

О влиянии облачности нижнего яруса на корреляционные связи температуры и влажности в пограничном слое атмосферы Западной Сибири

В.С. Комаров, Н.Я. Ломакина*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 2.02.2009 г.

По данным типичных аэрологических станций Западной Сибири: Салехард, Туруханск, Омск и Новосибирск, исследованы особенности вертикальных и взаимно корреляционных связей температуры и влажности воздуха (массовой доли водяного пара) в пограничном слое атмосферы в зависимости от ее облачного состояния.

Ключевые слова: авто- и взаимно корреляционные связи, температура, влажность, пограничный слой, Западная Сибирь, ясные и пасмурные дни; correlation, cross correlation, temperature, humidity, the atmospheric boundary layer, Western Siberia, cloudless, heavy overcast.

Введение

Известно, что при изучении структуры метеорологических полей широко используются методы корреляционного анализа. Это позволяет на основе полученных корреляционных функций не только проводить статистический анализ, объективную классификацию и моделирование метеорологических объектов (например, климатов свободной атмосферы и пограничного слоя [1, 2]), но и решать различные прикладные задачи. В частности, среди подобных задач заметное место занимают задачи, связанные с интерпретацией результатов дистанционного (в том числе оптического) зондирования параметров атмосферы, качество которой в значительной степени зависит от полноты и адекватности априорной статистической информации (в том числе данных о межуровневой корреляции), описывающей вертикальную структуру метеорологических полей (и в первую очередь полей температуры и влажности [3, 4]).

При этом надо иметь в виду, что наибольшая точность определения параметров состояния атмосферы методами дистанционного зондирования отмечается в условиях безоблачной погоды [3]. Однако в реальных условиях на высотах менее 2 км довольно часто наблюдается сплошная облачность нижнего яруса (*St*, *Sc*, *Ns*) [5], которая значительно усложняет и без того сложную задачу дистанционного зондирования атмосферы как с земли, так и из космоса, поскольку в обоих случаях качественное зондирование осуществляется лишь до нижней или верхней границы сплошной облачности. В связи с этим

для получения требуемой информации в надоблачном или подоблачном слоях атмосферы обычно используется метод статистической экстраполяции, базирующийся на статистических данных, включающих и параметры межуровневой корреляции (см., например, [6]).

Учитывая все вышесказанное, а также отсутствие публикаций по исследованию особенностей статистических связей в пограничном слое атмосферы Западной Сибири в зависимости от облачного состояния атмосферы, в настоящей статье делается попытка рассмотреть эти особенности на примере полей температуры и влажности.

1. Некоторые методические вопросы подготовки исходных данных и расчета корреляционных функций

Основным исходным материалом для исследования особенностей корреляционных связей температуры и влажности воздуха (массовой доли водяного пара) в зависимости от облачного состояния атмосферы послужили данные многолетних (2000–2009 гг.) двухсрочных (00 и 12 GMT) метеорологических наблюдений (по ним определялись даты и сроки безоблачных условий и сплошной облачности нижнего яруса), а также соответствующие им радиозондовые наблюдения четырех станций: Салехард (66°32' с.ш., 66°40' в.д.), Туруханск (65°47' с.ш., 87°56' в.д.), Омск (54°56' с.ш., 73°24' в.д.) и Новосибирск (54°58' с.ш., 82°57' в.д.), представляющих различные физико-географические районы Западной Сибири. При этом радиозондовые наблюдения, относящиеся к стандартным изобарическим поверхностям: 1000, 975, 850

* Валерий Сергеевич Комаров (gfm@iao.ru); Наталья Яковлевна Ломакина (lnya@iao.ru).

и 700 гПа и уровнях особых точек, были приведены (с помощью метода линейной интерполяции) к системе геометрических высот: 0 (уровень станции), 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200 и 1600 м, что позволило исследовать вертикальную корреляционную структуру полей температуры и влажности воздуха в пограничном слое атмосферы при различном облачном состоянии с большим высотным разрешением. Такое исследование для региона Западной Сибири сделано впервые.

Для оценки особенностей вертикальных (межуровневых) корреляционных связей температуры и массовой доли водяного пара (в старых обозначениях – удельной влажности) использованы нормированные автокорреляционные функции $r_{\xi\xi}(h_i, h_j)$, определяемые с помощью выражения

$$r_{\xi\xi}(h_i, h_j) = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N \frac{[\xi_v(h_i) - \bar{\xi}(h_i)][\xi_v(h_j) - \bar{\xi}(h_j)]}{\sigma_{\xi}(h_i)\sigma_{\xi}(h_j)}, \quad (1)$$

где $\xi_v(h_i)$ и $\xi_v(h_j)$ – индивидуальные значения метеорологической величины ξ на h_i -м и h_j -м уровнях (здесь v – номер реализации); $\bar{\xi}(h_i)$ и $\bar{\xi}(h_j)$ – средние значения той же метеорологической величины на тех же уровнях; $\sigma_{\xi}(h_i)$ и $\sigma_{\xi}(h_j)$ – соответствующие среднеквадратические отклонения; N – число используемых реализаций.

Поскольку наряду с межуровневыми статистическими связями представляет практический интерес исследовать также и взаимно корреляционные связи температуры и массовой доли водяного пара, то для

их характеристики были использованы взаимные корреляционные функции $\mu_{\xi\psi}(h_i, h_j)$, вычисляемые на основе выражения вида

$$\mu_{\xi\psi}(h_i, h_j) = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N \frac{[\xi_v(h_i) - \bar{\xi}(h_i)][\psi_v(h_j) - \bar{\psi}(h_j)]}{\sigma_{\xi}(h_i)\sigma_{\psi}(h_j)}, \quad (2)$$

причем в качестве примера берутся ее значения, полученные для одного и того же уровня, т.е. при условии, что $h_i = h_j$.

2. Особенности межуровневых корреляционных связей температуры и массовой доли водяного пара в зависимости от облачного состояния атмосферы

Остановимся теперь непосредственно на рассмотрении результатов анализа особенностей корреляционных связей температуры и массовой доли водяного пара в пограничном слое атмосферы Западной Сибири, оцененных с учетом облачного состояния, а именно: для безоблачных условий (0–2 балла) и дней со сплошной облачностью нижнего яруса (8–10 баллов). При этом в первую очередь рассмотрим особенности межуровневой корреляции, оцененной для каждой из указанных метеорологических величин. С этой целью воспользуемся рис. 1 и 2, на которых в качестве примера приведены автокорреляционные

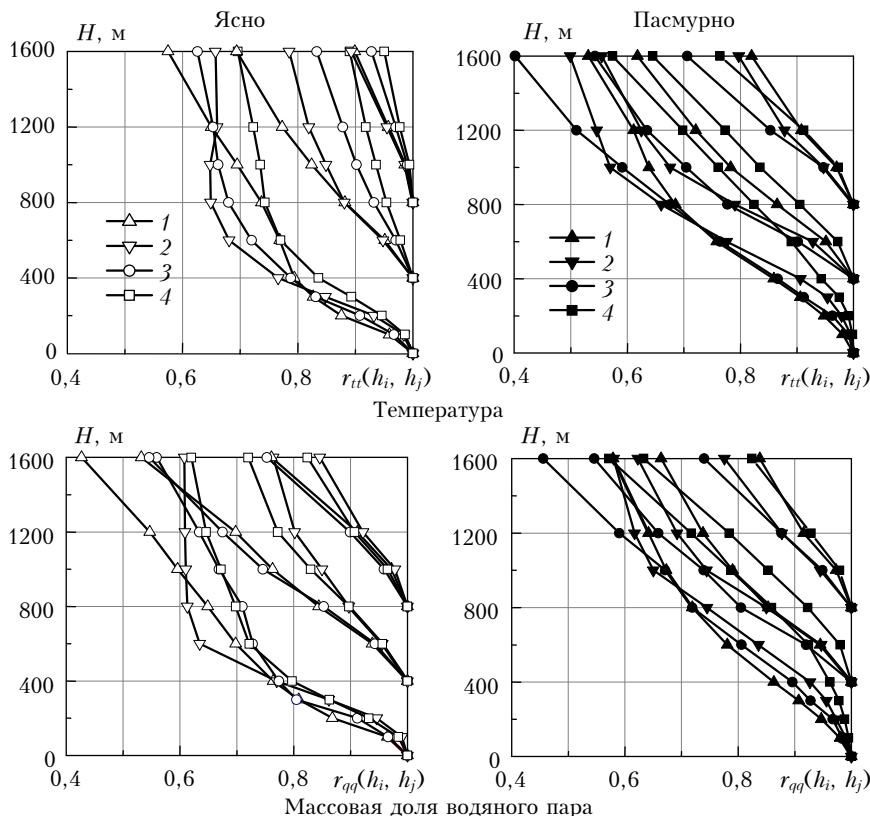


Рис. 1. Межуровневые корреляционные функции температуры и массовой доли водяного пара для типичных станций Западной Сибири: 1 – Салехард, 2 – Туруханск, 3 – Омск, 4 – Новосибирск. Зима

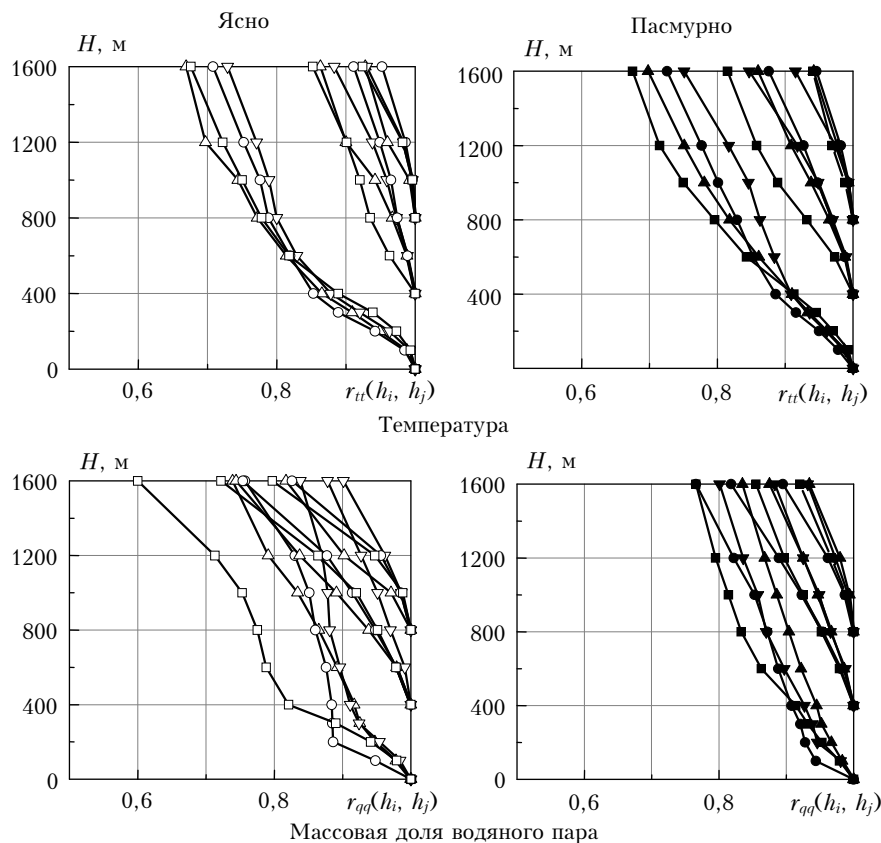


Рис. 2. Межуровневые корреляционные функции температуры и массовой доли водяного пара для типичных станций Западной Сибири: 1 – Салехард, 2 – Туруханск, 3 – Омск, 4 – Новосибирск. Лето

функции температуры $r_{tt}(h_i, h_j)$ и массовой доли водяного пара $r_{qq}(h_i, h_j)$, построенные по данным вышеуказанных станций для трех исходных уровней h_i : 0 (уровень земной поверхности), 400, 800 м и с учетом облачного состояния атмосферы.

Анализ рис. 1 и 2, а также всего имеющегося статистического материала показал, что автокорреляционные функции температуры и массовой доли водяного пара, рассчитанные для безоблачной атмосферы и при наличии сплошной облачности нижнего яруса, имеют такой же типичный вертикальный ход, как и аналогичные функции, но полученные по всей совокупности наблюдений, т.е. независимо от облачного состояния атмосферы (см., например, [2]). А именно: корреляционные связи между вариациями температуры у земли (или на других исходных уровнях) и ее вариациями на вышерасположенных уровнях пограничного слоя атмосферы, как в ясные дни, так и в дни со сплошной облачностью, являются, причем независимо от сезона, положительными и уменьшаются с высотой по мере увеличения расстояния между коррелируемыми уровнями. Однако само затухание корреляционных связей обеих метеорологических величин происходит различно в зависимости от облачного состояния.

В частности, в оба сезона коэффициенты межуровневой корреляции температуры $r_{tt}(h_0, h_j)$ и массовой доли водяного пара $r_{qq}(h_0, h_j)$ между вариациями этих метеорологических величин у земли и на выше-

расположенных уровнях наиболее быстро (особенно зимой) уменьшаются в условиях преобладания ясной погоды. Действительно, если, например, зимой в ясные дни уже к уровню 400 м коэффициенты межуровневой корреляции температуры $r_{tt}(h_0, h_j)$ и влажности воздуха $r_{qq}(h_0, h_j)$ достигают, причем повсеместно, значений 0,77–0,79 и 0,76–0,80 соответственно, то при наличии сплошной облачности нижнего яруса они существенно больше и составляют примерно 0,86–0,94 и 0,86–0,96. В то же время летом те же коэффициенты корреляции на уровне 400 м достигают в ясные дни значений 0,85–0,89 для температуры и 0,82–0,92 для влажности воздуха, а при наличии сплошной облачности 0,87–0,91 и 0,91–0,94 соответственно, т.е. они в меньшей степени зависят от облачного состояния атмосферы. Аналогичные (описанным) особенности характерны для коэффициентов межуровневой корреляции $r_{tt}(h_i, h_j)$ и для коэффициентов, полученных между вариациями температуры и влажности на уровне 100 (200) м и на вышерасположенных уровнях пограничного слоя атмосферы.

Более быстрое (по сравнению с пасмурной погодой) уменьшение коэффициентов корреляции $r_{tt}(h_0, h_j)$ и $r_{qq}(h_0, h_j)$ по своей величине с высотой в нижнем 400-метровом слое, которое наблюдается зимой в безоблачных условиях (это характерно для антициклонального режима погоды), обусловлено нарушением межуровневых корреляционных связей температуры

и влажности за счет появления мощных приземных инверсий радиационного типа. Летом же (в отсутствие мощных приземных инверсий, нарушающих межуровневые корреляционные связи) эти различия, связанные с облачным состоянием атмосферы, достаточно малы.

В отличие от коэффициентов межуровневой корреляции $r_{tt}(h_i, h_j)$ и $r_{qq}(h_i, h_j)$, рассчитанных при $h_i \leq 200$ м, ослабление корреляционных связей температуры и массовой доли водяного пара с увеличением расстояния между коррелируемыми уровнями при $h_i > 200$ м происходит в оба сезона и повсеместно более равномерно. При этом различия в межуровневой корреляции (особенно летом), обусловленные отсутствием или наличием облачности нижнего яруса, существенно уменьшаются. Наконец, зимой при повышении высоты исходного уровня близость межуровневых корреляционных связей температуры и массовой доли водяного пара заметно возрастает. Так, например, коэффициенты корреляции $r_{tt}(800, 1200)$ и $r_{qq}(800, 1200)$ достигают, причем повсеместно, значений 0,96–0,98 и 0,90–0,92 (для безоблачных условий) и 0,85–0,91 и 0,89–0,92 (при наличии сплошной облачности нижнего яруса).

Таковы основные особенности, которые были выявлены при анализе межуровневых корреляционных связей температуры и массовой доли водяного пара с помощью автокорреляционных функций $r_{tt}(h_i, h_j)$ и $r_{qq}(h_i, h_j)$, рассчитанных для пограничного слоя атмосферы Западной Сибири в условиях ясной погоды и при наличии сплошной облачности нижнего яруса.

3. Особенности взаимно корреляционных связей температуры и массовой доли водяного пара в зависимости от облачного состояния атмосферы

Наряду с межуровневыми корреляционными связями рассмотрим также некоторые особенности взаимно корреляционных связей температуры и массовой доли водяного пара, которые обуславливаются тем или иным облачным состоянием атмосферы. В таблице в качестве примера приведены значения коэффициентов взаимной корреляции $\mu_{\epsilon\psi}(h_i, h_j)$ между температурой и влажностью воздуха для одного и того же уровня (т.е. при $h_i = h_j$) по данным ст. Салехард, Туруханск, Омск и Новосибирск.

Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что зимой в пограничном слое атмосферы над всей территорией Западной Сибири взаимно корреляционные связи температуры и массовой доли водяного пара на одном и том же уровне являются более тесными при наличии сплошной облачности, причем выше 400 м, где эта облачность и наблюдается.

Действительно, если зимой, например, на высоте 800 м при отсутствии облаков коэффициенты взаимной корреляции $\mu_{\epsilon\psi}(h_i = h_j)$ варьируют повсеместно в пределах 0,69–0,85, то при наличии сплошной облачности нижнего яруса они равны 0,88–0,94. Такие же различия отмечаются между коэффициентами взаимной корреляции (в зависимости от облачного состояния атмосферы) и на более высоких уровнях.

Коэффициенты взаимной корреляции температуры и массовой доли водяного пара $\mu_{\epsilon\psi}(h_i = h_j) \cdot 10^3$, полученные в зависимости от облачного состояния атмосферы для различных станций Западной Сибири

Станция	Высота, м									
	0	100	200	300	400	600	800	1000	1200	1600
Зима										
<i>Безоблачная атмосфера</i>										
Салехард	914	930	940	934	929	902	852	795	723	599
Туруханск	882	882	881	885	884	877	853	812	757	642
Омск	907	914	919	915	888	809	694	613	572	523
Новосибирск	916	927	938	943	927	873	806	748	715	659
<i>Атмосфера со сплошной облачностью</i>										
Салехард	921	926	932	936	938	942	940	939	935	913
Туруханск	918	920	927	934	939	921	877	857	835	759
Омск	955	959	957	955	946	921	888	832	752	597
Новосибирск	935	933	934	936	931	921	888	859	826	719
Лето										
<i>Безоблачная атмосфера</i>										
Салехард	577	549	542	557	577	588	592	587	559	525
Туруханск	487	462	462	460	471	493	515	558	582	532
Омск	333	285	302	344	381	424	468	488	498	382
Новосибирск	555	546	511	458	423	506	542	549	501	278
<i>Атмосфера со сплошной облачностью</i>										
Салехард	772	805	835	851	867	876	897	915	929	925
Туруханск	593	606	620	626	622	643	675	712	730	734
Омск	445	427	431	453	461	486	522	557	589	608
Новосибирск	616	626	647	660	675	693	690	682	692	729

Подобные особенности обусловлены тем, что зимой в безоблачные дни, когда адвекция тепла и влаги развита слабо, не всякое повышение или понижение температуры, например при адиабатическом перемещении воздушной массы по высоте, сопровождается изменением влажности воздуха. В то же время в условиях наличия сплошной облачности, т.е. при адвекции теплых и влажных воздушных масс, повышение температуры в процессе подобной адвекции сопровождается всегда увеличением влагосодержания атмосферного воздуха.

Летом наблюдается почти схожая картина, но при более низкой взаимной корреляции температуры и влажности воздуха. При этом ее тесные взаимно корреляционные связи в условиях облачной атмосферы отмечаются уже во всем пограничном слое атмосферы, а не только выше 400 м, как это характерно для зимнего периода.

Таковы некоторые особенности, свойственные взаимно корреляционным связям температуры и массовой доли водяного пара в пограничном слое атмосферы Западной Сибири, выявленные на основе анализа коэффициентов взаимной корреляции $\mu_{tq}(h_i = h_j)$, рассчитанных с учетом облачного состояния.

Заключение

Таким образом, выявленные особенности статистических связей температуры и влажности воздуха в пограничном слое атмосферы Западной Сибири, оцененные с учетом облачного состояния атмосферы, существенно дополняют особенности тех же связей, полученных ранее (см. [2]) по всей совокупности аэрологических наблюдений, т.е. независимо от об-

лачности. Как нам представляется, анализ корреляционных связей температуры и влажности воздуха в зависимости от облачного состояния атмосферы следует продолжить путем использования большего числа аэрологических станций Западной Сибири. Это позволит не только подтвердить полученные в настоящей статье особенности в поведении указанных связей на более полном статистическом материале, но и заложить хорошую основу для проведения объективной классификации и моделирования климатов пограничного слоя атмосферы используемого региона, осуществляемых с учетом различных облачных условий. Все это будет предметом наших дальнейших исследований.

1. Zuev V.E., Komarov V.S. Statistical Model of the Temperature and Gaseous Components of the Atmosphere. Dordrecht; Boston; Lancaster; Tokyo: D. Reidel Publishing Company, 1987. 306 p.
2. Комаров В.С., Ломакина Н.Я. Статистические модели пограничного слоя атмосферы Западной Сибири. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2008. 220 с.
3. Кондратьев К.Я., Тимофеев Ю.М. Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 280 с.
4. Зуев В.Е., Зуев В.В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 232 с.
5. Облака и облачная атмосфера: Справочник / Под ред. И.П. Мазина, А.Х. Хргиана. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 648 с.
6. Комаров В.С. Некоторые результаты оценки восстановления профиля температуры в подоблачном слое атмосферы по данным спутниковой информации и априорной статистики // Труды ВНИИГМИ МЦД. 1977. Вып. 42. С. 21–26.

V.S. Komarov, N.Ya. Lomakina. Influence of low-level clouds on temperature and humidity correlations in the atmospheric boundary layer of Western Siberia.

The features of the vertical- and cross-correlations of air temperature and humidity (specific humidity) in the atmospheric boundary layer depending on cloudiness state are investigated based on the data of four typical aerologic stations of Western Siberia: Salekhard, Turukhansk, Omsk, and Novosibirsk.