл. 1).

Из данных таблицы следует, что подобные образования могут наблюдаться практически над любым регионом страны (исключая Европейскую территорию СССР). Это свидетельствует о достаточно общем физическом явлении.

Средняя встречаемость таких образований за период с 1981 по 1987 г. включительно составляет 1 случай на 158 часов полета и близка к подобным оценкам для Западной Сибири и Казахстана, где период наблюдений и число зарегистрированных облаков наибольшие. По времени суток число наблюдений делится неравномерно (табл. 1). Чаще аэрозольные облака появляются во вторую половину дня или поздним вечером. Учитывая, что в теплое время года они наблюдаются в 1,5 раза чаще, чем в холодную (хотя суммарное время измерений в последнем случае гораздо больше), можно предполагать, что такие образования являются следствием конвективных процессов, которые развиваются в утреннее и дневное время. В пользу этого предположения свидетельствует и синоптический анализ [2, 3], который показывает, что подобные аэрозольные облака наблюдаются, как правило, в антициклонах или в тылу холодных фронтов и зачастую им предшествуют на высоте обнаружения обычные водные облака типа *Cu hum*, реже *Cu med*, имеющие конвективную природу. Из данных табл. 1 также следует, что неконденсационные облака обычно наблюдаются в воздушных массах континентального умеренного воздуха (КУВ) и только над Западной Сибирью зафиксированы также и в континентальном арктическом воздухе (КАВ). Кроме того, данные табл. 1 дают представление о широком диапазоне изменчивости метеорологических условий, в которых были зарегистрированы подобные образования.

Таблица 1

Регион	Число наблюдений	Время суток				Т, °С	f, %	Горизонтальный размер, км	$\frac{N_{\text{обл}}}{N_{\text{ср}}}$	Тип в. м.	Встречаемость 1/час
		06—12	12—18	18—24	00—06						
Западная Сибирь	12	--	8	4	--	-25÷22	16÷35	6—21	3—40	КАВ КУВ	170
Восточная Сибирь	1	--	--	1	--	--13	36÷39	10—12	5—8	КУВ	140
Забайкалье	1	--	1	--	--	+1	46÷49	8	5	КУВ	60
Дальний Восток	1	--	1	--	--	+0,5	24÷27	10	3	КУВ	40
Урал	2	--	--	2	--	-7÷6	27÷33	20	6—10	КУВ	120
Средняя Азия	2	--	1	1	--	-6÷0	24÷25	8—24 (48)	5—65	КУВ	100
Казахстан	5	1	--	2	2	-10÷8	20÷35	8—35	3—9	КУВ	150
Итого . . .	24	1	11	10	2	-25÷22	16÷39 (49)	6—35 (48)	3—65	КАВ КУВ	158

Горизонтальные размеры таких облаков изменяются в пределах от 5 до 35 км (в одном случае 48 км) при среднем значении 10—15 км, то есть соизмеримы по горизонтальному разрезу с водными облаками вертикального развития. Вертикальная протяженность, по полученным к настоящему времени данным, может изменяться от 300 до 3 км. Однако статистика по этому параметру мала, поскольку подобная атмосферная ситуация встречается крайне редко, и на сегодняшний день отсутст-

вуют четкие критерии, ориентируясь на которые можно было бы организовать специальные полеты. При обычных же полетах не всегда имеется возможность смены высоты и направления полета.

Таким образом, по внешним синоптическим и метеорологическим признакам аэрозольные неконденсационные облака подобны обычным водным или кристаллическим, только наблюдаются в ясной атмосфере при относительной влажности воздуха, далекой от насыщения.

2. Распределение частиц аэрозоля по размерам и его химический состав в неконденсационных облаках

Увеличение скорости измерения функции распределения частиц по размерам с помощью 12-канального параллельного анализатора позволило изучить спектр частиц внутри аэрозольных облаков и в окружающей зоне.

Оказалось, что распределение частиц аэрозоля по спектру в облаке весьма существенно отличается от спектров частиц, измеренных в окружающем пространстве. При этом в облаке происходит не простое увеличение концентрации всех фракций аэрозоля, а изменение их соотношения и четкое выделение вклада ореднедисперсной фракции.

Поясним это на примере распределения частиц над Западной Сибирью (рис. 1). На рис. 1,а приведены спектры распределения частиц в облаке (2) и вне облака (1); на рис. 1,б — относительный вклад каждой фракции в суммарную концентрацию аэрозоля и на рис. 1,в — отношение концентрации каждой фракции частиц к их содержанию в диапазоне $0,2 \leq r \leq 0,25$ мкм.

Из рис. 1 видно, что определяющим является вклад концентрации частиц с радиусом $r = 0,5 - 3$ мкм в суммарное увеличение счетной концентрации в облаке. Особенно хорошо это видно на рис. 1,в, где приведены соотношения субмикронной и среднедисперсной фракций аэрозоля. Такая картина наблюдалась во всех 10 неконденсационных облаках, в которых проводились измерения с помощью анализатора. Различия заключались лишь в соотношении $N(r = 0,2 - 0,25 \text{ мкм})/N(r = 0,5 - 1,0 \text{ мкм})$. В одних случаях это соотношение равнялось $0,4 - 0,5$, в других достигало величины $1,5 \div 1,6$. Такой факт свидетельствует о том, что аэрозольные частицы среднедисперсного диапазона играют ключевую роль в генезисе неконденсационных облаков. Это подтверждается также и данными регистрации коэффициента аэрозольного рассеяния ($\lambda = 0,55$ мкм), зафиксированными проточным нефелометром. Увеличение коэффициента аэрозольного рассеяния при росте суммарной счетной концентрации сопровождается сильными флуктуациями сигнала, которые определяются в малом локальном объеме нефелометра большими частицами.

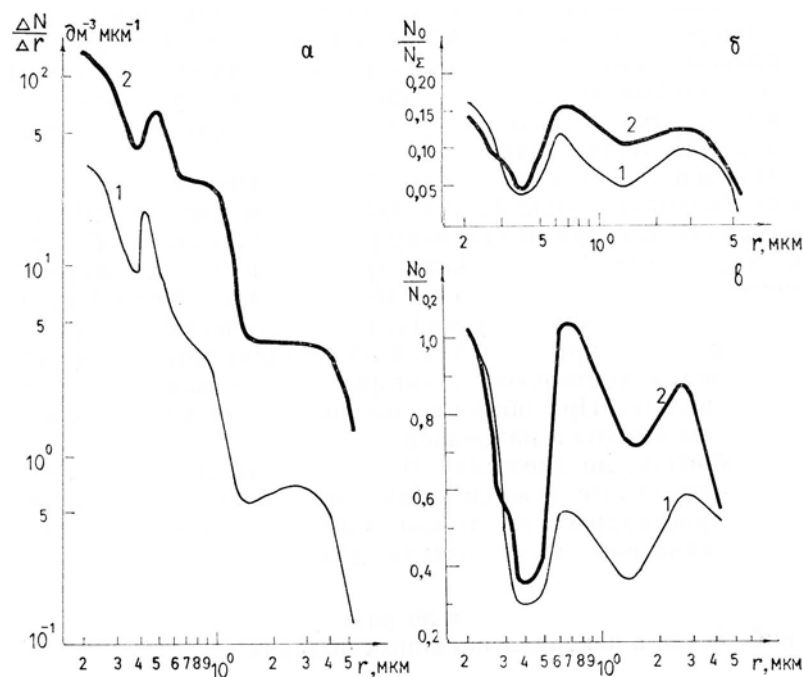


Рис. 1. Распределение частиц аэрозоля на высоте 1100 м над Западной Сибирью 20.09.1985 г. 1 — $15^{\text{h}}15^{\text{m}}$ (вне облака), 2 — $15^{\text{h}}30^{\text{m}}$ (в облаке)

Известно [4, 5], что различные фракции аэрозоля существенно отличаются по своему химическому составу. Среднедисперсная и грубо-дисперсная фракции в основном состоят из вещества, характерного для частичек почвы. Поэтому целесообразно разделить пробы аэрозоля, взятые в облаке и в окружающей среде. В наших экспериментах определение химического состава осуществлялось в две

стадии. На первой стадии проводился отбор проб аэрозоля на фильтры АФА-ХА и АФА-ХП, на второй — их анализ в лаборатории. При таком способе для получения репрезентативных сведений необходимо, по нашим данным, прокачать через фильтры 5–6 м³ воздуха. Горизонтальный же размер облака (табл. 1) не очень велик. А если учесть, что расход воздуха при полете на ИЛ-14 составляет 200–250 л в минуту, то провести корректное разделение проб в облаке и вне облака и получить надежные данные весьма сложно.

Поэтому при заборе проб применялась следующая методика. Во время вхождения самолета в неконденсационное облако забор аэрозоля продолжался, если фильтр находился в режиме экспозиции. При выходе из облака (контроль осуществлялся по АЗ-5) забор аэрозоля на фильтр прекращался. Затем устанавливался следующий фильтр и проводилась его экспозиция вне неконденсационного облака. Результаты определения химического состава аэрозоля в облаке и вне облака по такой методике представлены в табл. 2 для двух случаев прохождения через неконденсационные облака.

Из данных табл. 2 видно, что увеличение концентрации в облаке характерно в основном только для тех элементов, которые обычно присутствуют в частицах почвы, такие как Al, Si, Mg, Mn в первом случае и Ca, Si — во втором. Концентрация же ионов, которые характерны для аэрозоля фотохимического происхождения, в первом случае в облаке меньше, чем вне облака, во втором случае — их содержание ниже порога обнаружения.

Т а б л и ц а 2

Химический состав аэрозоля (мкг/м³) при пересечении неконденсационных облаков над Западной Сибирью

Дата, высота, м	Время (местн.)	Объём, м ³	Al	Ca	Si	Fe	Ni	Mg
04.12.1983	16–45	6,4	625,0	—	84,4	*	0,006	0,246
2250	17–23	5,6	3,57	—	2,60	3,18	0,009	0,057
12.05.1984	22–20	9,3	0,030	0,194	1161,0	0,08	0,05	0,080
1500	23–45	14,7	0,122	0,019	0,952	0,122	0,07	0,022
Mn	Ti	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Примечание
3,125	0,156	*	0,0004	*	3,61	0,92	0,86	Включая облако
0,200	0,253	0,003	0,0001	*	5,72	1,12	3,73	Вне облака
0,027	0,014	0,194	0,195	*	*	*	*	Включая облако
0,015	0,018	0,136	0,272	*	*	*	*	Вне облака

Примечание: звездочка — содержание элемента в фильтре ниже порога определения, тире — элемент не определялся.

Такая же картина получается и для случая, когда удалось отдельно взять пробы вне облака, в облаке и вновь вне облака (табл. 3). Из данных табл. 3 видно, что в неконденсационном облаке происходит существенное увеличение концентрации элементов, характерных для частиц почвы: Al, Ca, Si, Fe, Ni, Mg, Mn, Ti, а концентрация аэрозоля фотохимического происхождения, который характеризуется ионами SO₄²⁻, NH₄⁺, NO₃⁻, Cl⁻, ниже порога обнаружения. Следует отметить, что нижний порог обнаружения этих ионов достаточно высок, хотя в большинстве проб, взятых ранее [6], эти ионы хорошо идентифицировались.

Различия элементного состава аэрозоля, данные о котором приведены в табл. 2 и 3, обусловлены, очевидно, тем, что частицы почвы, находящиеся в облаке, попали туда над тем же регионом, над которым проводились измерения. Это подтверждается различиями в химическом составе аэрозоля, полученными в [6] для разных регионов по осредненным данным.

В пользу утверждения о почвенной природе аэрозоля, составляющего основу неконденсационного облака, говорят и данные гигрооптических измерений.

Как известно [7], при увлажнении атмосферного аэрозоля происходит увеличение размера частиц, а соответственно и коэффициента аэрозольного рассеяния. Проведенные в течение 1986–1987 гг. гигрооптические измерения показали, что в подавляющем большинстве случаев (97% реализаций) во всем диапазоне высот от 0 до 5 км, во всех географических зонах страны увеличение

относительной влажности воздуха приводит к росту коэффициента рассеяния для волн видимого участка спектра. Связь коэффициента рассеяния и относительной влажности воздуха хорошо аппроксимируется зависимостью типа формулы Кастена—Хенела [7], в которой в определенных пределах варьирует показатель степени—параметр конденсационной активности. В случаях же пересечения неконденсационных облаков подобной связи коэффициента аэрозольного рассеяния и увлажнения обнаружено не было. В качестве примера на рис. 2 приведены гигрограммы, полученные внутри облака и в окружающей среде, из которых следует, что вне облака аэрозоль хорошо увлажняется и $\sigma(90\%)/\sigma(0)$ изменяется от 1,2 до величины 4,4. Напротив, в облаке это отношение изменяется от 1,0 до 1,45. Подобные результаты получены и в [8], в которой показано, что для аэрозоля фотохимического происхождения зависимость Кастена—Хенела хорошо выражена, а для почвенных частиц параметр конденсационной активности близок к нулю.

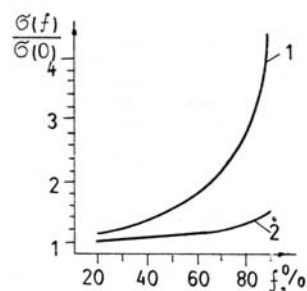


Рис. 2. Относительное изменение коэффициента аэрозольного рассеяния на трассе Хабаровск—Чита 26.09.1986 г. 1 — в 06^h15^m (вне облака), 2—в 06^h54^m (в облаке)

Т а б л и ц а 3

Химический состав аэрозоля ($\text{мкг}/\text{м}^3$) 5—6 февраля 1986 г. на высоте 2700 метров над Средней Азией

Время (местн.)	Объем, м^3	Al	Ca	Si	Fe	Ni					
21—26	3,0	0,828	3,915	0,097	0,159	0,166					
23—20	0,3	23,888	22,387	1,116	2,144	1,569					
00—40	7,5	1,012	0,028	0,004	0,025	*					
Mg	Mn	Ti	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	Примечание				
0,344	0,106	0,028	*	*	*	*	Вне облака				
3,156	0,581	0,263	*	*	*	*	В облаке				
0,033	0,025	0,011	*	0,009	0,927	*	Вне облака				

Пр и м е ч а н и е : * — содержание элемента в фильтре ниже порога определения.

Таким образом, приведенные выше данные свидетельствуют о том, что основу неконденсационных облаков составляют частицы среднедисперсной фракции, имеющие почвенное происхождение.

3. Внутреннее строение неконденсационных облаков

Уже первые измерения, обобщенные в [2, 3], показали, что внутри таких облаков имеется локальная область, где его концентрация повышена. Дальнейшие исследования позволили уточнить эту картину.

Обратимся к рис. 3, на котором представлен вертикальный разрез неконденсационного облака, полученный по данным самолетного зондирования 14 мая 1987 г. в период с 14^h20^m до 19^h40^m между населенными пунктами Колпашево и Каргасок Томской области. Здесь на рис. 3,а представлено распределение температуры, влажности и счетной концентрации аэрозоля $r \geq 0,2 \text{ мкм}$; на рис. 3,б — распределение концентрации субмикронной ($r = 0,20 - 0,25 \text{ мкм}$) и среднедисперсной фракций ($r = 0,5 \div 0,75 \text{ мкм}$).

Из рис. 3,а видно, что неконденсационное облако находится над слоем инверсии и нарушения полей температуры и влажности в его зоне не наблюдается. Концентрация аэрозоля внутри облака распределена несимметрично, наибольшее ее значение наблюдается в нижней части. Еще сильнее несимметричность выражена для отдельных фракций (рис. 3,б). Так, если субмикронная фракция

($r = 0,20 - 0,25$ мкм) повторяет в общих чертах распределение суммарной ($r \geq 0,20$ мкм) концентрации, то среднedisперсная ($r = 0,50 - 0,75$ мкм) локализована уже в меньшем объеме, а ядро с наибольшей ее концентрацией вообще примыкает к слою инверсии.

Если сравнивать размеры облака и отношение концентраций аэрозоля «облако — окружающая среда», для случая, описанного в [2], с теми же характеристиками для неконденсационного облака, приведенного на рис. 3, то окажется, что по вертикали оно в 5 раз больше (3 и 0,6 км соответственно), по горизонтали в 3 раза больше (36 и 12 км), а соотношение концентраций обратное: в [2] $N_{\text{облака}}/N_{\text{среды}}$ равно 7,5; на рис. 3 $N_{\text{облака}}/N_{\text{среды}}$ равно 3.

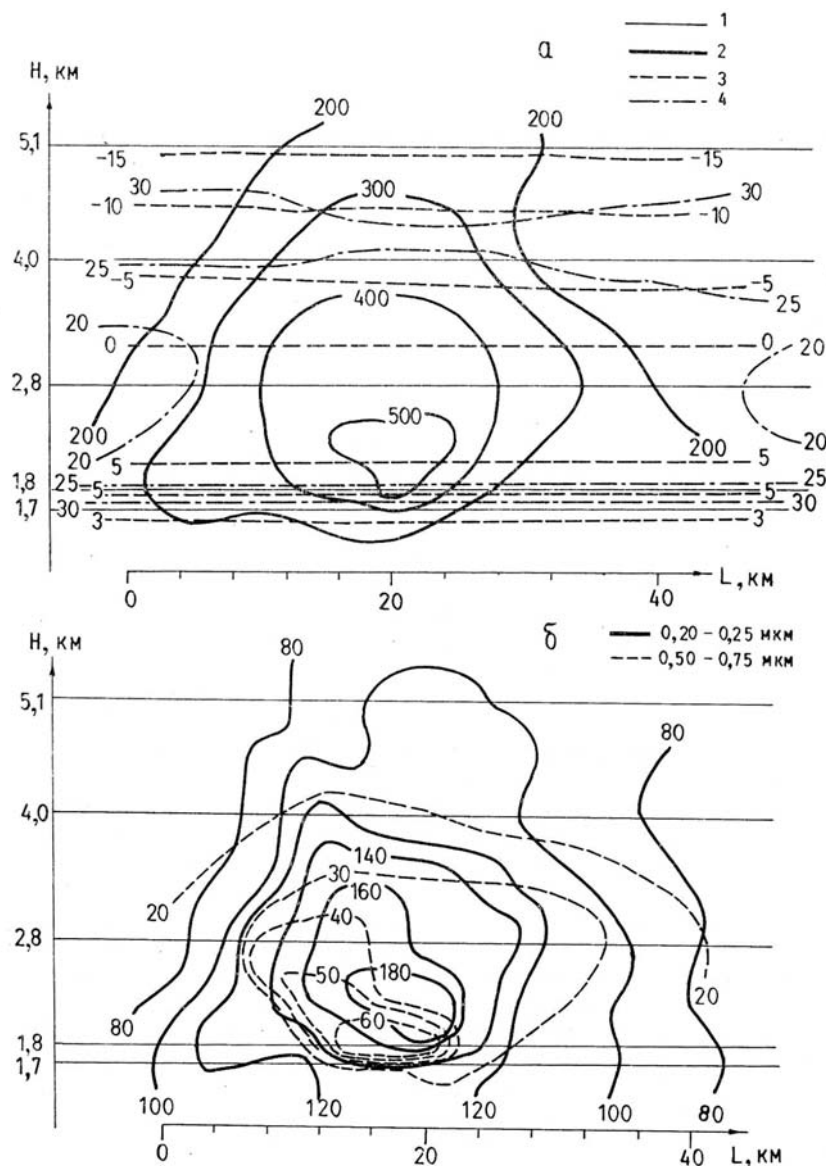


Рис. 3. Вертикальный разрез атмосферы над Западной Сибирью 14.05.1987 г.: a — распределение в пространстве температуры (3), влажности (4) и счетной концентрации аэрозоля, $r \geq 0,2$ мкм (2); 1 — высота полетов; b — распределение в пространстве концентрации аэрозоля: — $r = 0,20 - 0,25$ мкм; - - - $r = 0,50 - 0,75$ мкм

Приведенные выше факты, позволяют предположить, что облако, описанное в [2], и облако, приведенное на рис. 3, были обнаружены на разных временных стадиях своего существования. Вероятно, в первом случае облако было обнаружено в начальный период своего существования, а во втором случае мы имеем дело с более поздней стадией его жизни, когда под действием процессов диффузии (главным образом для субмикронной фракции частиц) и седиментации (для частиц грубодисперсного диапазона) внутренняя структура аэрозольного облака претерпела существенные пространственные изменения. Этим можно объяснить тот факт, что площадь облака в вертикальной плоскости на рис. 3 больше в 15 раз, чем такая же площадь для случая из [2], тогда как концентрации соотносятся в обратном отношении 1 : 2,5.

Для проверки этого предположения сделаем оценки коэффициентов диффузии, которые определяют скорость размытия облака. Рис. 3 построен по данным, которые были получены в ходе самолётного зондирования, продолжавшегося 5 ч 20 мин. За это время облако, как видно из рис. 3, не успело полностью размыться. Следовательно, время, равное 6 ч, можно принять за период жизни неконденсационного облака. Допустим, что подобные облака симметричны в горизонтальной плоскости и их начальный размер близок к размерам облака, описанного в [2]. Тогда получим следующие величины коэффициентов диффузии аэрозоля в облаке: для суммарной концентрации и субмикронной фракции $\bar{D} = 6 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$, для среднedisперсной фракции $-\bar{D} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{с}$.

Полученные оценки весьма близки к данным работы [9], в которой на основании экспериментов по рассеиванию искусственных облаков, образованных при запуске ракет, и по измерениям со спутников размытия выбросов вулканов найдено, что время жизни облаков изменяется от 1 до 50 ч, при этом наиболее характерный временной масштаб составляет для их периода жизни 10^4 с , а средний коэффициент диффузии $D = 2 \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$.

В заключение раздела отметим, что как по внутренней структуре, так и по внешнему проявлению рассматриваемые неконденсационные облака подобны обычным водным облакам вертикального развития *Cu hum* и *Cu med*. Единственное различие заключается в том, что неконденсационные облака наблюдаются в областях с низкими (< 50%) значениями относительной влажности. Отсутствие конденсации, по-видимому, и является тем механизмом, который не вызывает деформации полей температуры и влажности в их зоне.

4. Механизм образования неконденсационных облаков

При обсуждении в работах [2, 3] возможного механизма образования неконденсационных облаков, гипотеза об их конвективном происхождении была отвергнута, так как такие облака наблюдались, как правило, над слоем инверсии и в их зоне отсутствовала деформация полей влажности и температуры.

Все вышеизложенное позволяет вернуться к этой гипотезе вновь. Во-первых, большинство случаев появления таких облаков зафиксировано в послеполуденное время, то есть в период, когда инверсия если и есть, то минимальна и может быть пробита отдельными мощными конвективными потоками. Во-вторых, предшественниками неконденсационных облаков являются зачастую облака *Cu hum* и *Cu med*, имеющие конвективную природу. В-третьих, такие облака могут жить достаточно долго, по крайней мере, несколько часов, то есть период достаточный для изменения стратификации атмосферы. В-четвертых, химический состав аэрозоля явно свидетельствует о его почвенном происхождении, а распределение по спектру (наличие среднedisперсной фракции) требует, чтобы эти частицы переносились потоками воздуха определенной интенсивности.

Для проверки этой гипотезы были проведены эксперименты по измерению температуры, влажности и счетной концентрации аэрозоля в условиях развитой конвекции над югом Украины в полуденное время. Полеты проводились на разных высотах с учащенной (1 с) регистрацией указанных характеристик. Оказалось, что пересечение термика самолетом в нижних слоях сопровождается скачком всех характеристик на его границах, а вблизи уровня конденсации, что идентифицировалось по нижней границе облаков *Cu hum*, эти различия стираются.

В качестве примера на рис. 4 показано пересечение термика на высоте 2200 м (нижняя граница *Cu hum* наблюдалась на высоте 2400 м). Из рисунка 4 видно, что изменения температуры (T) и влажности (f) на границах термика хоть и наблюдались, но были не столь существенны. В то же время, концентрация аэрозоля N изменялась более, чем в 3 раза. Таким образом, налицо эффект различного переноса субстанций термином в нижних и верхних слоях воздуха.

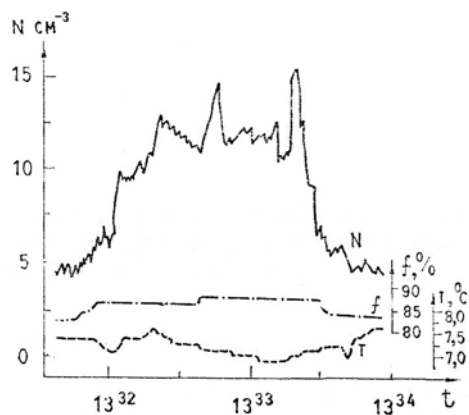


Рис. 4. Распределение аэрозоля (N), относительной влажности (f) и температуры воздуха (T) в термике над Кривым Рогом 20.06.1986 г. на высоте 2200 м

Это, очевидно, связано с различием в переносе газовых и аэрозольных компонент и подтверждается данными оценок коэффициентов диффузии для разных фракций аэрозоля, выполненных выше.

Целесообразно сделать подобные оценки и для газовой составляющей. В случае, когда термик пробивает инверсию и забрасывает в вышележащий слой воздуха, имеющий низкую относительную влажность, локальный объем влажного воздуха, содержащего аэрозоль, то начнется диффузия влаги и аэрозоля из этого объема в окружающее пространство. Но, так как влага в возникшем облаке является несвязанной аэрозолем (частицы почвы плохо смачиваются), то начавшаяся диффузия этих компонент будет проходить с разной скоростью. Чтобы это доказать, проведем следующие оценки.

В работе [10] на основании экспериментальных данных показано, что скорость увеличения облака газа определяется $V = k\sqrt{g \Delta' h}$, где g — ускорение силы тяжести; h — высота; $\Delta' = \rho_c / \rho_0 - 1$, где ρ_0 — плотность воздуха в облаке; ρ_c — плотность воздуха в окружающей среде. Число Фруда $k \approx 1$. Как известно, влажный воздух легче сухого. Поэтому, взяв среднюю разность по влажности (50%) между облаком и средой, мы получим для большинства ситуаций, в которых наблюдались облака, значение величины $\Delta' = 0,001$. Для простоты будем считать, что $h = 1000$ м (все облака наблюдались выше 1000 м). Тогда скорость расширения влажного облака будет равняться $V_2 = 3,3$ м/с. Обращаясь же к рис. 3 и данным работы [2] и считая, что в [2] приводятся размеры облака в начальной стадии, а на рис. 3 ближе к концу его существования, и что такой процесс продолжается ~6 ч, получим скорость расширения облака аэрозоля $V_a = 0,4$ м/с. Следовательно, скорости расширения одной и той же области для водяного пара и аэрозоля отличаются почти на порядок. А это значит, что после пересечения объемом воздуха слоя инверсии осушение этого объема произойдет примерно в 8 раз быстрее, чем диффузионное размытие аэрозоля.

Косвенным подтверждением конвективной гипотезы являются данные о повторяемости неконденсационных облаков, представленные в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Высота образования неконденсационных облаков			
Высота, км	1—2	2—3	>3
Холодный период	5	3	—
Теплый период	2	9	5

Суммируя результаты настоящей работы, отметим, что совокупность приведенных данных вполне убедительно свидетельствует о почвенном происхождении аэрозольных неконденсационных облаков, которые под действием конвективных потоков проникают в надынверсионную область и способны в течение определенного времени существовать в виде локализованных образований.

1. Зуев В. Е. Оптика атмосферы. Итоги и перспективы. — Оптика атмосферы, 1988, т. 1, № 1, с. 5.
2. Белан Б. Д., Задде Г. О. — ДАН СССР, 1986, т. 290, № 6, с. 1328.
3. Белан Б. Д., Задде Г. О., Рассказчикова Т. М. — Метеорология и гидрология. 1987, № 4, с. 38.
4. Кондратьев К. Я., Москаленко Н. И., Поздняков Д. В. Атмосферный аэрозоль. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 224 с.
5. Ивлев Л. С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. — 368 с.
6. Белан Б. Д., Задде Г. О., Пхалагов Ю. А., Толмачев Г. Н. — Материалы VIII Всес. симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере. Томск: Изд. ТФ СО АН СССР, 1986, ч. 1, с. 154.
7. Hänel G. — Adv. Geophys., 1976, № 19, p. 73.
8. Филиппов В. Л., Иванов В. П., Колобов Н. В. Динамика оптической погоды. — Казань: Изд-во КГУ, 1986. — 157 с.
9. Barr S.; Gitford F. A. — Atmos. Environ. 1987, v. 21, № 8, p. 1737.
10. Brighton P. W. M., Prince A. J., Webber D. M. — Heavy Gas Dispers. Trials Thurner Island. — Amsterdam, 1985, p. 155.

Институт оптики атмосферы
СО АН СССР, Томск

Поступила в редакцию
6 апреля 1988 г.

B. D. Belan, G. O. Zадde, V. K. Kovalevsky, M. V. Panchenko,
T. M. Rasskazchikova, S. A. Terpugova, G. N. Tolmachev, A. G. Tumakov. **On the
Nature of Aerosol Uncondensed Clouds.**

Aerosol chemical composition, optical and microphysical characteristics within the cloud and outside it, meteorological parameters and synoptic situation in the observation area were examined. The analysis revealed general conditions for the aerosol uncondensed cloud formation, their inner and disperse structure. The mechanism responsible for the occurrence of this kind of clouds is shown to be due to the fact that, in some cases, the convective flows entraining the aerosol particles break through the inversion layer.