



ИНСТИТУТ
ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ
им. В.Е. ЗУЕВА СО РАН

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
и школа молодых ученых по измерениям, моделированию
и информационным системам для изучения окружающей среды
05-11 ИЮЛЯ 2018 ГОДА, ТОМСК, РОССИЯ

**ENV
IRO
MIS
2018**

JULY 05-11, 2018, TOMSK, RUSSIA
INTERNATIONAL CONFERENCE
and Early Career Scientists School on Environmental Observations,
Modeling and Information Systems

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЛАЖНОСТИ И ВЕТРА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

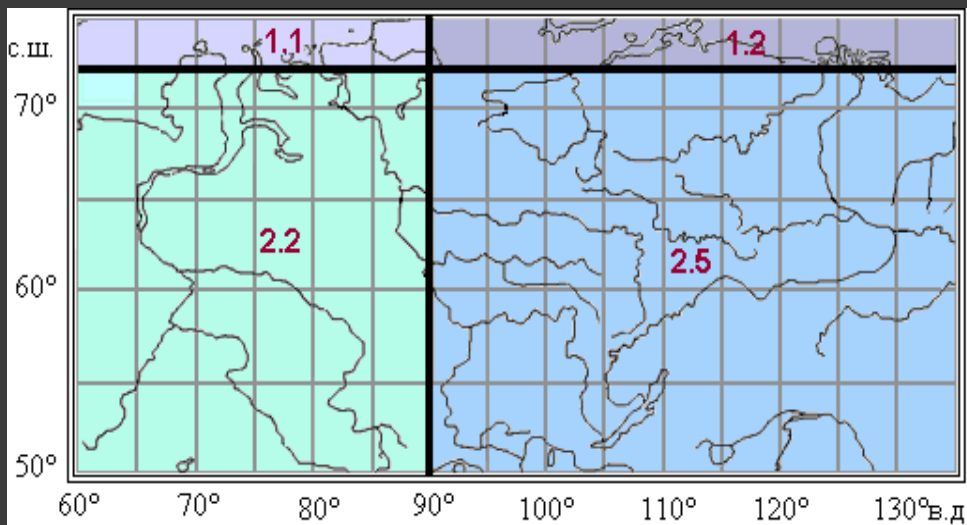
Ломакина Н.Я.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

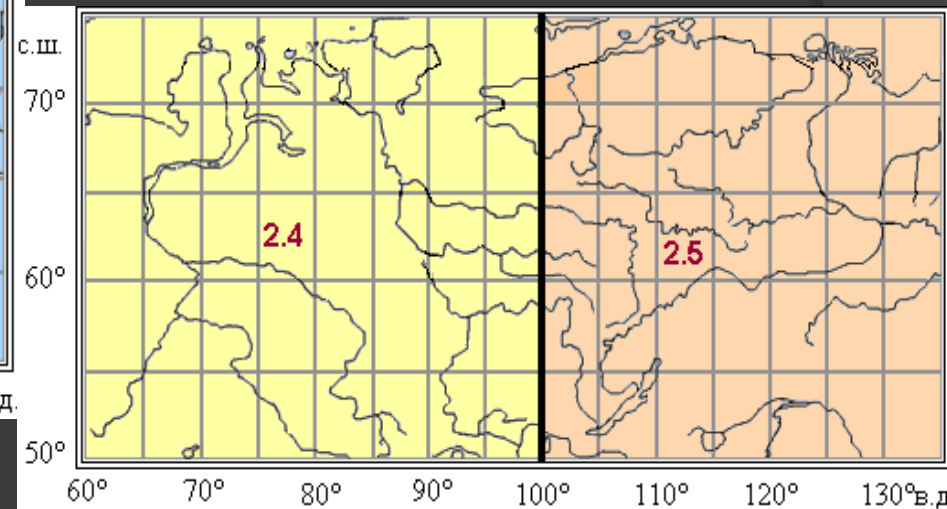
Inya@iao.ru

Согласно климатическому районированию северного полушария [1], проведенному на основе объективной классификации полей давления, температуры, влажности и озона в свободной атмосфере, территория Сибирского региона находится в четырех квазиоднородных районах зимой – 1.1, 1.2, 2.2 и 2.5, а летом в двух – 2.4 и 2.5

Зима



Лето



1. Зуев В.Е., Комаров В.С. Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы // Ленинград: Гидрометеоиздат. 1986. 264 с.

- вертикальная структура метеорологических величин на территории Сибирского региона описывается четырьмя региональными моделями зимой и двумя – летом
- шаг по вертикали в региональных моделях составляет 1 км
- ортогональные составляющие скорости ветра в региональных моделях не представлены



Необходимость уточнения региональных статистических моделей в пограничном слое атмосферы такого обширного региона, как Сибирь

- ◎ Объективная классификация климатов ПСА и климатическое районирование территории Сибири по температурно-влажностному и ветровому режиму
- ◎ Локальные статистические модели температуры, влажности и ветра в ПСА Сибирского региона

Информативные признаки для объективной классификации климатов ПСА

- ▶ средний (климатический) профиль вертикального распределения метеовеличины

$$\mathbf{m}_{\xi}^k = \begin{pmatrix} m_{\xi}(h_1) = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N \xi_v(h_1) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ m_{\xi}(h_k) = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N \xi_v(h_k) \end{pmatrix} \quad (1)$$

- ▶ обобщенная корреляционная матрица комплекса «температура-влажность-зональная и меридиональная составляющая скорости ветра»

$$\mu_x = \begin{pmatrix} \mu_{tt} & \mu_{tq} & \mu_{tU} & \mu_{tV} \\ \mu_{qt} & \mu_{qq} & \mu_{qU} & \mu_{qV} \\ \mu_{Ut} & \mu_{Uq} & \mu_{UU} & \mu_{UV} \\ \mu_{Vt} & \mu_{Vq} & \mu_{VU} & \mu_{VV} \end{pmatrix} \quad (2)$$

- ▶ главные собственные векторы F_{α} и собственные числа λ_{α} (α – номер числа разложения) обобщенной корреляционной матрицы μ_x (2)

- ▶ норма обобщенной корреляционной матрицы μ_x (2)

Статистические критерии для выделения границ однородных районов

- ▶ **критерий подобия** - для сравнения близости средних профилей (1), полученных для двух станций l и s

$$\bar{r}_{ls}^{(m)} \geq r_{\text{крит.}}^{(m)} = \text{th } z_{\text{крит.}} \quad (3)$$

где $\bar{r}_{ls}^{(m)} = \left(\sum_1^4 r_{ls}^{(\xi)} \right) / 4$ $r_{ls}^{(\xi)} = \frac{1}{\sigma_l \sigma_s} \left(\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k m_i^{(l)} \cdot m_i^{(s)} - \bar{m}_l \cdot \bar{m}_s \right)$ $z_{\text{крит.}} = 3\sigma_z$ $\sigma_z = 1/\sqrt{k-3}$ при $k=10$

- ▶ **критерий устойчивости** - для оценки сходства (подобия) собственных векторов обобщенных корреляционных матриц (2), полученных для двух сравниваемых станций l и s

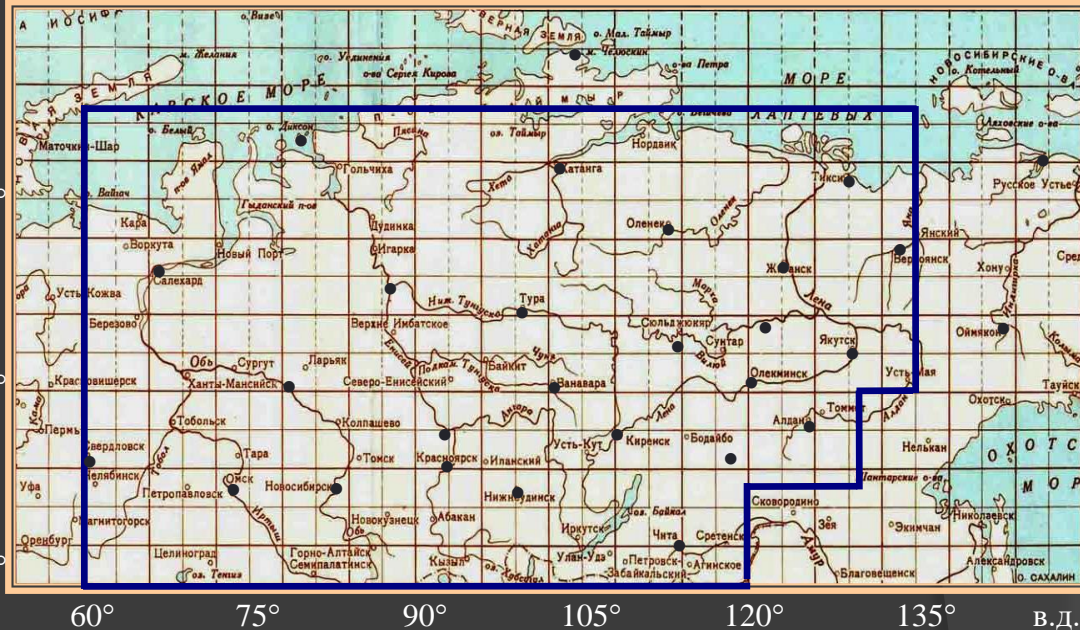
$$\bar{r}_{ls}^{(F)} = \left[\left(\sum_{\alpha=1}^p r_{\alpha}^{(ls)} \cdot \lambda_{\alpha} \right) / \sum_{\alpha=1}^p \lambda_{\alpha} \right] \geq r_{\text{крит.}}^{(F)} = \text{th } z_{\text{крит.}} \quad (4)$$

где $r_{\alpha}^{(ls)} = \sum_{i=1}^k F_{\alpha i}^{(l)} \cdot F_{\alpha i}^{(s)} = \text{Cos}(F_{\alpha i}^{(l)}, F_{\alpha i}^{(s)})$ $z_{\text{крит.}} = 3\sigma_z$ $\sigma_z = 1/\sqrt{n-3}$ при $n = 4k = 40$

- ▶ **критерий Кохрана** - для оценки близости норм λ_1 (при $\alpha=1$) обобщенных корреляционных матриц μ_x (2)

$$G = \left(S_j / \sum_{l=1}^L S_l \right) \leq G_{0,05}(f, L) \quad (5)$$

При выполнении условий (3) – (5) все сопоставляемые пары станций попадают в один и тот же однородный район, где поля температуры, влажности воздуха, зонального и меридионального ветра являются однородными по отношению к атмосферным процессам мезо- и синоптического масштаба.



Исходные данные

- ▶ температура
- ▶ дефицит точки росы
- ▶ ветер

на изобарических уровнях 1000, 925, 850 гПа и уровнях особых точек,
интерполированные на стандартные высоты: 0, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1200, 1600 м

Дополнительные преобразования исходных данных

- точка росы (t_d , °C)

$$t_d = t - \Delta t_d$$

- массовая доля водяного пара (q , ‰)

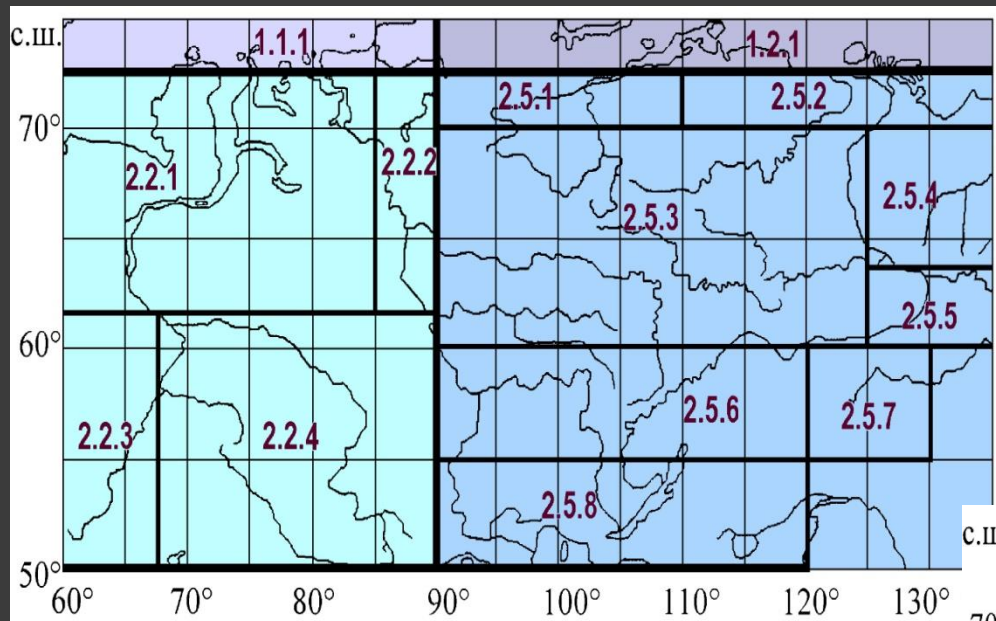
$$q = 622 \cdot \frac{E_w(T_d)}{p}$$

- зональная (U , м/с) и меридиональная (V , м/с) составляющие скорости ветра

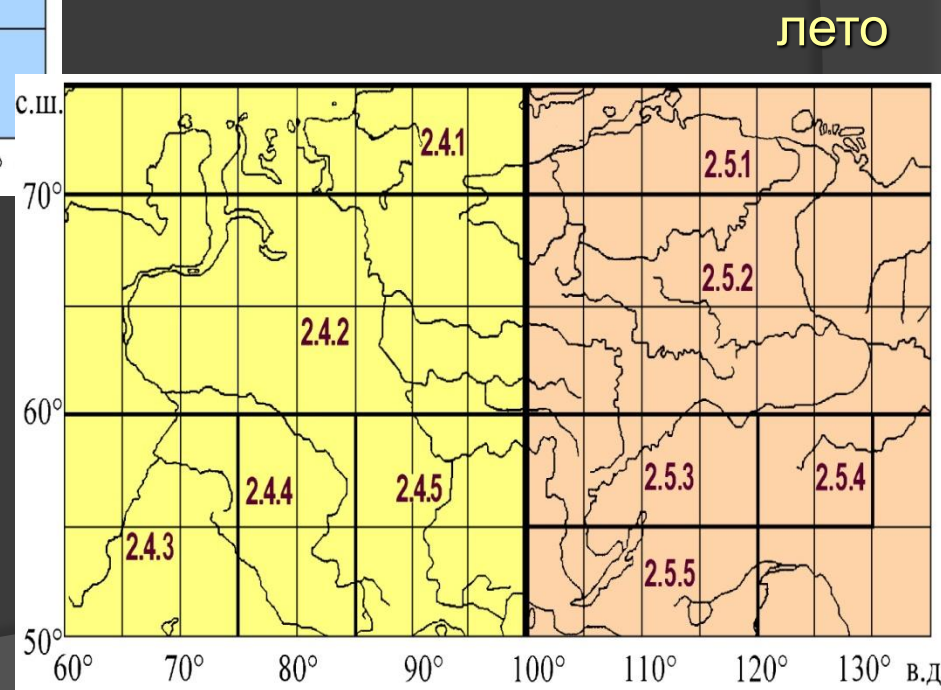
$$U = V_s \sin d$$

$$V = V_s \cos d$$

Климатическое районирование территории Сибирского региона по температурно-влажностному и ветровому режиму пограничного слоя атмосферы



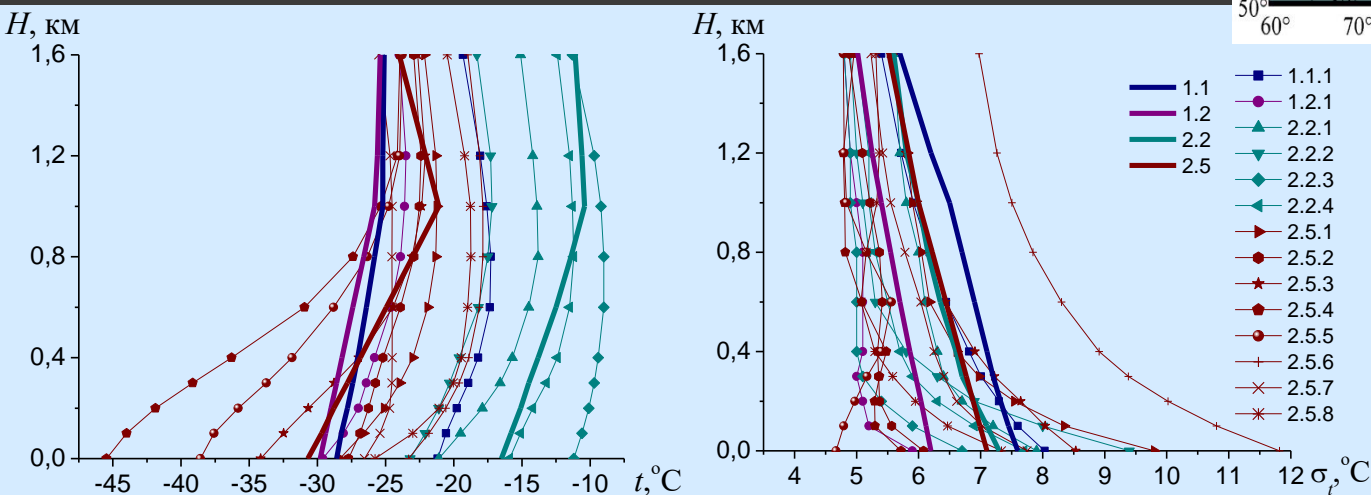
зима



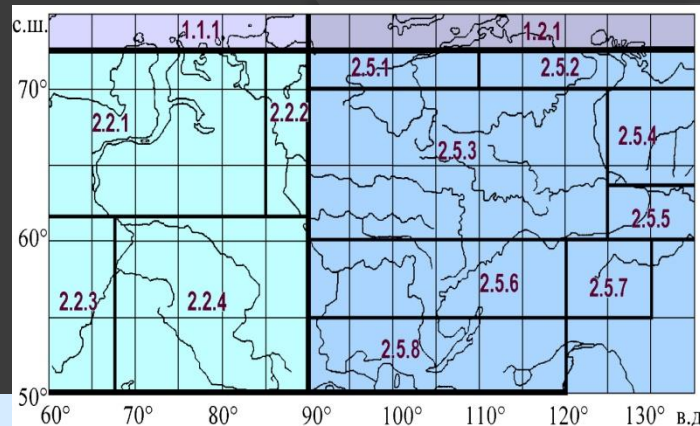
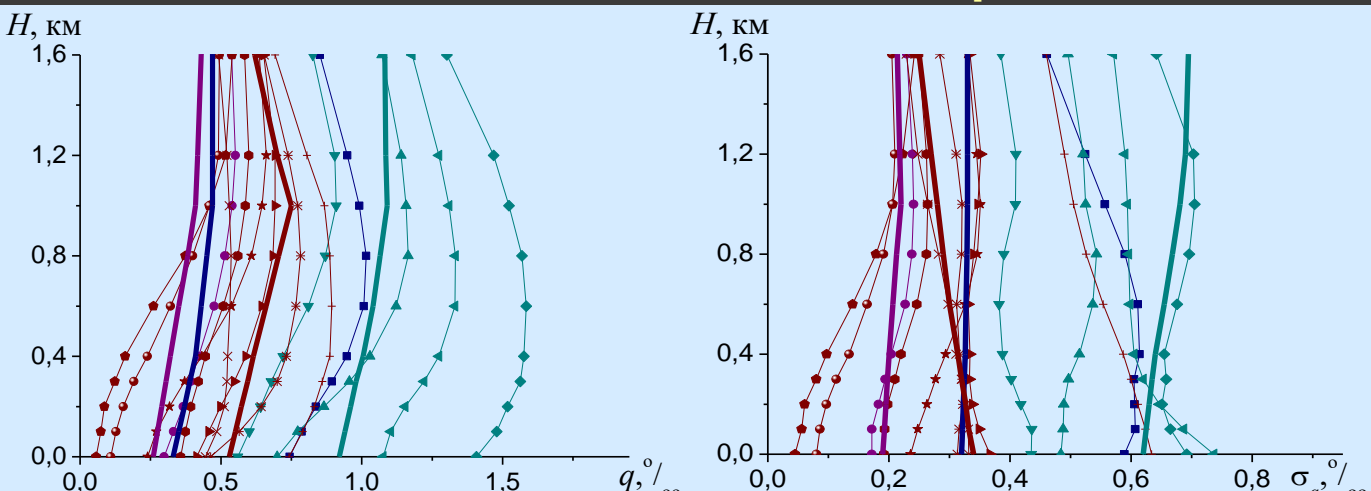
лето

Локальные модели высотного распределения средних значений (а) и среднеквадратических отклонений (б) температуры и влажности воздуха в пограничном слое атмосферы для различных однородных районов Сибирского региона

Температура



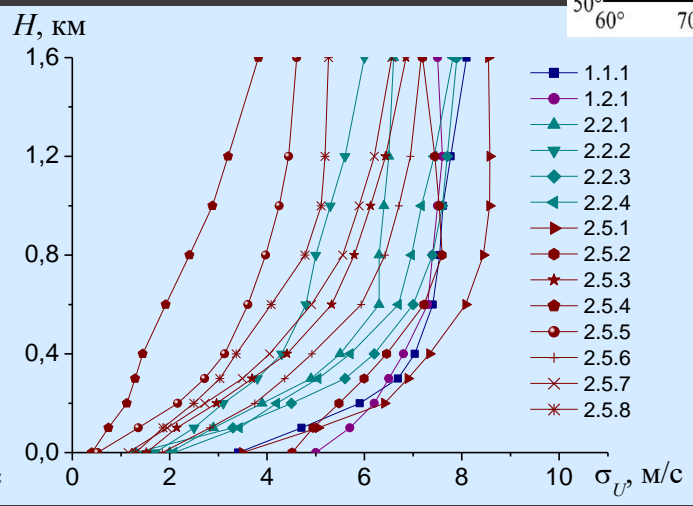
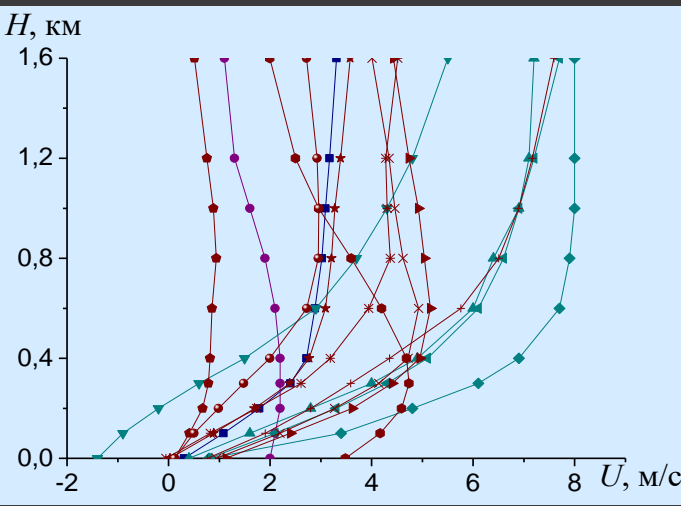
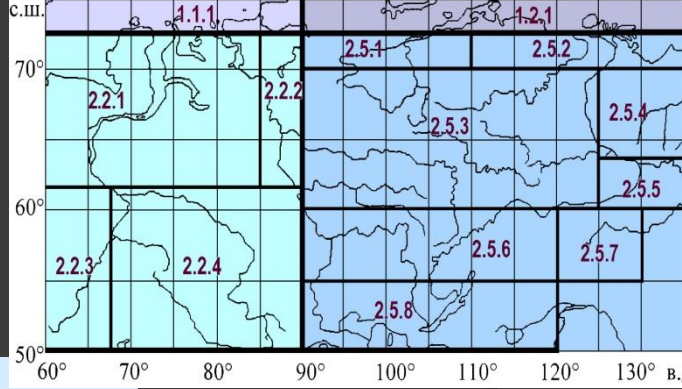
Массовая доля водяного пара



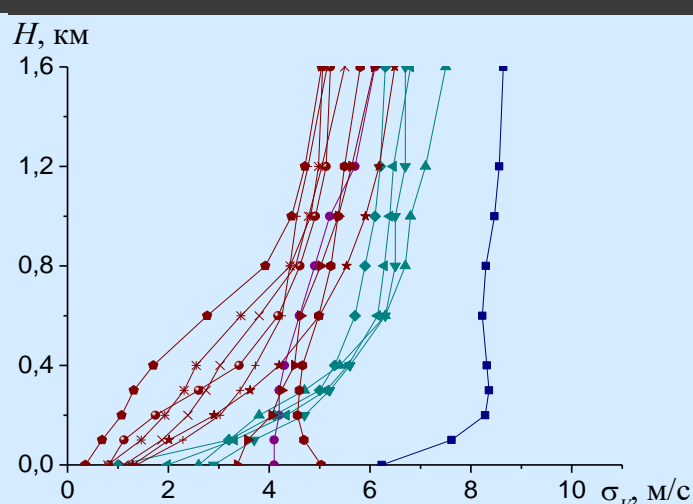
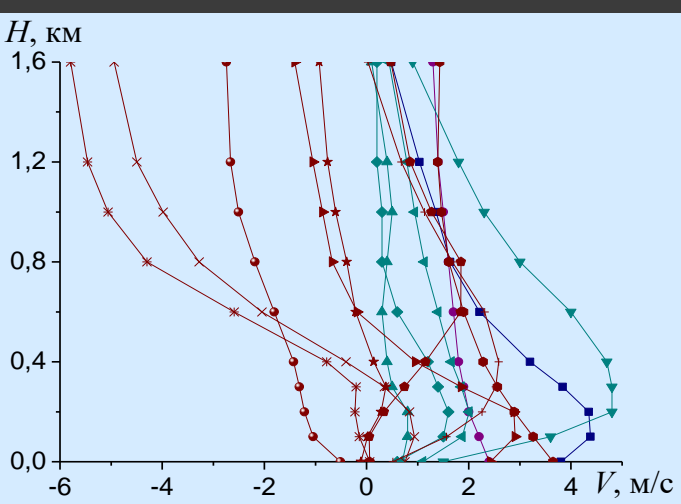
Зима

Локальные модели высотного распределения средних значений (а) и среднеквадратических отклонений (б) ортогональных составляющих скорости ветра в ПСА для различных однородных районов Сибирского региона

Зональный ветер



Меридиональный ветер



Зима

Модельные матрицы межуровневой корреляции температуры и влажности воздуха для типичных однородных районов Сибирского региона

Зима

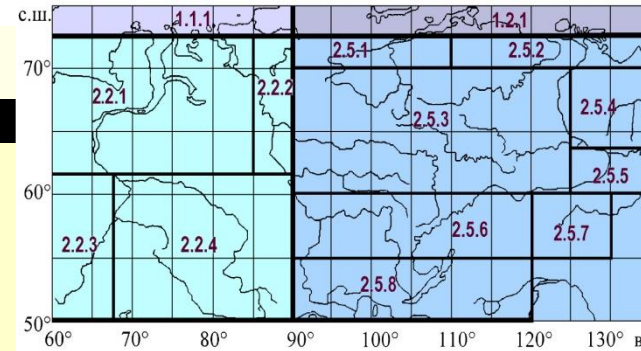
h/h	0	100	200	300	400	600	800	1000	1200	1600
t	-21.1	-19.5	-17.9	-16.6	-15.7	-14.5	-13.8	-13.9	-14.2	-15.1
σ_t	7.9	7.2	6.7	6.4	6.3	6.1	6.0	5.8	5.7	5.6

Температура

0	975	902	811	730	646	578	535	503	457
100	982	970	898	825	738	658	608	572	518
200	931	978	970	915	827	735	676	637	572
300	868	926	976	981	906	809	745	704	633
400	808	867	927	981	955	858	796	755	684
600	749	797	847	901	943	954	906	872	806
800	705	738	775	813	849	952	984	961	900
1000	681	702	726	756	784	890	974	991	938
1200	646	658	677	703	725	833	928	982	963
1600	595	598	609	636	655	754	842	889	927

Массовая доля водяного пара

q	0.700	0.773	0.866	0.956	1.029	1.122	1.165	1.157	1.14	1.072
σ_q	0.484	0.488	0.489	0.497	0.515	0.537	0.543	0.525	0.521	0.496



однородный район 2.5.3

однородный район 2.2.1

h/h	0	100	200	300	400	600	800	1000	1200	1600
t	-34.2	-32.5	-30.7	-28.8	-27.0	-24.5	-23.1	-22.4	-22.1	-22.6
σ_t	8.5	8.0	7.6	7.2	6.9	6.4	6.2	6.0	5.8	5.4

Температура

0	969	906	826	744	642	584	555	538	510
100	962	975	912	830	715	647	609	586	551
200	900	964	972	904	783	706	661	631	589
300	815	900	961	970	864	780	725	686	633
400	729	821	899	962	936	852	789	741	677
600	621	702	777	857	926	959	901	846	772
800	564	634	699	769	835	942	975	929	854
1000	550	607	658	712	862	865	959	980	917
1200	543	591	628	668	703	791	894	964	963
1600	536	569	590	611	630	694	783	865	933

Массовая доля водяного пара

q	0.224	0.259	0.301	0.353	0.409	0.511	0.578	0.613	0.627	0.602
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Модельные матрицы межуровневой корреляции ортогональных составляющих скорости ветра для типичных однородных районов Сибирского региона

Зима

h/h	0	100	200	300	400	600	800	1000	1200	1600
U	0.4	1.6	2.8	4.0	4.9	6.0	6.4	6.9	7.1	7.2
σ_U	2.0	2.9	3.9	4.9	5.5	6.3	6.3	6.4	6.5	6.6

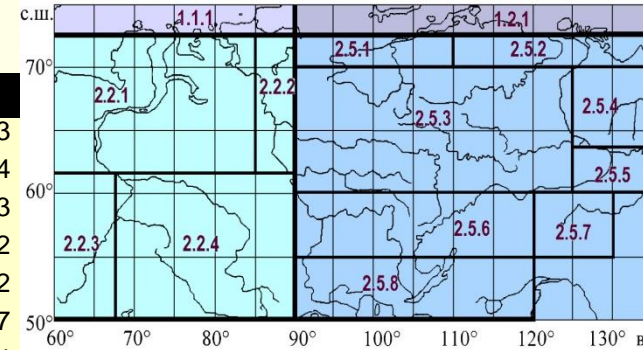
Зональный ветер

0		883	766	691	644	530	493	467	438	403
100	903		965	912	861	732	684	645	601	544
200	735	939		984	946	830	785	743	694	633
300	569	816	956		979	879	837	795	745	682
400	472	744	914	982		942	892	851	805	742
600	397	676	846	910	955		961	928	886	807
800	348	620	771	805	858	941		976	925	824
1000	279	542	709	781	824	890	955		976	884
1200	216	466	647	753	788	831	870	965		939
1600	192	434	592	659	713	941	865	916	925	

Меридиональный ветер

V	0.7	0.8	0.8	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.1
σ_V	2.6	3.2	3.8	4.7	5.4	6.3	6.7	6.8	7.1	7.5

однородный район 2.2.1



однородный район 2.5.3

U	0.2	0.8	1.6	2.3	2.8	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4
σ_U	1.5	2.4	3.3	4.1	4.8	5.4	5.6	5.7	5.94	6.2

Зональный ветер

0		803	655	560	490	392	346	307	263	223
100	822		944	849	751	619	558	511	454	394
200	726	961		954	866	729	663	612	556	495
300	684	903	969		956	829	763	712	659	600
400	642	834	905	967		917	849	793	742	688
600	567	719	789	866	934		953	889	840	785
800	509	637	707	788	860	959		961	913	858
1000	455	574	643	723	798	900	966		973	913
1200	415	521	588	668	743	847	915	971		948
1600	345	448	516	596	672	779	846	903	946	

Меридиональный ветер

V	0.2	0.4	0.7	0.8	0.6	0.2	-0.2	-0.5	-0.7	-1.1
σ_V	1.6	2.7	3.7	4.6	5.2	5.7	5.9	5.9	6.1	6.2

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведено прикладное климатическое районирование Сибирского региона, в результате которого на заданной территории выявлено 14 однородных районов зимой и 10 – летом.
2. Построены локальные статистические модели вертикального распределения температуры, массовой доли водяного пара, скорости зонального и меридионального ветра до высоты 1,6 км (с шагом от 100 м), представленные зимними и летними профилями средних значений и среднеквадратических отклонений, а также модельными матрицами межуровневой корреляции.
3. Локальные модели существенно уточняют ранее созданные региональные климатические модели.

Таким образом, разработанные для Сибирского региона локальные статистические модели пограничного слоя атмосферы позволяют не только получить достоверное представление об особенностях вертикальной структуры полей температуры, влажности и ветра в каждом из выявленных однородных подрайонов, но и открывает широкие возможности для их практического использования при решении различных задач атмосферной оптики и лазерного дистанционного зондирования, где требуется ограниченное число статистических характеристик, обеспечивающих, без потери точности, адекватное описание этой структуры в любой точке взятого однородного подрайона.