

Н.Я. Ломакина, В.С. Комаров

Статистические модели высотного распределения температуры, влажности и ветра для пограничного слоя атмосферы Западной Сибири

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 3.07.2007 г.

Рассматривается методика объективной классификации климатов пограничного слоя атмосферы и климатического районирования, реализованная на примере региона Западной Сибири. Выявлено 4 однородных района для зимнего периода и 4 – для летнего. Для каждого района построены локальные статистические модели, включающие модельные профили высотного распределения средних значений, среднеквадратических отклонений и матрицы межуровневой корреляции температуры, массовой доли водяного пара, зонального и меридионального ветров.

Известно, что при решении различных задач атмосферной оптики и дистанционного зондирования атмосферы находят широкое применение статистические модели высотного распределения метеорологических величин, которые разрабатываются с учетом результатов объективной классификации климатов и климатического районирования заданной территории. Однако до сих пор такие модели создавались, главным образом, для свободной атмосферы (см., например, [1]) и не касались пограничного слоя. Учитывая это, авторы данной статьи попытались восполнить подобный пробел, разработав методику объективной классификации климатов пограничного слоя атмосферы и климатического районирования и построения локальных статистических моделей, реализованную на примере региона Западной Сибири.

Процедура объективной классификации сводится обычно к разбиению некоторых объектов X_l ($l = 1, 2, \dots, L$) на классы в k -мерном пространстве описания E в соответствии с информативными признаками N_q ($q = 1, 2, \dots, Q$), а также заданной меры сходства. В нашем случае для классификации климатов пограничного слоя атмосферы, проводимой по комплексу «температура–влажность–зональный и меридиональный ветры», в качестве признаков N_q использованы:

- средний (климатический) профиль высотного распределения метеорологической величины $\mathbf{m}_\xi^{(k)}$, представляющей собой k -мерный вектор, компонентами которого являются дискретные значения $m_\xi(h_k)$ на разных высотах h_k (при $k = 1, 2, \dots, K$);
- главные собственные векторы F_α и собственные числа λ_α (α – номер числа разложения) блочной нормированной корреляционной матрицы μ_x , у которой блоки, расположенные на главной диагонали, представляют собой автокорреляционные матрицы температуры $\|\mu_{tt}\|$, влажности $\|\mu_{qq}\|$, зо-

нального $\|\mu_{uu}\|$ и меридионального $\|\mu_{vv}\|$ ветра, а остальные блоки – соответствующие взаимные корреляционной матрицы, причем

$$\begin{aligned} \|\mu_{tq}\| &= \|\mu_{qt}\|^T, \quad \|\mu_{tu}\| = \|\mu_{ut}\|^T, \quad \|\mu_{tv}\| = \|\mu_{vt}\|^T, \\ \|\mu_{qu}\| &= \|\mu_{uq}\|^T, \quad \|\mu_{qv}\| = \|\mu_{vq}\|^T \text{ и } \|\mu_{uv}\| = \|\mu_{vu}\|^T, \end{aligned}$$

где T – оператор транспонирования.

В то же время в качестве меры сходства, применяемой для выделения границ однородных районов с различным температурно-влажностным и ветровым режимом, использованы три статистических критерия.

В частности, для сравнения близости средних профилей, полученных для двух станций l и s (при $l = s = 1, 2, \dots, L$), взят критерий подобия вида

$$\bar{r}_{ls}^{(m)} \geq r_{\text{крит}}^{(m)} = \text{th } z_{\text{крит}}. \quad (1)$$

Здесь

$$\bar{r}_{ls}^{(m)} = \left(\sum_1^4 r_{ls}^{(\xi)} \right) / 4,$$

причем

$$r_{ls}^{(\xi)} = \frac{1}{\sigma_l \sigma_s} \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k m_i^{(l)} m_i^{(s)} - \bar{m}_l \bar{m}_s \right),$$

где \bar{m} – среднее послойное значение для каждой из четырех взятых метеорологических величин, полученное путем осреднения всех k -компонент (уровневых значений) вектора $\mathbf{m}_\xi^{(k)}$; σ – среднее квадратическое отклонение, характеризующее вариации k -х компонент того же вектора относительно среднего послойного значения \bar{m} ; $z_{\text{крит}} = 3\sigma_z$ – критическое значение функции Фишера (при $\sigma_z = 1/\sqrt{k-3}$ и $k=10$ определяемое объемом выборки, т.е. размерностью сопоставляемых векторов математических

ожиданий), использование которого позволяет легко найти с помощью специальных таблиц [2] значение критического критерия $r_{\text{крит}}^{(m)}$ (в нашем случае оно равно 0,812).

Для оценки сходства (подобия) собственных векторов обобщенных корреляционных матриц, полученных для двух сравниваемых станций l и s , применен критерий устойчивости этих векторов вида

$$\bar{r}_{ls}^{(F)} = \left[\frac{\sum_{\alpha=1}^p r_{\alpha}^{(ls)} \lambda_{\alpha}}{\sum_{\alpha=1}^p \bar{\lambda}_{\alpha}} \right] \geq r_{\text{крит}}^{(F)} = \text{th} z_{\text{крит}}, \quad (2)$$

где

$$r_{\alpha}^{(ls)} = \sum_{i=1}^k F_{\alpha i}^{(l)} F_{\alpha i}^{(s)} = \cos(F_{\alpha i}^{(l)}, F_{\alpha i}^{(s)})$$

– коэффициент подобия двух собственных k -мерных векторов $F_{\alpha}^{(l)}$ и $F_{\alpha}^{(s)}$, рассчитанных для l -й и s -й сравниваемых блочных матриц μ_x ; $\bar{\lambda}_{\alpha} = (\lambda_{\alpha}^{(l)} + \lambda_{\alpha}^{(s)})/2$ – среднее арифметическое из собственных чисел одного и того же номера α ; p – число используемых для классификации членов разложения (нами принято $p = 5$, поскольку на первые пять собственных векторов приходится более 90% от суммарной дисперсии); $z_{\text{крит}} = 3\sigma_z$ – критическое значение функции Фишера (при $\sigma_z = 1/\sqrt{n-3}$ и порядке матрицы μ_x $n = 4k = 40$), позволяющее найти с помощью специальных таблиц [2] значение $\bar{r}_{ls}^{(F)}$, которое в нашем случае равно 0,456.

И наконец, для оценки значимости расхождения норм обобщенных корреляционных матриц λ_1 (при $\alpha = 1$), которые, по существу, являются дисперсиями всего пространства (т.е. всего рассматриваемого пограничного слоя атмосферы), использован критерий Кохрана вида [2]:

$$G = \left(S_j / \sum_{l=1}^L S_l \right) \leq G_{0,05}(f, L), \quad (3)$$

где S_j – наибольшая из L сравниваемых норм матрицы μ_x ; L – число взятых норм; $G_{0,05}(f, L)$ – критическое значение критерия Кохрана, определяемое при 5%-м уровне значимости для числа степеней свободы $f = n - 1$ (здесь n – порядок матрицы μ_x , равный 40) и заданного числа сопоставляемых матриц L с помощью специальной таблицы [2] (в нашем случае $G_{0,05}(f, L)$ при $f = 39$ и $L = 8$ составляет 0,201).

При выполнении условий

$$\bar{r}_{ls}^{(m)} \geq r_{\text{крит}}^{(m)}, \quad \bar{r}_{ls}^{(F)} \geq r_{\text{крит}}^{(F)} \quad \text{и} \quad G \leq G_{0,05}(f, L) \quad (4)$$

все сопоставляемые средние профили, собственные векторы и нормы матриц μ_x , рассчитанные для станций l и s , составляют однородные районы, в которых поля температуры, влажности воздуха, зонального и меридионального ветров согласуются между собой со статистической точки зрения и являются однородными по отношению к синоптическим и мезомасштабным процессам.

Для реализации процедуры объективной классификации климатов пограничного слоя атмосферы и климатического районирования территории Западной Сибири использованы многолетние (2001–2005 гг.) наблюдения восьми аэрологических станций: Салехард (66°32' с.ш., 66°40' в.д.), Туруханск (65°47' с.ш., 87°56' в.д.), Ханты-Мансийск (61°01' с.ш., 69°02' в.д.), Александровское (60°26' с.ш., 77°52' в.д.), Верхнее Дуброво (56°44' с.ш., 61°04' в.д.), Омск (54°56' с.ш., 73°24' в.д.), Новосибирск (54°58' с.ш., 82°57' в.д.) и Емельяново (56°11' с.ш., 92°37' в.д.), причем эти данные, представленные на стандартных изобарических поверхностях и уровнях особых точек, приведены к системе геометрических высот: 0, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200 и 1600 м.

Объективное климатическое районирование территории Западной Сибири, осуществляемое по температурно-влажностному и ветровому режиму пограничного слоя атмосферы, дополняет проведенное ранее комплексное климатическое районирование Северного полушария [1], согласно которому в оба сезона Западная Сибирь находится на территории одного квазиоднородного района. Зимой – это квазиоднородный район 2.2, а летом – 2.4.

Исходя из условий (4), вся территория Западной Сибири (рис. 1) была разделена (по режиму пограничного слоя атмосферы) на ограниченное число однородных подрайонов (4 – зимой и 4 – летом).

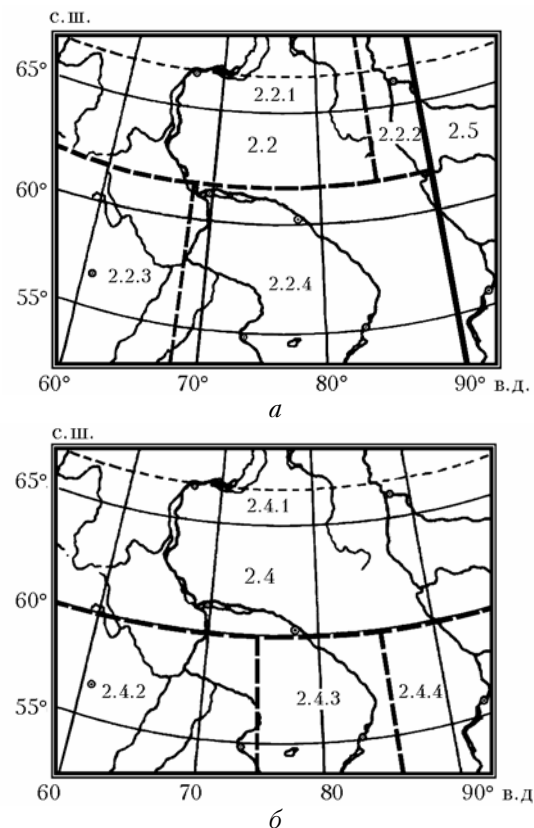


Рис. 1. Климатическое районирование территории Западной Сибири по режиму пограничного слоя атмосферы: а – зима; б – лето

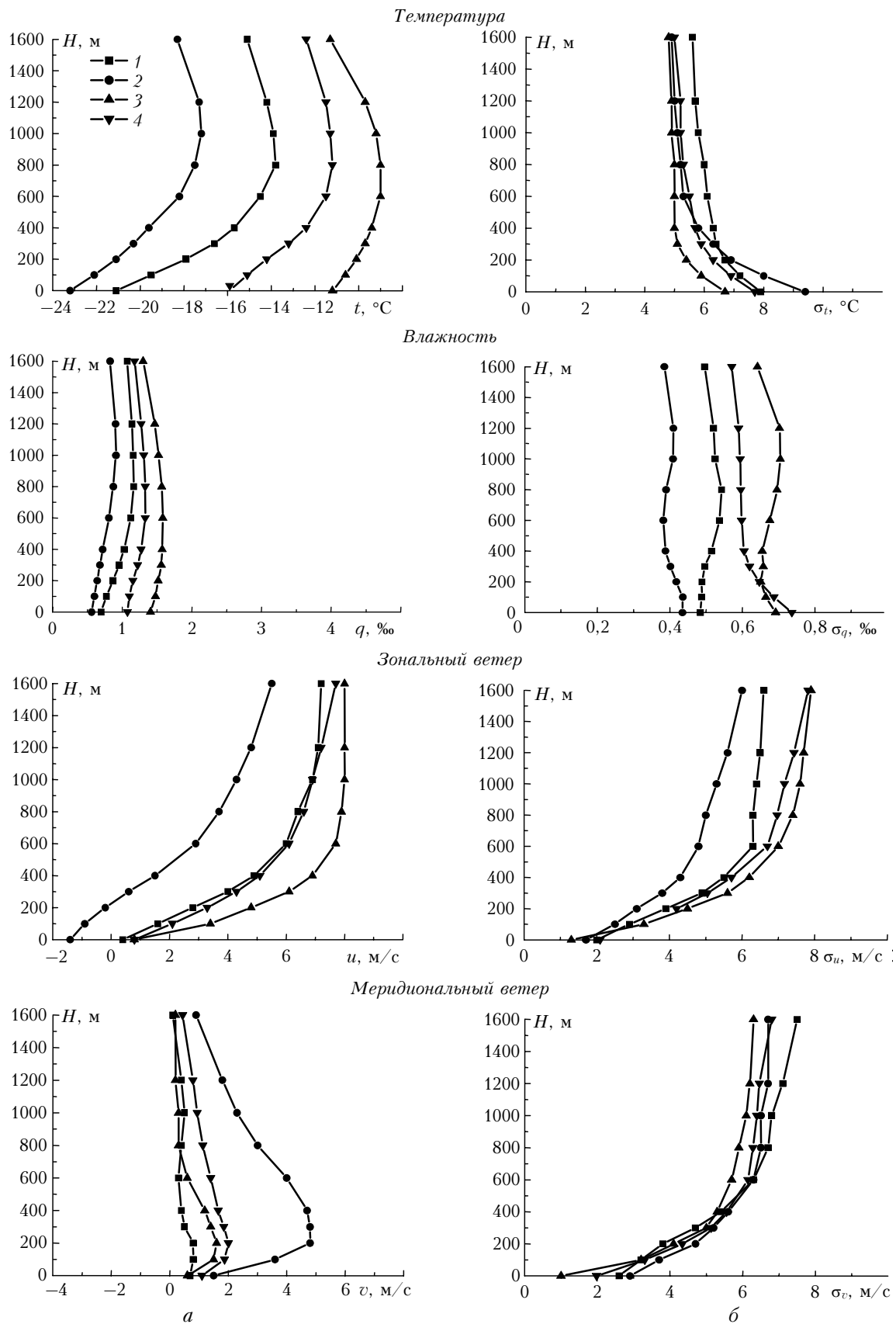


Рис. 2. Локальные модели высотного распределения средних значений (а) и стандартных отклонений (б) температуры, влажности воздуха, зонального и меридионального ветра в пограничном слое атмосферы для различных однородных районов Западной Сибири: 1 – 2.2.1; 2 – 2.2.2; 3 – 2.2.3; 4 – 2.2.4. Зима

Для каждого из таких районов и были построены локальные статистические модели, включающие в свой состав: модельные профили высотного распределения средних значений $\bar{\xi}(h_k)$ и среднеквадратических отклонений $\sigma_{\xi}(h_k)$ температуры (t , °C), массовой доли водяного пара (q , ‰), зонального (u , м/с) и меридионального (v , м/с) ветров, а также модельные матрицы межуровневой корреляции $\|\mu_{ij}\|_{\xi\xi}$ тех же метеорологических вели-

чин. Сразу же отметим, что из-за большого объема статистических данных в качестве примера на рис. 2 приводятся лишь модельные профили $\bar{\xi}(h_k)$ и $\sigma_{\xi}(h_k)$ для зимнего периода.

1. *Комаров В.С.* Статистика в приложении к задачам прикладной метеорологии. Томск: Изд-во «Спектр» Института оптики атмосферы СО РАН, 1997. 256 с.
2. *Румишинский Л.З.* Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука. 1971. 192 с.

N.Ya. Lomakina, V.S. Komarov. Statistical models of altitude distribution of temperature, humidity, and wind for the Western Siberia atmospheric boundary layer.

The methodology of objective climate classification for the atmospheric boundary layer and identification of climatic regions, realized for Western Siberia, is considered. It was identified four homogeneous regions for winter season and four – for summer one. Local statistic models are built for each region. These include profiles of altitude distribution of mean values, mean square deviations, and matrices of interlevel correlation of temperature, specific humidity, zonal and meridional winds.