

УДК 551.581; 551.585; 551.582

Климатическое районирование территории Сибири по режиму общей и нижней облачности как основа для построения локальных облачных моделей атмосферы. Часть 2. Результаты климатического районирования

В.С. Комаров, Д.П. Нахтигалова, С.Н. Ильин,
А.В. Лавриненко, Н.Я. Ломакина*

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

Поступила в редакцию 1.04.2014 г.

На основе разработанной методологии объективной классификации метеорологических объектов по режиму общей и нижней облачности (с использованием их среднесезонных значений и повторяемостей 5 градаций (0, 1–3, 4–6, 7–9 и 10 баллов) и специальных критериев их сходства) проведено прикладное климатическое районирование территории Сибирского региона, в результате которого на ней выявлено 18 однородных облачных районов зимой, 17 – весной, 13 – летом и 14 – осенью. Для каждого из выявленных однородных облачных районов построена локальная облачная модель атмосферы, включающая модельные значения среднесезонного количества и повторяемостей 5 градаций общей и нижней облачности.

Ключевые слова: прикладное климатическое районирование, режим общей и нижней облачности, локальные облачные модели атмосферы, Сибирский регион, четыре календарных сезона (зима, весна, лето, осень); applied climatic zoning, total and lower cloudiness conditions, local cloud atmosphere models, Siberian region, four calendar seasons (winter, spring, summer, autumn).

В первой части настоящей статьи [1] были рассмотрены методические основы климатического районирования территорий отдельных регионов по режиму общей и нижней облачности, базирующиеся на использовании оригинальной методики объективной классификации метеорологических объектов, проводимой в рамках многомерного кластерного анализа. Особенности этой методики заключаются в следующем:

- в качестве классифицируемых берутся не сами объекты, а их информативные признаки, что допускается, поскольку в многомерном статистическом анализе этот прием перемены объектов и признаков местами приводит к интересным результатам [2];
- при проведении процедуры разбиения множества объектов на подмножества (классы) в качестве меры однородности информативных признаков взяты не функции расстояний между объектами (например, евклидово расстояние, как это принято в метеорологических классификациях [3]), а характеристики степени их коррелированности, представленные, например, коэффициентами корреляции;
- в схеме разделения информативных признаков на группы однородных (схожих) признаков ис-

пользован критерий оптимальности такого разделения в виде критического значения коэффициента корреляции, позволяющего объективным образом выделить на заданной территории ограниченное число однородных облачных районов (ООР) и построить для каждого из них локальные облачные модели атмосферы.

О результатах реализации данной методики классификации в задаче климатического районирования территории Сибирского региона, проводимого с целью построения локальных облачных моделей атмосферы, и пойдет речь в настоящей статье.

Здесь следует подчеркнуть, что климатическое районирование территории Сибири по режиму общей и нижней облачности и построение локальных облачных моделей атмосферы дополняют ее районирование и моделирование пограничного слоя атмосферы, реализованные ранее по его температурно-влажностному и ветровому режимам [4, 5]. Однако построение локальных облачных моделей атмосферы, осуществленное с учетом результатов объективного климатического районирования территории Сибирского региона по режиму общей и нижней облачности, имеет и самостоятельное значение, поскольку обобщенные данные о состоянии облачного покрова широко используются не только при исследовании и моделировании климата, но и при решении различных прикладных задач (например, при проектировании

* Валерий Сергеевич Комаров (gfm@iao.ru); Дарья Петровна Нахтигалова; Сергей Николаевич Ильин; Андрей Викторович Лавриненко; Наталья Яковлевна Ломакина (lnya@iao.ru).

оптических измерительных систем наземного и бортового базирования и оперативном планировании их работы).

1. Характеристика исходного материала и некоторые вопросы его обобщения

Основным исходным материалом для исследования послужили ряды 44-летних (1969–2012 гг.) 8-срочных наблюдений за количеством (баллы) общей N и нижней N_n облачности (с высотой нижней границы не более 2000 м), полученные для 60 метеорологических станций Сибири по данным, заимствованным из архива NOAA (www.noaa.gov).

Сразу же подчеркнем, что общее число сибирских станций в указанном архиве за рассматриваемый период было существенно больше (132). Однако по ряду причин (переход на 8-срочные наблюдения в более поздние сроки, чем 1966 г., — момент перехода на эти сроки всей метеорологической сети России; прекращение наблюдений на ряде станций Сибири с конца 1980-х гг., а также наличие у многих станций коротких рядов синоптических наблюдений или большого числа пропусков в них) для решения поставленной задачи использованы данные только 60 станций, имеющих наиболее длинные и полные ряды (с 1969 по 2012 г.), которые обладают статистической однородностью, отражающей объективным образом характер климата на всей сети используемых станций [6]. При этом число взятых реализаций для каждой станции составляло не менее 75% от их общего числа в месяц.

При климатическом районировании территории Сибирского региона по режиму общей и нижней облачности, являющимся первым этапом настоящего исследования, в качестве классифицируемых информативных признаков были взяты среднесезонные значения количества общей N и нижней N_n облачности (в баллах), рассчитанные для каждой станции и календарного сезона по данным 44-летнего (1969–2012 гг.) периода, и все имеющиеся 8-срочные наблюдения, а также соответствующие эмпирические повторяемости (в процентах) пяти градаций этих видов облачности: 0, 1–3, 4–6, 7–9 и 10 баллов. Указанные градации общей и нижней облачности позволяют судить об условиях облачной обстановки в каждом из выявленных однородных облачных районов в зависимости от взятого сезона. При этом суммарная повторяемость трех первых градаций (0–6 баллов) позволяет, согласно [7, 8], судить о вероятности появления благоприятных облачных условий для проведения наблюдений с помощью систем оптического диапазона, а суммарные значения двух последующих градаций (7–10 баллов) характеризуют условия, неблагоприятные для их использования.

Второй важный этап (после климатического районирования) связан с построением для каждого однородного облачного района, выявленного в результате климатического районирования территории Си-

бири, локальной облачной модели атмосферы. Все эти модели включают в свой состав модельные значения среднесезонного количества общей и нижней облачности (баллы) и повторяемости пяти градаций: 0, 1–3, 4–6, 7–9 и 10 баллов, определяемые в процентах от общего числа 8-срочных наблюдений за облачностью, а также двух суммарных градаций 0–6 и 7–10 баллов, определяющих благоприятные и неблагоприятные облачные условия для работы измерительных оптических систем наземного и бортового базирования [7, 8]. При этом для получения модельных характеристик в каждом однородном облачном районе были использованы два методических подхода. В случае, если в выявленный однородный облачный район попадала лишь одна метеорологическая станция, то в качестве модельных характеристик брались значения климатических показателей облачности, полученные для данной станции. В случае же, когда в однородный район попадали две и более станций, рассчитывалось среднее площадное значение, которое принималось за модельное.

2. Результаты климатического районирования территории Сибири по режиму общей и нижней облачности

Климатическое районирование территории Сибирского региона по режиму общей и нижней облачности проведено с использованием среднесезонных значений их количества и повторяемостей для пяти градаций: 0, 1–3, 4–6, 7–9 и 10 баллов. На рис. 1–4 приведены карты такого районирования для четырех календарных сезонов (зимы, весны, лета и осени).

Отметим, что климатическое районирование территории Сибирского региона выполнялось не только для изучения локальных особенностей режима облачности, но главным образом для решения различных прикладных задач, связанных в частности, с дистанционным зондированием окружающей среды из космоса и с наземных платформ. Поэтому границы выявленных однородных облачных районов для удобства их применения были несколько сглажены и привязаны к ближайшим параллелям и меридианам.

Анализ рис. 1–4 показал, что при климатическом районировании территории Сибири по режиму общей и нижней облачности эту территорию можно разделить на 18 однородных облачных районов зимой, 17 — весной, 13 — летом и 14 — осенью. Из этого следует, что от сезона к сезону меняются количество ООР, положение их границ и статистические характеристики количества общей и нижней облачности, которые связаны с локальными и сезонными особенностями действия климатообразующих факторов. При этом отмечается определенная тенденция к вытянутости выявленных ООР в меридиональном направлении.

Обратим внимание также на еще одну особенность, характерную для проведенного климатического районирования территории Сибири по режиму

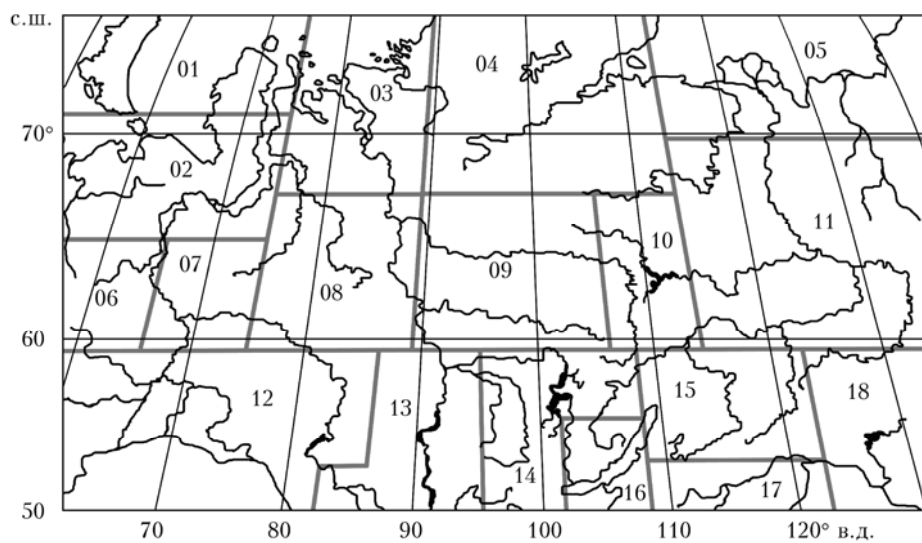


Рис. 1. Климатическое районирование территории Сибири по режиму общей и нижней облачности. Зима

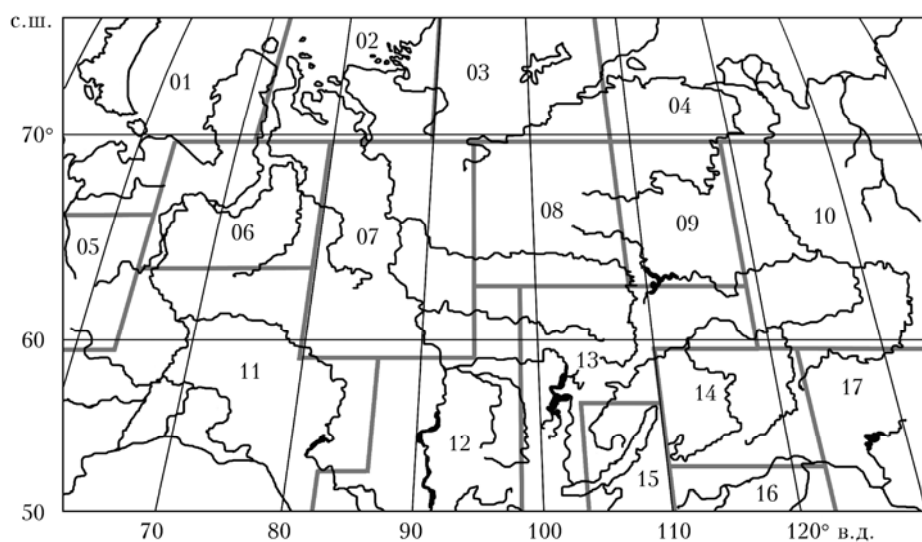


Рис. 2. Климатическое районирование территории Сибири по режиму общей и нижней облачности. Весна

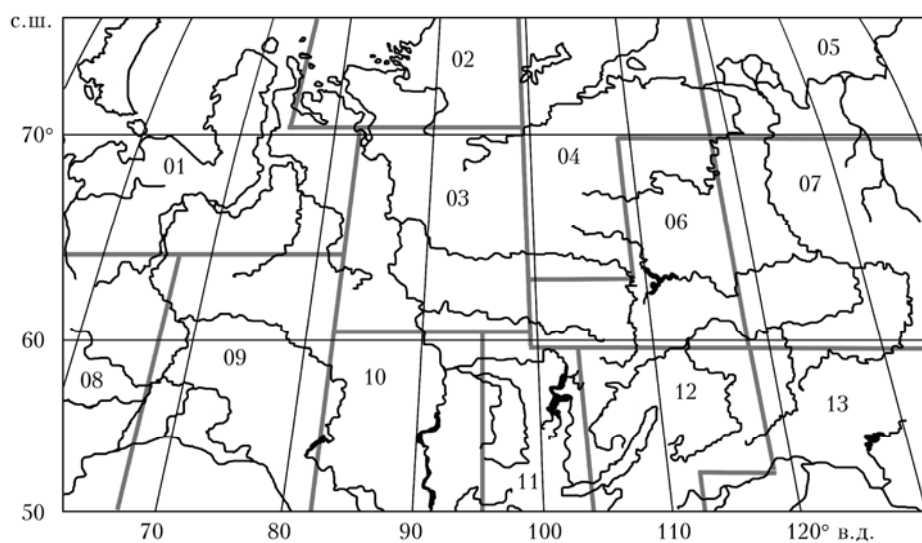


Рис. 3. Климатическое районирование территории Сибири по режиму общей и нижней облачности. Лето

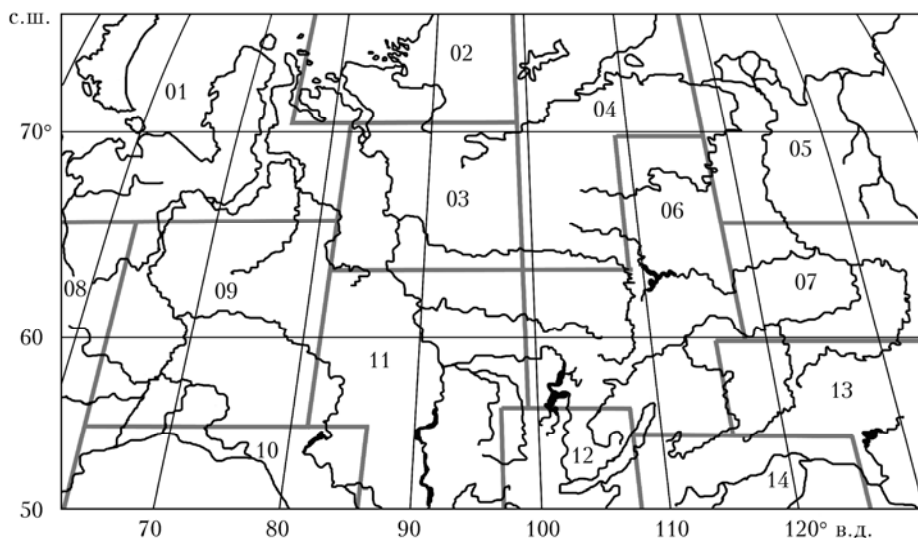


Рис. 4. Климатическое районирование территории Сибири по режиму общей и нижней облачности. Осень

общей и нижней облачности. Это районирование дает, как и следовало ожидать, более детальную картину пространственного изменения климатического состояния облачного покрова Сибири, чем было установлено ранее в [7] при выполнении прикладного районирования территории земного шара по режиму общей облачности, выполненного с целью построения региональных облачных моделей атмосферы, согласно которому на территории Сибирского региона было выявлено зимой вместо 18 (как в нашем случае) только 12, а летом вместо 13 лишь 6 однородных облачных районов.

В заключение следует отметить, что полученные результаты районирования Сибирского региона по режиму облачности позволяют не только сократить объемы климатической информации, полученные для отдельных станций этого региона, но и дать хорошую основу для построения адекватных локальных облачных моделей атмосферы, описывающих оптимальным образом особенности многолетней структуры полей общей и нижней облачности в каждом из выявленных однородных облачных районов.

3. Локальные климатические облачные модели атмосферы для однородных районов Сибирского региона

Рассмотрим особенности локальных облачных моделей атмосферы, полученных для всех ООР, выявленных в результате климатического районирования территории Сибирского региона по режиму общей и нижней облачности. В таблице для всех выявленных однородных районов и четырех сезонов приведены параметры локальных облачных моделей атмосферы, включающие в свой состав среднесезонные значения количества общей \bar{N} и нижней \bar{N}_n облачности и значения их повторяемостей P_l ($l = 1, 2, \dots, 5$) для пяти градаций: 0, 1–3, 4–6, 7–9 и 10 баллов.

Анализ таблицы показал, что параметры локальных климатических облачных моделей атмосферы, построенных для выявленных (в процессе климатического районирования территории Сибири по режиму

Параметры локальных климатических облачных моделей атмосферы для однородных облачных районов Сибирского региона

№ ООР	Общая облачность						Нижняя облачность					
	\bar{N}	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	\bar{N}_n	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Зима</i>												
01	5,3	30	10	9	16	35	4,3	44	8	8	13	27
02	6,7	20	7	8	15	50	4,6	39	7	14	11	29
03	5,9	25	8	9	20	38	4,0	45	8	12	15	21
04	6,7	18	9	10	11	52	3,2	52	9	13	7	19
05	6,7	19	8	8	22	43	3,1	55	6	13	8	17
06	7,1	14	8	10	20	48	4,7	34	10	21	8	27
07	6,3	16	13	12	16	43	3,7	46	9	13	11	20
08	6,0	26	8	8	16	42	4,0	47	8	9	11	25
09	6,4	22	7	9	13	49	3,1	55	8	12	6	18
10	6,2	18	12	11	38	21	2,4	50	20	18	4	8
11	7,0	16	8	10	9	57	2,3	62	9	12	5	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Зима</i>												
12	6,0	27	6	8	14	45	4,0	49	5	9	9	28
13	6,5	23	5	7	23	42	3,6	47	9	17	9	18
14	6,8	19	8	9	10	54	3,1	49	12	17	6	16
15	4,8	33	13	11	15	28	1,7	68	12	8	3	9
16	4,9	29	17	11	10	33	1,5	64	10	12	4	10
17	4,4	39	11	13	9	28	1,6	72	10	8	2	8
18	4,6	41	8	7	9	35	2,1	71	5	6	3	15
<i>Весна</i>												
01	6,5	18	11	8	25	38	5,1	32	10	10	18	30
02	6,6	13	11	9	40	27	4,7	32	13	13	30	13
03	7,3	13	9	8	15	55	4,1	32	16	20	13	19
04	6,8	15	10	10	28	37	3,8	45	9	14	13	19
05	6,9	12	9	12	30	37	4,3	32	14	21	14	19
06	6,7	18	8	9	18	47	4,5	40	7	13	13	27
07	6,2	20	10	10	20	40	4,1	42	11	12	13	22
08	6,9	12	9	12	25	42	4,0	36	14	18	14	18
09	5,7	20	17	12	13	38	2,5	54	15	13	8	10
10	6,8	13	12	11	15	49	2,9	45	18	18	9	11
11	5,8	23	11	11	21	34	3,5	45	12	14	12	17
12	6,4	19	9	10	25	37	3,6	39	14	20	13	13
13	7,2	10	10	11	28	41	3,5	39	21	19	13	9
14	6,0	17	14	13	21	35	2,8	41	24	18	9	8
15	6,1	19	13	10	23	35	2,8	38	27	18	9	8
16	6,0	20	12	13	16	39	2,8	42	22	21	7	9
17	5,7	25	11	10	18	36	3,4	47	13	14	10	16
<i>Лето</i>												
01	7,3	7	10	11	32	40	5,8	18	15	16	23	28
02	7,9	4	8	7	53	28	6,8	16	18	18	25	23
03	7,1	7	12	12	29	40	5,0	18	20	19	21	20
04	7,4	5	10	12	34	39	5,3	15	18	22	25	20
05	7,7	2	8	12	54	24	5,3	16	19	21	28	16
06	7,1	5	13	15	40	27	4,0	20	28	26	16	10
07	7,1	6	13	13	26	42	4,0	21	27	25	16	11
08	6,4	10	14	15	34	27	4,2	24	23	23	17	13
09	6,1	13	15	15	31	26	3,8	28	23	21	17	11
10	6,1	14	13	15	31	27	3,8	29	22	23	15	11
11	6,6	10	14	15	26	35	4,5	22	21	21	18	18
12	7,0	7	13	15	29	36	3,9	23	24	30	16	7
13	6,4	12	14	14	26	34	4,2	24	23	22	16	15
<i>Осень</i>												
01	7,8	9	6	7	24	54	6,6	17	8	13	22	40
02	7,6	8	7	7	49	29	6,4	15	10	14	43	18
03	7,5	11	7	7	22	53	5,8	22	10	14	21	33
04	7,6	10	7	9	21	53	5,3	24	12	18	18	28
05	8,2	6	7	7	21	59	5,5	24	11	16	17	32
06	7,3	10	9	10	24	47	4,5	28	16	20	14	22
07	7,4	10	9	9	18	54	4,1	30	17	22	14	17
08	7,7	8	7	9	29	47	5,8	19	12	20	19	30
09	6,9	15	8	8	25	44	5,3	28	10	14	20	28
10	6,8	17	8	8	17	50	4,9	33	12	16	13	26
11	7,0	15	7	8	23	47	5,1	29	11	16	16	28
12	6,6	14	13	10	18	45	3,6	27	28	21	12	12
13	6,0	21	11	11	19	38	3,7	40	16	15	10	19
14	5,6	23	14	13	16	34	2,8	43	22	17	8	10

общей и нижней облачности) однородных районов, достаточно хорошо отражают особенности пространственно-временного распределения среднесезонного количества и повторяемостей 5 градаций обоих видов

облачности, которые были обнаружены ранее [9, 10] по данным отдельных станций.

В частности, локальные климатические облачные модели атмосферы (как и данные отдельных станций)

показывают, что среднесезонное количество общей и нижней облачности заметно меняется по пространству и от сезона к сезону.

При этом если среднесезонное количество общей облачности относительно мало меняется по пространству и в годовом ходе (варьируя в основном в пределах 6,0–8,0 баллов и имея максимум в осенний сезон), то пространственно-временное распределение среднесезонного количества нижней облачности имеет более сложный характер. Так, например, если зимой и осенью над всей территорией Западной Сибири (однородные облачные районы 01–03, 06–08, 12 и 01–03, 08–11 соответственно) наблюдается наибольшее количество нижней облачности (4,0–6,6 балла), то в те же сезоны над территорией Восточной Сибири и особенно над Якутией и Забайкальем (10, 11, 15–18 зимой и 12–14 осенью) отмечается ее наименьшее количество с минимумом 1,5–2,5 балла в зимний сезон. В то же время весной над территорией Западной Сибири (ООР 01, 02, 06–07), а летом уже почти над всей территорией Сибирского региона (ООР 01–05) повышенное количество нижней облачности (соответственно 4,0–5,0 и 5,0–6,8 балла) сохраняется лишь к северу от 60–70° с.ш., а к югу от этих широт над всей территорией Сибири (однородные облачные районы 09–17 весной и 06–13 летом) наблюдается ее наименьшее среднесезонное количество с минимумом (2,5–3,6 балла) весной.

Кроме того, локальные облачные модели атмосферы (как и данные отдельных станций, рассматриваемые в [9]) показывают, что над всей территорией Сибири и во все сезоны повторяемость ясных дней (при рассмотрении режима общей облачности) довольно мала и не превышает, за редким исключением, 20%. Однако при анализе режима нижней облачности наблюдается иная картина, а именно: количество ясных дней (повторяемость 0 баллов) существенно выше и имеет зимний максимум (до 62–72%) над территорией Якутии и Забайкалья (однородные облачные районы 11 и 15–18 соответственно).

В заключение остановимся коротко на рассмотрении суммарных повторяемостей трех первых градаций (0–6 баллов), которые, согласно [7, 8], позволяют судить о вероятности появления в заданном ООР благоприятных облачных условий для проведения спутниковых и наземных оптических наблюдений за состоянием окружающей среды.

Из анализа данных той же таблицы следует, что над территорией Сибирского региона и во все сезоны вероятность благоприятных облачных условий (0–6 баллов) составляет в основном 60–70% (лишь в таких однородных облачных районах, как 01 и 02 весной, 01–05 летом и 01–05 осенью, эта вероятность заметно меньше и варьирует в пределах от 40 до 58%). Следует также подчеркнуть, что для ряда ООР (04, 05, 09–11, 13–18 зимой; 09, 10, 14–16 весной; 06–10, 11 летом и 14 осенью), представляющих, главным образом, Якутию и Забайкалье, а зимой также и Арктическое побережье Восточной Сибири, характерна максимальная вероятность (от 75 до 90%) появления благоприятных облачных условий для работы оптических измерительных систем.

Что касается вероятности неблагоприятных облачных условий (7–10 баллов), то при анализе состояния общей облачности она во все сезоны и во всех ООР варьирует в основном в пределах 35–55% для нижней облачности – практически нигде не превышает 30%.

Таким образом, проведенные впервые климатическое районирование территории Сибирского региона по режиму общей и нижней облачности и построение для каждого выявленного ООР локальной облачной модели атмосферы открывают широкие возможности для их практического использования не только при исследовании и моделировании регионального климата с учетом его локальных особенностей, но также при решении различных прикладных задач атмосферной оптики и дистанционного оптического зондирования окружающей среды, осуществляемого из космоса и с земной поверхности, где требуется ограниченное число обобщенных климатических показателей о состоянии облачного покрова.

1. Комаров В.С., Нахтигалова Д.П., Ильин С.Н., Лавриненко А.В., Ломакина Н.Я. Климатическое районирование территории Сибири по режиму облачности как основа для построения локальных статистических моделей облачной атмосферы. Часть 1. Методические основы // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 10. С. 895–898.
2. Калинина В.Н., Соловьев В.И. Введение в многомерный статистический анализ. М.: Изд-во Гос. ун-та управления, 2003. 66 с.
3. Груза Г.В., Рейтенбах Р.Г. Статистический анализ гидрометеорологических данных. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 216 с.
4. Комаров В.С., Ломакина Н.Я. Статистические модели пограничного слоя атмосферы Западной Сибири / Под общ. ред. Г.Г. Матвиенко. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2008. 222 с.
5. Ломакина Н.Я., Комаров В.С., Ильин С.Н. Статистические модели высотного распределения температуры, влажности и ветра в пограничном слое атмосферы Восточной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 7. С. 629–632.
6. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 295 с.
7. Ременсон В.А. К вопросу о классификации метеорологических объектов: Межвуз. сборник. Л.: Изд-во ЛПИ им. М.И. Калинина, 1983. Вып. 82. С. 78–84.
8. Орлов А.И., Фадеев В.С. Климатическое районирование северного полушария на основе статистических распределений количества облаков: Межвуз. сборник. Л.: Изд-во ЛПИ им. М.И. Калинина, 1983. Вып. 82. С. 86–97.
9. Комаров В.С., Ильин С.Н., Лавриненко А.В., Ломакина Н.Я., Горев Е.В., Нахтигалова Д.П. Климатический режим нижней облачности над территорией Сибири и его современные изменения. Часть 1. Особенности режима нижней облачности // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 7. С. 579–583.
10. Нахтигалова Д.П. Многолетний режим облачного покрова над территорией Сибирского региона и его современные изменения // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/110-9820>

V.S. Komarov, D.P. Nakhtigalova, S.N. Il'in, A.V. Lavrinenko, N.Ya. Lomakina. **Climatic zoning of the Siberia territory according to the total and lower cloudiness conditions as a basis for construction of local cloud atmosphere models. Part 2. The results of climatic zoning.**

The applied climatic zoning of the Siberian region was carried out on the basis of the original methodology of an objective classification of the meteorological objects according to the total and lower cloudiness conditions (using their average seasonal values and frequencies for five gradations (0, 1–3, 4–6, 7–9, and 10 balls) as well as the special similarity criteria). 18 homogeneous cloud regions for winter, 17 for spring, 13 for summer and 14 for autumn were revealed in the result of this zoning. Local cloud atmosphere models were built for each identified homogeneous cloud region. The models include the pattern average seasonal values of total and lower cloudiness amount as well as their frequencies for five gradations.