

В.С. Комаров, В.А. Ременсон

ГЛОБАЛЬНО-РЕГИОНАЛЬНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

Представлены результаты расчетов параметров усовершенствованной версии региональных статистических моделей безоблачной и облачной атмосферы, построенных с учетом объективной классификации климатов Земли и предназначенных для информационного обеспечения космических наблюдательных систем различного целевого назначения.

Многолетнее функционирование космических систем наблюдений оптического диапазона, используемых для получения разнообразной информации о состоянии окружающей среды и решения специальных прикладных задач (в том числе задач космического землеобзора, навигации, связи и т.п.), позволило накопить значительный опыт практического применения данных спутниковых наблюдений. Однако на пути более широкого и эффективного использования этих систем имеются все еще существенные трудности. Они, в частности, связаны:

– с недостаточно надежной интерпретацией спутниковых радиационных измерений при дистанционном оптическом зондировании;

– с не вполне корректным учетом искажающего влияния атмосферы при распространении в ней оптического излучения, которое может привести, например, к заметному ослаблению сигналов, поступающих на спутник, и снижению видимых контрастов яркостной системы <объект –фон>;

– с большой зависимостью работы наблюдательных систем оптического диапазона от облачности, так как в случаях ее наличия на линии визирования бортовой измерительной аппаратуры вообще исключается сама возможность проведения космических съемок земной поверхности.

Последний фактор особенно сильно сказывается на условиях функционирования спутниковых измерительных систем, поскольку, согласно [1], в одно и то же время половина поверхности Земли может быть закрыта облаками.

Очевидно, что для повышения качества интерпретации спутниковых измерений и лучшей оценки искажающего влияния атмосферы и облачности необходимо иметь обширную априорную информацию об оптически активных компонентах атмосферы и состоянии облачного покрова, которая имела бы глобальный характер, адекватно описывала бы региональные особенности метеорологических полей, а также учитывала бы требования существующих и перспективных систем космического землеобзора и дистанционного зондирования.

Как показывает современная практика, наиболее полно всем этим требованиям отвечают специализированные глобально-региональные модели атмосферы, предназначенные для информационного обеспечения оптических измерительных систем на всех стадиях их разработки и эксплуатации. Здесь и далее под глобально-региональной моделью будем понимать такую модель, которая по пространственному освещению территории является глобальной, а по точности и полноте включаемых параметров сохраняет все достоинства региональных моделей, которые учитывают особенности климатообразующих факторов отдельных районов земного шара. К настоящему времени имеется уже значительное число работ, посвященных построению глобально-региональных моделей для безоблачной и облачной атмосферы (см., например, [2 – 7]). Однако, как показал опыт использования этих моделей, они не обеспечивают всех требований спутниковых систем, предъявляемых к априорной информации о состоянии атмосферно-оптического канала и условиях космического обзора земной поверхности.

Поэтому в последние годы специалистами ИОА СО РАН и ВИКА им. А.Ф. Можайского были начаты широкие фундаментально-прикладные исследования по созданию комплексных и более совершенных глобально-региональных моделей (они включают в свой состав региональные модели безоблачной и облачной атмосферы), которые предназначены для информа-

ционного обеспечения космических наблюдательных систем. Общие принципы и некоторые предварительные результаты построения подобных моделей были изложены авторами в [8].

В данной статье рассматриваются результаты дальнейших исследований по проблеме усовершенствования построенных ранее моделей, о которых шла речь в [8].

При разработке новой усовершенствованной версии глобально-региональных моделей атмосферы, построенных для зимнего и летнего сезонов, были использованы, как и раньше, результаты комплексной таксономической классификации климатов Земли. Правда, в отличие от климатического районирования северного полушария по многолетнему режиму облачности, которое было проведено по данным повторяемостей пяти градаций общей облачности (0, 1–4, 5–6, 7–9 и 10 баллов) с использованием метода последовательной иерархической кластеризации и не было подвержено никаким изменениям, объективная классификация климатов свободной атмосферы, осуществляемая с помощью метода главных компонент для комплекса <давление – температура – влажность – озон>, была несколько уточнена за счет аналогичной классификации поля ветра, параметры которого вошли в состав усовершенствованной версии региональных климатических моделей безоблачной атмосферы. Эта классификация, проведенная методом главных компонент для зональной (V_x) и меридиональной (V_y) составляющих скорости ветра, рассчитанных по данным многолетних (1961–1975 гг.) наблюдений 60-ти аэрологических станций северного полушария, показала, что выявленные по ветровому режиму квазиоднородные районы являются намного крупнее, чем районы, полученные при использовании комплекса метеорологических величин: давления, температуры, влажности и озона. В связи с таким обстоятельством климатические модели вертикального распределения зональной и меридиональной составляющих скорости ветра были построены для тех же квазиоднородных районов северного полушария, что и модели перечисленных метеорологических величин.

Все остальные характеристики, вошедшие дополнительно в региональные модели безоблачной, а также облачной атмосферы, обобщались с учетом результатов ранее проведенного районирования.

Далее кратко рассмотрим вновь построенные глобально-региональные климатические модели атмосферы. Подобные модели, разработанные с учетом результатов климатического районирования северного полушария, представляют собой совокупность выявленных квазиоднородных и однородных облачных районов, для каждого из которых построены комплексные региональные модели безоблачной и облачной атмосферы, а также систему специальных алгоритмов, предназначенных для их организации и поиска по заданным пространственно-временным координатам (φ – широта, λ – долгота и t – сезон).

При этом входящие в глобально-региональную модель региональные климатические модели безоблачной атмосферы, построенные для отдельных квазиоднородных районов, включают в состав своих параметров вертикальные профили средних значений \bar{x} и стандартных отклонений σ_x оптически активных характеристик атмосферы (давления p , температуры T , влажности q , парциального давления озона p_3 и содержания малых газовых составляющих CO, NO, NO₂ атмосферы и характеристик ветра (они представлены зональной (V_x) и меридиональной (V_y) составляющими его скорости), а также автокорреляционные и взаимно корреляционные матрицы $\|R_{ij}\|$. Сразу же отметим, что в отличие от ранее полученных моделей (они приведены в [8]) их усовершенствованная версия дополнена модельными профилями высотного распределения малых газовых примесей (CO, NO, NO₂) и величин V_x и V_y .

В отличие от моделей безоблачной атмосферы, климатические модели облачности, построенные для однородных облачных районов, входящих в квазиоднородные районы, расширены существенно больше. Так, если первая версия этих моделей содержит лишь среднее количество облаков \bar{n} , покрывающих площади трапециев 5×5 градусов, и повторяемости пяти градаций облачности P_k (здесь P_1 соответствует повторяемости <0 баллов>, P_2 – <1–4 балла>, P_3 – <5–6 баллов>, P_4 – <7–9 баллов>, P_5 – <10 баллов>), то новая версия облачной модели дополнена не только характеристиками крупномасштабной облачности, представленными параметрами бета-распределения количества общей облачности и временной матрицей условных вероятностей перехода облачности из одного состояния в другое, но и статистическими характеристиками мезо- и микромасштабных облачных структур, рассчитанными для различных форм и сочетаний облаков: *Cu hum*, *Cu med* – *Cu hum*, *Cu cong* + *Cu med*, *Cb* + *Cu cong* и *Cu* + *Sc*.

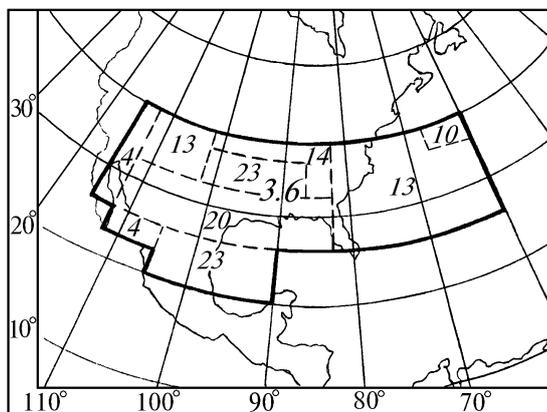
При этом в состав статистических характеристик мезо- и микромасштабной облачности включены средние размеры облаков ($\bar{d}_{обл}$), параметры логнормального распределения диаметров облаков, средние размеры межоблачных промежутков ($\bar{l}_{обл}$), средняя плотность облаков ($\bar{N}_{обл}$), т.е. их счетное количество на единицу площади облачного ансамбля для $S = 10^4 \text{ км}^2$, площадь индивидуального облака ($S_{обл}^*$) и количество кучевых облаков (N_{cum}) в облачном ансамбле.

Для получения всех перечисленных параметров региональных климатических моделей атмосферы в качестве исходной информации были использованы:

- результаты многолетних (1961 – 1975 гг.) радиозондовых наблюдений 120 (для ветра 60) аэрологических станций, расположенных на территории северного полушария;
- данные 20 озонметрических станций, взятые за период с 1963 по 1990 г. и регулярно публикуемые Всемирной метеорологической организацией в серии <Глобальные данные по озону>;
- спутниковые радиометрические наблюдения за температурой в слое 0 – 30 км за период с 1973 по 1977 гг., проведенные с помощью ИСЗ серии NOAA для 56 пятиградусных квадратов, расположенных в различных акваториях Тихого и Атлантического океанов;
- специальные высотные наблюдения за содержанием малых газовых составляющих (CO , NO и NO_2) в тропосфере и стратосфере за период 1965 – 1992 гг. (всего использовано для CO – 2500, NO – 2800 и NO_2 – 2560 высотных наблюдений);
- данные спутниковых многолетних (1976 – 1990 гг.) наблюдений за количеством общей облачности, усредненные по пятиградусным трапециоидам и заимствованные из глобального архива облачности, подготовленного во Всесоюзном НИИ гидрометеорологической информации – Мировом центре данных;
- данные спутниковых наблюдений за количеством облаков с масштабом осреднения около 25 морских миль (46,3 км), полученные за 1978 – 1979 гг. и заимствованные из глобального архива облачности, созданного в Глобальном Центре погоды ВВС США;
- результаты автоматизированной обработки негативов более чем 400 фотопленок и фотоотпечатков телевизионных изображений облачности со средним и высоким разрешением, полученных от природно-ресурсных и метеорологических спутников.

Остановимся теперь коротко на описании региональных климатических моделей безоблачной и облачной атмосферы.

В табл. 1 приведены в качестве примера основные параметры этих моделей, построенных для типичного квазиоднородного района, а именно 3.6 (где цифра 3 указывает на субтропическую зону, а 6 – номер квазиоднородного района в этой зоне, рис. 1), а также для всех входящих в него однородных облачных подрайонов (они выделены на том же рисунке пунктиром, а их нумерация дается в соответствии с номером гистограммы распределения количества общей облачности). Следует отметить, что из-за большого объема данных сведения о корреляционных матрицах $\|R_{ij}\|$, рассчитанных для данного квазиоднородного района, в настоящей статье не приводятся, а представленные в табл. 1 модели соответствуют лишь условиям летнего сезона.



Пример типичного квазиоднородного района (3.6) и входящих в него облачных подрайонов, выявленных в результате климатического районирования Северного полушария. Лето. (Цифры внутри района обозначают номера облачных подрайонов)

Некоторые параметры климатических моделей облачности, приведенные в табл. 1 и последующих таблицах, требуют определенных пояснений. Поэтому коротко остановимся на некоторых из них. Так, например, в табл. 1 приведены параметры бета-распределения α и β . Чтобы применить эти параметры, необходимо воспользоваться соответствующей теоретической функцией вида

$$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}, \quad (1)$$

где $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция, с помощью которой можно описать эмпирическое распределение вероятности количества облаков, причем оценивание параметров α и β осуществлялось нами по формулам

$$\hat{\beta} = (1 - \bar{x}) [\bar{x} (1 - \bar{x}) - \tilde{\sigma}_x^2]; \quad (2)$$

$$\hat{\alpha} = \bar{x} \hat{\beta} / (1 - \bar{x}), \quad (3)$$

здесь \bar{x} – среднее для однородных облачных районов значение количества облаков; $\tilde{\sigma}_x^2$ – эмпирическое значение дисперсии величины x , которая связана с категориями облачных градаций следующим соотношением:

$$\tilde{\sigma}_x^2 = \sum_{i=1}^5 (\bar{x}_i^* - \bar{x}) P_i, \quad (4)$$

где \bar{x}_i^* – середина i -й градации; P_i – повторяемость этой градации.

В состав основных параметров региональных климатических моделей облачной атмосферы входят также и матрицы условных вероятностей перехода облачности из одного состояния в другое (одна из таких матриц, полученная для типичного однородного облачного подрайона 3.6.13, приведена в табл. 2). При этом оценивание вероятностей перехода различных состояний облачности в другие за время $\Delta t = 6, 12, \dots, 24$ ч. осуществлялось при условии, что в исходный момент времени τ_0 , равный 18 ч. по Гринвичу, облачность попадала в одну из заданных пяти градаций (0, 1 – 3, 4 – 6, 7 – 9 и 10 баллов).

Таблица 1

Региональная климатическая модель атмосферы для типичного квазигодного района Северного полушария (район 3.6, лето)

| Высота h , км | P , гПа | | T , К | | q , г/кг | | P_3 , мПа | | S_{CO} , млн ⁻¹ | | S_{NO} , млрд ⁻¹ | | S_{NO_2} , млрд ⁻¹ | | V_x , м/с | | V_y , м/с | |
|--------------------|---------------------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|----------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------|-------------|----------------|-------------|----------------|
| | \bar{P} | σ_P | \bar{T} | σ_T | \bar{q} | σ_q | P_3 | σ_{P_3} | \bar{S}_{CO} | $\sigma_{S_{CO}}$ | \bar{S}_{NO} | $\sigma_{S_{NO}}$ | \bar{S}_{NO_2} | $\sigma_{S_{NO_2}}$ | \bar{V}_x | σ_{V_x} | \bar{V}_y | σ_{V_y} |
| | 1. Модель безоблачной атмосферы | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1013 | 300,2 | 3,2 | 16,100 | 2,200 | 3,8 | 2,1 | 0,222 | 0,078 | 0,074 | 0,073 | 3,4 | 5,6 | 0,7 | 2,7 | 1,1 | 1,4 | |
| 2 | 805 | 288,7 | 2,2 | 8,250 | 2,100 | 3,9 | 1,4 | 0,187 | 0,023 | 0,060 | 0,007 | 3,2 | 2,1 | -0,9 | 4,3 | 0,6 | 2,8 | |
| 4 | 633 | 275,0 | 1,6 | 2,910 | 1,309 | 3,4 | 1,1 | 0,156 | 0,021 | 0,049 | 0,006 | 3,0 | 1,6 | -0,2 | 4,6 | 0,2 | 3,0 | |
| 6 | 492 | 261,5 | 1,7 | 1,000 | 0,680 | 2,9 | 1,1 | 0,131 | 0,028 | 0,040 | 0,001 | 2,6 | 0,9 | 0,3 | 6,0 | 0,0 | 4,2 | |
| 8 | 378 | 248,6 | 1,8 | 0,410 | 0,200 | 2,6 | 1,0 | 0,110 | 0,018 | 0,138 | 0,013 | 2,1 | 0,7 | 0,2 | 7,1 | -0,6 | 4,4 | |
| 10 | 286 | 231,1 | 1,7 | 0,072 | 0,035 | 2,6 | 1,5 | 0,092 | 0,018 | 0,475 | 0,043 | 3,9 | 1,8 | 1,1 | 9,1 | -0,8 | 6,2 | |
| 12 | 213 | 219,8 | 1,8 | 0,012 | 0,007 | 3,3 | 2,3 | 0,077 | 0,018 | 1,630 | 0,167 | 7,1 | 5,6 | 1,0 | 11,2 | -2,0 | 7,3 | |
| 14 | 156 | 209,4 | 2,5 | 0,004 | 0,003 | 3,7 | 3,0 | 0,065 | 0,003 | 1,230 | 0,167 | 9,1 | 7,2 | 0,1 | 10,1 | -2,9 | 6,3 | |
| 16 | 111 | 205,7 | 3,1 | 0,002 | 0,001 | 5,1 | 2,9 | 0,054 | 0,003 | 0,834 | 0,079 | 6,0 | 3,0 | -3,3 | 7,5 | -3,0 | 4,2 | |
| 18 | 80 | 211,4 | 1,9 | 0,002 | 0,001 | 8,7 | 2,5 | 0,045 | 0,003 | 0,434 | 0,089 | 2,2 | 0,6 | -8,4 | 4,7 | -2,5 | 2,2 | |
| 20 | 56 | 216,7 | 1,5 | 0,002 | 0,001 | 12,3 | 2,0 | 0,038 | 0,003 | 0,593 | 0,098 | 10,1 | 3,5 | -12,7 | 3,8 | -1,4 | 1,7 | |
| 22 | 41 | 219,2 | 1,5 | 0,002 | 0,001 | 14,1 | 1,8 | 0,032 | 0,003 | 0,752 | 0,075 | 17,9 | 5,3 | -15,5 | 3,6 | -0,9 | 1,8 | |
| 24 | 30 | 222,7 | 1,9 | 0,002 | 0,001 | 15,0 | 2,1 | 0,027 | 0,003 | 0,911 | 0,064 | 25,7 | 7,1 | -17,7 | 3,8 | -0,8 | 2,5 | |
| 26 | 22 | 226,5 | 1,9 | 0,003 | 0,001 | 13,2 | 1,6 | 0,022 | 0,003 | 1,070 | 0,071 | 33,5 | 11,2 | -19,0 | 4,2 | -1,1 | 2,2 | |
| 28 | 16 | 230,9 | 2,1 | 0,003 | 0,001 | 12,1 | 1,3 | 0,019 | 0,003 | 1,660 | 0,099 | 41,3 | 17,5 | -21,0 | 4,4 | -2,5 | 2,0 | |
| 30 | 12 | 235,9 | 2,4 | 0,003 | 0,001 | 9,0 | 1,1 | 0,016 | 0,003 | 2,580 | 0,329 | 49,1 | 18,6 | -23,1 | 4,6 | -3,4 | 1,8 | |

| 2. Модели облачной атмосферы | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------------|---------|
| Номер облачных районов | Среднее количество облаков, \bar{x} , % | Повторяемость градаций, % | | | | | СКО в пределах облачного района, % | | | | | | Параметры бета-распределения | |
| | | P_1 | P_2 | P_3 | P_4 | P_5 | σ_x | σ_{P_1} | σ_{P_2} | σ_{P_3} | σ_{P_4} | σ_{P_5} | α | β |
| 2.6.04 | 40 | 27 | 27 | 15 | 26 | 5 | 0,9 | 1,5 | 1,0 | 0,7 | 1,5 | 0,9 | 1,132 | 1,630 |
| 3.6.10 | 57 | 8 | 23 | 22 | 42 | 5 | 1,4 | 2,1 | 1,1 | 1,8 | 1,6 | 1,8 | 2,317 | 2,088 |
| 3.6.13 | 52 | 11 | 28 | 21 | 35 | 5 | 1,9 | 2,6 | 1,2 | 2,4 | 1,2 | 1,2 | 1,925 | 2,004 |
| 3.6.14 | 44 | 18 | 32 | 20 | 26 | 4 | 1,2 | 2,0 | 1,3 | 0,9 | 1,2 | 1,2 | 1,539 | 2,024 |
| 3.6.20 | 38 | 33 | 22 | 15 | 27 | 3 | 1,1 | 1,2 | 1,6 | 1,4 | 0,9 | 0,9 | 1,035 | 1,619 |
| 3.6.23 | 37 | 26 | 33 | 19 | 20 | 2 | 1,4 | 1,8 | 1,1 | 1,4 | 0,8 | 0,8 | 1,186 | 1,709 |

* Положительные значения соответствуют западной, а отрицательные – восточной составляющей скорости ветра.

** Положительные значения соответствуют северной, а отрицательные – южной составляющей скорости ветра.

Таблица 2

Пример матрицы условных вероятностей (%) перехода облачности из одного состояния в другое за различные интервалы времени, полученной для одного типичного облачного района

| в исходный момент времени τ_0 | Облачность (в баллах) | | | | |
|------------------------------------|--|-------|-------|-------|------|
| | в момент времени $\tau_0 + \Delta\tau$ | | | | |
| | 0 | 1 – 3 | 4 – 6 | 7 – 9 | 10 |
| $\Delta\tau = 6$ ч | | | | | |
| 0 | 33,8 | 28,6 | 14,3 | 20,0 | 2,6 |
| 1 – 3 | 2,4 | 34,8 | 29,6 | 30,4 | 2,8 |
| 4 – 6 | 1,9 | 22,6 | 28,1 | 40,6 | 6,7 |
| 7 – 9 | 1,3 | 16,7 | 24,1 | 43,5 | 14,4 |
| 10 | 1,8 | 7,0 | 13,8 | 38,3 | 39,1 |
| $\Delta\tau = 12$ ч | | | | | |
| 0 | 20,8 | 18,2 | 23,4 | 35,1 | 2,6 |
| 1 – 3 | 1,5 | 25,6 | 29,5 | 37,8 | 5,7 |
| 4 – 6 | 3,2 | 24,9 | 25,9 | 38,3 | 7,7 |
| 7 – 9 | 1,9 | 20,4 | 24,1 | 39,7 | 13,7 |
| 10 | 1,8 | 8,9 | 16,1 | 39,1 | 34,1 |
| $\Delta\tau = 18$ ч | | | | | |
| 0 | 15,8 | 25,0 | 19,7 | 30,3 | 9,2 |
| 1 – 3 | 4,6 | 28,6 | 28,6 | 30,9 | 7,4 |
| 4 – 6 | 2,5 | 26,2 | 25,1 | 38,3 | 7,9 |
| 7 – 9 | 1,2 | 17,9 | 26,3 | 41,7 | 12,9 |
| 10 | 1,3 | 7,6 | 13,5 | 45,6 | 32,0 |
| $\Delta\tau = 24$ ч | | | | | |
| 0 | 9,2 | 40,8 | 14,5 | 28,9 | 6,6 |
| 1 – 3 | 5,7 | 40,2 | 26,3 | 23,5 | 4,2 |
| 4 – 6 | 1,4 | 25,4 | 36,5 | 31,9 | 4,7 |
| 7 – 9 | 1,6 | 10,8 | 21,0 | 50,9 | 15,7 |
| 10 | 1,8 | 7,6 | 12,8 | 42,6 | 35,2 |

Приведенные в табл. 1 и 2 статистические параметры описывают в основном крупномасштабные облачные структуры и частично мезомасштабную облачность. Для многих задач, решаемых с помощью космических наблюдательных систем оптического диапазона, этих параметров вполне достаточно. Однако имеется целый класс задач, где необходимо знать детальную структуру ансамблей облачных образований и отдельных облаков. Особенно это относится к конвективной облачности, геометрические характеристики которой необходимы для обеспечения проектирования и эксплуатации лазерных систем наблюдений и сканирующих оптико-электронных систем видимого и ИК-диапазонов. Поэтому, исходя из практической значимости подобных характеристик, они и вошли в состав дополнительных параметров региональных климатических моделей облачной атмосферы.

В табл. 3 приведены в качестве примера все перечисленные выше параметры мезомасштабной облачности, определенные для типичного однородного облачного подрайона 13, вошедшего в квазиоднородный район 3.6. При этом если величины $\bar{d}_{обл}$, $\bar{l}_{обл}$, $\bar{N}_{обл}$, $S_{обл}^*$ и $N_{сум}$

можно брать непосредственно, то для использования параметров \bar{z} , σ_z и Me_z (медиана) необходимо воспользоваться плотностью вероятности величины x (в данном случае это диаметры кучевых облаков) для логнормального распределения, которое имеет вид

$$f(x) = \begin{cases} \frac{0,4393}{\sigma \sqrt{2\pi} x} \exp \left[-\frac{(\lg x - \bar{z})^2}{2\sigma^2} \right] & \text{при } x > 0, \\ 0 & \text{при } x \leq 0. \end{cases} \quad (5)$$

Т а б л и ц а 3

Модели мезомасштабной облачности, полученные для типичного подрайона 3.6.13

| Формы облаков и их сочетаний | Градации облачности, балл | Среднее количество облаков, балл | \bar{z} | σ_z | Me_z | $\bar{d}_{обл}$, км | $\bar{l}_{обл}$, км | $\bar{N}_{обл}$ в ансамбле | $S_{обл}^*$, км | N_{cum} |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------|------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|-----------|
| <i>Cu hum</i> | 1-4 | 2,5 | -0,21 | 0,47 | 0,62 | 0,82 | 2,45 | 4100 | $5,3 \cdot 10^{-1}$ | 10 |
| | 5-6 | 5,5 | -0,10 | 0,51 | 0,79 | 1,48 | 1,64 | 4400 | $1,7 \cdot 10^0$ | 9 |
| <i>Cu hum + Cu med</i> | 5-6 | 5,5 | 0,08 | 0,58 | 1,20 | 2,35 | 2,05 | 3500 | $4,2 \cdot 10^0$ | 7 |
| | 7-9 | 8,0 | 0,12 | 0,55 | 1,32 | 2,49 | 0,60 | 3900 | $4,9 \cdot 10^0$ | 7 |
| <i>Cu cong + Cu med</i> | 5-6 | 5,5 | 0,41 | 0,35 | 2,57 | 3,96 | 3,35 | 2300 | $1,2 \cdot 10^1$ | 6 |
| | 7-9 | 8,0 | 0,57 | 0,46 | 3,72 | 4,70 | 1,18 | 2800 | $1,7 \cdot 10^1$ | 6 |
| <i>Cb + Cu cong</i> | 7-9 | 8,0 | 1,45 | 0,85 | 28,18 | 61,40 | 15,40 | 1100 | $3,0 \cdot 10^3$ | 4 |
| <i>Cu + Sc</i> | 5-6 | 5,5 | 0,20 | 0,44 | 1,58 | 4,28 | 3,50 | 1700 | $1,4 \cdot 10^1$ | 3 |
| | 7-9 | 8,0 | 0,31 | 0,48 | 2,04 | 5,00 | 1,25 | 2300 | $2,0 \cdot 10^1$ | 4 |

Для перехода от оценок математического ожидания и дисперсии величины z к аналогичным оценкам x были использованы формулы [9]:

$$\bar{x} = \exp (2,3025 \bar{a} + 2,6551 \tilde{\sigma}_z^2); \quad (6)$$

$$\tilde{\sigma}_x^2 = \bar{x}^2 [\exp (5,3022 \tilde{\sigma}_z^2) - 1]. \quad (7)$$

Вероятность того, что случайная величина x , имеющая логнормальное распределение со средним \bar{x} и дисперсией $\tilde{\sigma}_x^2$, заключена в пределе от a до b , можно легко определить по таблице стандартного распределения вероятностей из соотношения

$$P(a < x \leq b) = F\left(\frac{\lg b - \bar{z}}{\tilde{\sigma}_z}\right) - F\left(-\frac{\lg a - \bar{z}}{\tilde{\sigma}_z}\right), \quad (8)$$

воспользовавшись оценками параметров, представленных в табл. 3.

В заключение следует сказать, что все рассмотренные выше параметры региональных моделей безоблачной и облачной атмосферы стали основой для построения компьютерной версии информационной базы климатических моделей. Эта база и соответствующий алгоритм ее использования разработаны таким образом, что пользователю достаточно задать сезон года, координаты района наблюдений и перечень необходимых параметров, а требуемые характеристики будут представлены в виде множества таблиц со всеми необходимыми пояснениями.

1. Г л о б а л ь н о е поле облачности/Под. ред. Л.Т. Матвеева. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 279с.
2. Justus C. C et all. // Four - I Global Fefrence Atmosphere Technical Rescption, Part - 1. NASA US C - TMX - 64871. Sept. 1974.
3. Henderson-Sellers A., Hungen N.A., Wilson M. // Bull. Amer. Meteorol Soc. 1981. V. 62. N9. P. 1300-1307.
4. Hungen N.A., Henderson-Sellers A. // Int. J. Remote Sens. 1983. V.4. N1. P.159-173.
5. Воробьев В.И., Фадеев В.С. Характеристики облачного покрова северного полушария по данным метеорологических спутников. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 172 с.

6. Б о б р о в н и к о в В . Т . // Исследование Земли из космоса. 1981. N 1. С 83–89.
7. Z u e v V . E . , К о м а р о в V . S . Statistical Model of the Temperature and Gaseous Components of the Atmosphere. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht – Boston – Lancaster – Tokyo, 1987. 306 p.
8. К о м а р о в В . С . , Р е м е н с о н В . А . // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. N. 7. С. 3–16 .
9. Г О С Т 11.009-79. Правила оценок и доверительных границ для параметров логарифмически нормального распределения. М.: Госкомитет по стандартам, 1980. 30 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск
Военно-инженерная космическая академия им.А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию
13 апреля 1994 г.

V.S. Komarov, V.A. Remenson. Regional Statistical Models of Atmosphere as an Efficient Informational Aid for Spacecraft Systems of Observation.

The calculational results on parameters of an improved version of regional statistical models of cloudy and cloudless atmospheres are presented in the paper. The models have been made based on objective classification of the Earth climates and are aimed to serve as an informational aid for spacecraft observational system of various purposes.