

В.С. Комаров, В.А. Ременсон

СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИКИ

В работе обсуждаются современное состояние и перспективы развития физико-статистических моделей атмосферы для проектирования и применения оптических систем наблюдений. Особое внимание уделено описанию общих принципов и постулатов прикладной классификации климатов Земли и построения глобально-региональных моделей, основанных на использовании таксономических методов.

Здесь приводятся в качестве примера результаты подобной классификации, реализованной для северного полушария на основе анализа высотного распределения комплекса «давление — температура — влажность — озон» и режиме глобального поля облачности, и параметры пятиэлементной климатической модели атмосферы, построенной для типичного квазиоднородного района.

I. Введение

Широкое применение систем наблюдений оптического диапазона для получения разнообразной информации о состоянии природной среды в интересах ее мониторинга, прогнозирования погоды и оценки климатических изменений в планетарном и региональном масштабах значительно повысило интерес к разработке моделей атмосферы, предназначенных для проектирования этих систем для текущего и перспективного планирования их работы, а также для устранения искажающего влияния атмосферы на перенос оптических волн — важного фактора в задачах дистанционного оптического зондирования.

Разработка методов и технических средств устранения искажающего влияния воздушной среды на перенос излучений оптического диапазона является одной из сложнейших проблем оптики атмосферы. Любой из методов ее решения в зависимости от этапа разработки и применения оптической системы требует либо знания «оптической погоды» по трассе распространения электромагнитных волн, либо наличия сведений об «оптическом климате» района (где планируется проведение соответствующих натурных экспериментов), по которым осуществляется обработка результатов проведенных дистанционных наблюдений.

Поскольку термины «оптическая погода» и «оптический климат» стали часто употребляться в литературе по атмосферной оптике (см., например, [1–5]), то необходимо дать им определение. Так, по аналогии с общепринятым понятием погоды под «оптической погодой» будем понимать мгновенное фактическое состояние атмосферного оптического канала, характеризующееся совокупностью оптических параметров, оказывающих влияние на перенос оптического излучения. В число основных параметров включаются значения оптической толщины атмосферы вдоль трассы распространения излучения; коэффициенты и функции поглощения атмосферных газов; коэффициенты поглощения, рассеяния и ослабления отдельных частиц и ансамблей частиц твердого и жидкого аэрозоля; компоненты матриц рассеяния; комплексные показатели преломления; спектральные альбедо и т.д.

Под «оптическим климатом» (по аналогии с понятием климата) будем понимать совокупность статистических оптических характеристик атмосферы и подстилающей поверхности, полученных в результате осреднения за период от месяца до нескольких десятилетий. В зависимости от решаемой задачи осреднения оптических характеристик могут осуществляться только по времени (для фиксированной точки пространства) или одновременно по пространству и времени. В разрабатываемых моделях оптического климата в качестве временного масштаба осреднения обычно принимают месяц, сезон и год, а в качестве пространственного — площади района наблюдений, отдельного региона, широтной зоны, материка, акватории океана, полушария или земного шара в целом.

Известно, что для определения оптических характеристик, описывающих оптическую погоду и климат, используются как методы прямых измерений, так и расчетно-теоретические методы решения задач атмосферной оптики. В обоих случаях необходимо иметь модельные представления о физико-химическом состоянии атмосферно-оптического канала, а также сведения о статистических связях между вариациями оптических характеристик атмосферы и характеристик ее структуры и физико-химического состава. Аналогичные модельные представления параметров атмосферы необходимы и при решении обратных задач дистанционного зондирования с использованием лидарных, спектрометрических систем измерения. Именно поэтому в любом современном центре обработки информации, поступающей от оптических измерительных систем, создаются метеорологические банки данных, включающие модельное представление целого ряда физических и химических параметров атмосферы и других природных объектов. При этом требования к составу, характеристикам и объему метеорологической информации, используемой при создании банков данных, формируются на этапах проектирования оптической системы и разработке ее специального математического и программного обеспе-

чения. На основе этих требований определяется вектор влияющих физических параметров атмосферы $X_{<n>}$, необходимых для планирования работы систем, коррекции результатов оптических наблюдений и для решения обратных задач атмосферной оптики. Размерность этого вектора n зависит от объема задач, решаемых информационно-вычислительным центром, от характеристик измерительной аппаратуры и методик обработки полученной информации.

Анализ литературы (см. [6–11]), проведенный авторами настоящей статьи применительно к оценке размерности вектора n (с точки зрения требований существующей и перспективной измерительной аппаратуры и методик обработки получаемой информации), показал, что банк априорных метеорологических данных должен включать в себя сведения о:

- вертикальных профилях давления и температуры воздуха;
- вертикальных профилях основных оптико-активных газов (кислорода, углекислого газа, водяного пара, озона) и малых газовых составляющих (CO , CH_4 , N_2O , NO_2 , NO и т. п.);
- вертикальных профилях характеристик ветра;
- характеристиках облачности (количество общей облачности, геометрические размеры облачных образований, расслоенность облачности, формы облаков, высота верхней и нижней границ, температура излучающих поверхностей, фазовый состав, распределение капель по размерам;
- характеристиках осадков (вид, интенсивность, продолжительность, распределение капель по размерам, метеорологическая дальность видимости);
- характеристиках туманов и дымок (микрофизические характеристики, фазовый состав, метеорологическая дальность видимости);
- вертикальных профилях твердого аэрозоля (распределение по размерам частиц, химический состав);
- вертикальных профилях параметров атмосферной турбулентности;
- температуре, влажности, химическом и механическом составе почвогрунтов;
- состоянии снежных, ледовых и водных поверхностей.

В настоящее время наиболее полные метеорологические банки данных (например, «LARSYS», «KANDIDATS», «PROCAMS» и другие [6]) используются при обработке результатов дистанционного спутникового зондирования в Годдарском центре НАСА, Кембриджском НИЦ, Национальном метеорологическом центре и в ряде университетских центров США. Аналогичный банк метеорологической информации разрабатывается сейчас и в Институте оптики атмосферы СО АН СССР. Следует подчеркнуть, что в подобные банки обычно включаются результаты фактических наблюдений, проведенных различными измерительными системами (наземного и бортового базирования), специальные прогнозы состояния атмосферно-оптического канала с различной заблаговременностью и климатические данные. Вся эта информация должна описывать состояние атмосферы по всему земному шару, поскольку современные носители бортовой измерительной аппаратуры предназначены для проведения глобальных наблюдений.

Настоящая статья посвящена изложению проблемы построения глобальных климатических моделей атмосферы, которые рассматриваются в качестве одной из подсистемы метеорологических банков, создаваемых для центров обработки информации, получаемой от оптических измерительных комплексов. Такие модели должны рассматриваться в качестве физической основы радиационной или оптической модели атмосферы Земли. Кроме того, они должны быть ориентированы на возможность имитационного моделирования физического состояния атмосферного оптического канала в любой точке земного шара, в любое время года и суток, что дает возможность использовать их на этапах проектирования и перспективного планирования работы системы. Учитывая случайный характер изменения метеорологических величин во времени и в пространстве и сложное взаимодействие между собой атмосферных процессов различного масштаба, эти модели должны быть вероятностными. Естественно, что построить такие модели для любой точки земного шара невозможно, если не прибегать к различным методам обобщения климатических данных. Одним из возможных направлений такого обобщения метеорологической информации при построении климатических моделей атмосферы является выделение квазиоднородных климатических районов на земном шаре, отличающихся сходством параметров, входящих в состав физико-статистической модели атмосферы. Такой подход дает возможность разработки так называемых глобально-региональных климатических моделей атмосферы (ГРКМА), которые по пространственному освещению территории являются глобальными, а по точности и полноте включаемых параметров сохраняют все достоинства региональных моделей, учитывающих особенности основных климатообразующих факторов отдельных районов.

2. Состояние вопроса

Решению вопросов оценки статистических характеристик параметров атмосферы и разработки глобально-региональных моделей атмосферы в интересах обеспечения измерительных систем оптического диапазона посвящено большинство фундаментальных исследований в области оптической климатологии – сравнительно нового направления прикладной радиационной климатологии. В оптической климатологии рассматриваются как непосредственно оптические характеристики природных образований, так и физические и химические величины, явления и процессы, оказывающие влияние на

распространение оптической волны. Несмотря на то, что эта область климатологии получила развитие лишь в последние десятилетия, библиография по ней насчитывает у нас и за рубежом уже сотни статей и десятки монографий (см., например, [1–3, 5, 10–14]), содержащих как материалы по проблеме получения и обобщения характеристик атмосферы, фонов и различных природных объектов (например, облачности, аэрозольных образований и т.п.), а также оценки их спектральных свойств. Подобный интерес к новому направлению климатических исследований объясняется высокой стоимостью разрабатываемых оптических систем, сложностью их эксплуатации, трудностью интерпретации результатов наблюдений и высокими требованиями решаемых практических задач. Это вынуждает специалистов уже на стадии проектирования указанных систем проводить оценку эффективности и надежности их функционирования в зависимости от варианта возможного построения, причем любая модель такого оценивания должна включать в качестве подсистемы модель атмосферы, адекватно описывающую оптикофизическое ее состояние в глобальном масштабе.

Не останавливаясь на основных исследованиях в области оптической климатологии, число которых слишком велико, рассмотрим результаты лишь тех работ, которые посвящены описанию глобально-региональных моделей атмосферы, разработанных применительно к задачам атмосферной оптики и метеорологического обеспечения оптических систем дистанционного зондирования.

Достаточно полный обзор моделей физических параметров для безоблачной атмосферы, которые могут быть использованы для решения указанных задач, приведен в работах [1–5, 11, 14].

Наиболее часто при решении задач атмосферной оптики и дистанционного зондирования применяется модель так называемой стандартной атмосферы: в СССР — стандартная атмосфера ГОСТ 4401–81 [15], устанавливающая числовые значения основных параметров атмосферы (температуры, давления, плотности воздуха и ускорения свободного падения) до высоты 120 км, в США — стандартная атмосфера США 1976 г. [16]. Достоинством этих моделей являются достаточно представительные выборки наблюдений, на основе которых осуществлялись разработки, а недостатком — ограниченное число включенных параметров и отсутствие кроме средних значений каких-либо других статистических показателей. К тому же средние многолетние значения метеорологических величин, приведенные в стандартах, соответствуют только среднему уровню солнечной активности и описывают климатический режим атмосферы, близкий к режиму широты 45°.

Вследствие указанных недостатков стандартные модели обычно дополняются в атмосферной оптике справочными моделями атмосферы. Наиболее известной из них является модель Мак-Клатчи [17], которая наряду с давлением и температурой содержит также высотные профили среднезонального распределения содержания водяного пара, озона и аэрозоля в трех широтных зонах: полярной (60–90° с.ш.), умеренной (30–60° с.ш.) и тропической (0–30° с.ш.).

Однако и справочные модели имеют ряд существенных недостатков. Во-первых, они не содержат никакой информации о содержании в атмосфере других оптически активных газов. Во-вторых, справочные модели построены на основе различных и недостаточно надежных данных с использованием ограниченных по объему статистических выборок и несовершенных методов осреднения первичной информации. В-третьих, физические параметры атмосферы в этих справочных моделях представлены лишь средними профилями.

В связи с таким положением, начиная с 70-х годов, в СССР и за рубежом стали проводиться исследования по созданию более совершенных глобально-региональных моделей атмосферы. Так, например, в США такая модель построена в НАСА [18]. Эта модель содержит два типа моделей: модель 4Д–А, включающую в себя средние месячные профили высотного распределения температуры, плотности воздуха, влажности, зональной и меридиональной составляющих вектора ветра и профили их стандартных отклонений, полученные до высоты 25 км для 1977 точек при шаге прямоугольной сетки для северного полушария, равного 440 км., и шаге географической сетки для южного полушария 5° по широте и 10° по долготе, а также модель 4Д–В, содержащую для тех же физических параметров обобщенные статистические характеристики, определенные по 45 однородным климатическим районам земного шара, причем границы этих районов в течение года остаются неизменными. Однако и более совершенная модель НАСА не включает в себя всех необходимых (с точки зрения задач ДЗА) оптически активных компонент атмосферы.

В настоящее время среди глобально-региональных моделей атмосферы наиболее полной и надежной является статистическая модель, построенная в СССР [5]. Она содержит как средние зональные и региональные профили высотного распределения оптически активных компонент атмосферы (температуры, влажности, озона и других МГС), построенные с учетом пространственно-временной изменчивости этих компонент, так и стандартные отклонения и межуровневые корреляционные связи (правда, только для температуры, влажности и озона), которые характерны для различных широтных зон: полярной 90–60° с.ш., умеренной 60–30° с.ш. и тропической 30–0° с.ш., а также для отдельных квазиоднородных районов северного полушария выявленных на основе объективной классификации аэрологических полей. К сожалению, и эта модель из-за отсутствия систематических глобальных наблюдений за некоторыми физическими параметрами (и в первую очередь за МГС) не позволяет получить представление об их региональных особенностях в отдельных районах земного шара. Недостатком моделей, приведенных в [5], является и то, что климатическое районирование северного полушария, использованное для их построения, проведено лишь на основе комплекса

«температура — влажность» и не учитывает изменчивости других оптико-активных компонент атмосферы.

Наиболее целенаправленное создание моделей облачной атмосферы для систем дистанционного зондирования и решения обратных задач атмосферной оптики осуществляется в геофизической лаборатории Кембриджского научно-исследовательского центра ВВС и в НАСА, причем начало этим исследованиям положено работами [19–21], а родоначальником их следует считать Д. Гривса, который построил первую глобально-региональную модель облачной атмосферы для планирования и оценки потенциальных возможностей различных программ землеобзора.

В качестве исходных данных для построения модели Д. Гривс использовал пятилетние спутниковые данные с шагом 370 км и результаты восьмисрочных наблюдений на 100 синоптических станциях за период в 10–15 лет. Это позволило автору на основе анализа гистограмм распределения вероятностей пяти градаций облачности (0, 1–3, 4–6, 7–9 и 10 баллов) выделить на земном шаре 29 квази-однородных районов, включающих в себя 80 географических областей с различным состоянием земной поверхности.

Дальнейшее развитие модели Гривса шло по пути расширения банка данных и совершенствования методики климатического районирования. В современном виде модели облачной атмосферы, разработанные в США для территории земного шара, представлены в работах [22–24]. Достоинством этих моделей является возможность определения по координатам района наблюдений и времени съемки (месяца и часа суток) всех необходимых характеристик по количеству общей облачности, что очень важно для обеспечения функционирования оптических измерительных систем.

Недостатком построенных в США глобально-региональных моделей облачности является ограниченный набор параметров, характеризующих физическое состояние облачного поля. В этом отношении модели облачной атмосферы, разрабатываемые в нашей стране применительно к задачам дистанционного зондирования (см., например, [12, 25]), являются более перспективными, так как включают в себя помимо векторов состояния и матриц перехода облачной обстановки из одного состояния в другое по количеству облачности также и некоторые другие параметры и, в частности, вероятности основных форм облаков для отдельных сезонов года. Но и эти модели не обеспечивают требований, предъявляемых к оценке состояний атмосферного оптического канала. Поэтому в ИОА СО АН СССР совместно с рядом заинтересованных учреждений прилагаются усилия по построению более совершенных глобально-региональных моделей атмосферы, основывающихся на принципиально новых подходах, о чем пойдет речь в следующем разделе.

3. Общие принципы прикладной классификации климатов и построение глобально-региональных моделей атмосферы

Первые работы по классификации климатов появились в 80-е годы предыдущего столетия, а к настоящему времени только за рубежом опубликованы результаты более 180 таких классификаций [26]. Если сюда добавить несколько десятков классификаций климатов, выполненных в СССР, то может создаться представление, что проблема классификации (в климатологии) к настоящему времени уже решена (или находится в стадии завершения). Однако это далеко не так. Прежде всего следует отметить достаточно слабую теоретическую базу многих систем классификации климатов и слишком большой произвол относительно числа выделяемых однородных районов, в определении границ между климатическими типами, в выборе признаков для характеристики климатов и т.п.

Не менее существенно и то, что в проведенных классификациях рассматривалось ограниченное число признаков. Чаще всего это были температура у поверхности земли и (или) осадки, повторяемость воздушных масс, составляющие баланса энергии, радиационный баланс, суточные суммы инсоляции и т.д. И только с начала 60-х годов нашего столетия в прикладную климатологию стали активно внедряться таксономические методы, основанные на иерархическом построении классификаций и с учетом разных масштабов атмосферных процессов. Это позволило поставить задачу классификации климатов на солидную научную базу и значительно расширить число параметров атмосферы, одновременно учитываемых при классификации. Однако таксономическая прикладная классификация климатов делает только первые шаги. В этой области еще не успели окончательно сформироваться основные принципы таксономического анализа, что вынуждает вносить значительную долю субъективизма в определение таких важнейших понятий классификации объектов, как определение меры близости между объектами и критерия качества классификации, в выбор информативной системы признаков и алгоритмов численной таксономии. Однако при четко сформулированной цели прикладной классификации климатов (а это обязательное условие постановки задач численной таксономии) указанные трудности можно преодолеть с учетом рассмотрения различных вариантов классификаций метеорологических объектов и выбора одного из лучших (но далеко не всегда оптимального из-за сложности выбора альтернативного подхода). Критерием предпочтительности выбора варианта классификации является качество полученных результатов типизации климатов, оцениваемое с помощью критериев и неформальных требований, связанных с целевым предназначением данной классификации. К числу этих требований можно отнести, например, удобство описания каждого класса, уровень

потерь информации при переходе от отдельных таксономических единиц (районов наблюдений, станций, пунктов) к обобщенным описаниям таксонов, компактность групп и т.п.

Попытаемся сформулировать некоторые из основных принципов таксономической классификации климатов, определения географических границ квазиоднородных районов (прикладного климатического районирования) и построения ГРКМА для обеспечения оптических измерительных систем. На наш взгляд, они должны сводиться к следующему:

а) объективная таксономическая классификация оптико-метеорологических объектов должна базироваться на обоснованном учете физических свойств атмосферы и основных климатообразующих факторов;

б) принципу компактности классов следует отдать предпочтение перед принципом четкости их разделения (вследствие сглаженного характера для большинства полей метеорологических величин, т.е. преобладания непрерывности полей над скачкообразным характером изменения их характеристик);

в) осуществление классификации для нескольких многомерных параметров и построение моделей атмосферы должно быть последовательным, начиная от метеорологических величин, имеющих наименьшую пространственную (временную) изменчивость, и переходя к величинам по степени увеличения степени их изменчивости, причем предварительно должен быть построен ранжированный ряд рассматриваемых параметров атмосферы в порядке убывания величин их радиусов корреляции;

г) классификация климатов и климатическое районирование территории должно осуществляться с использованием методов автоматической классификации объектов в связи с тем, что отсутствует любая априорная информация о смешанных выборках климатических величин и нет обучающих выборок;

д) модели атмосферы для однородных климатических районов должны представляться в виде параметров законов распределения вероятностей, автокорреляционных и взаимно-корреляционных матриц. При этом подобные модели должны строиться по модульному принципу, постоянно дополняться и совершенствоваться (по мере поступления новых данных) и размещаться на соответствующих файлах магнитных носителей вместе с описанием границ районов и необходимыми рабочими формулами, используемыми для определения требуемых характеристик атмосферы по заданным координатам и времени наблюдений.

Все эти постулаты приняты нами во внимание при разработке теоретических основ и практической реализации комплексного районирования земного шара и при построении региональных моделей атмосферы, рассматриваемых как дальнейшее развитие среднезональных климатических моделей [5, 27].

4. Некоторые результаты прикладной классификации климатов и построения глобально-региональной климатической модели атмосферы

При проведении объективной классификации климатов в настоящее время используется широкий спектр таксономических методов (см., например, работы [28–32]), условно разделяющихся на три группы:

- методы оценивания пространственной корреляции метеорологических величин;
- метод главных компонент (естественных ортогональных составляющих);
- методы кластерного анализа.

Краткая характеристика этих методов, проведенная применительно к задачам прикладной классификации, дана в [31, 33–35]. Нами для классификации климатов свободной атмосферы, наряду с общими принципами физико-географического районирования, базирующегося на характеристиках общей циркуляции атмосферы (зонального и меридионального переноса, положения планетарных фронтальных зон и центров действия атмосферы, зон конвергенции тепла и влаги, пассатных фронтов и муссонной циркуляции и т.п.), использовалась комбинация всех указанных выше таксономических методов. При этом для классификации структуры метеорологических величин, оказывающих влияние на распространение оптических волн в безоблачной атмосфере, использован метод главных компонент, позволивший значительно сжать исходное признаковое пространство, характеризующее климатический режим свободной атмосферы, а для определения климатических типов был применен статистический критерий сходства, в основе которого лежит метод оценивания корреляций одноименных компонент на сфере [5, 36]. При численной классификации полей облачности и построения облачных моделей атмосферы предпочтение было отдано одному из методов последовательной иерархической кластеризации, специально модифицированному для решения задач климатического районирования с большим признаковым пространством [31].

Реализация такого подхода позволила впервые провести на единой методической основе прикладную объективную классификацию климатов Земли и построить глобально-региональную модель многомерных метеорологических объектов, ориентированную на использование при метеорологическом обеспечении оптических измерительных систем на этапах проектирования, перспективного планирования их работы и оперативного функционирования.

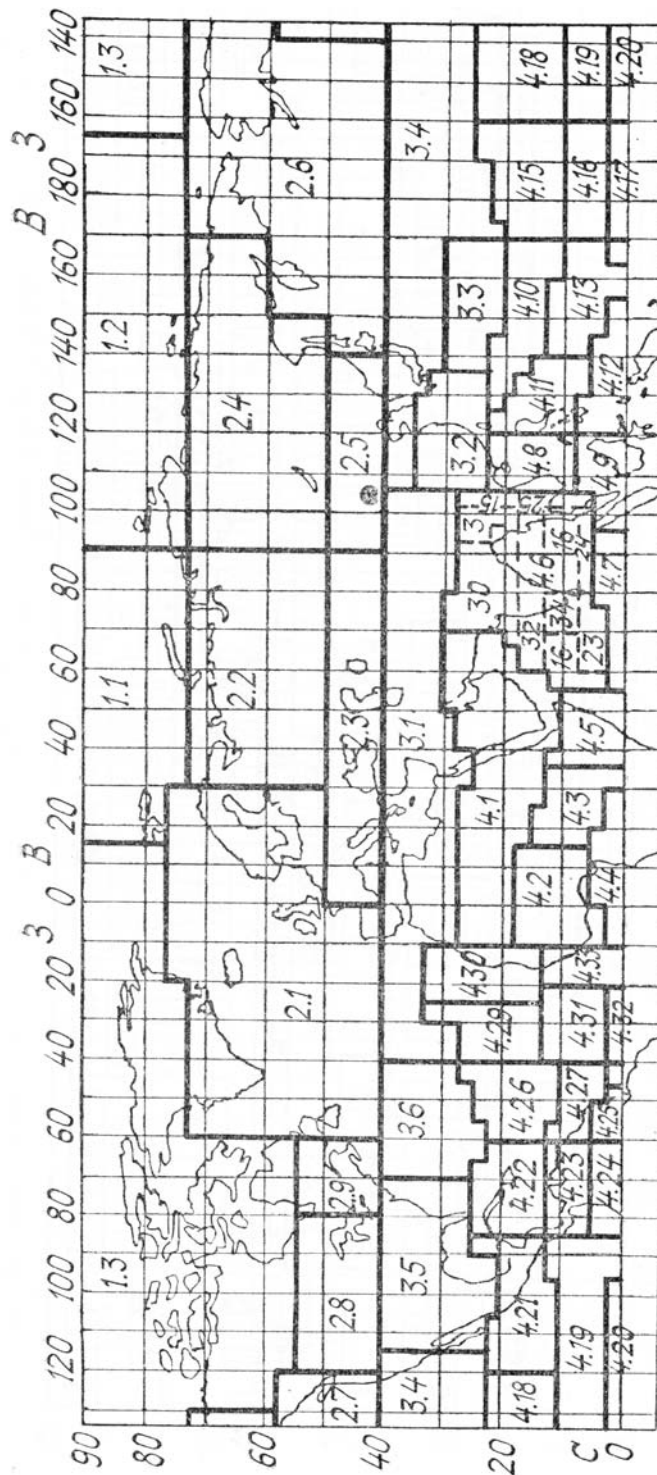


Рис. 1. Районирование северного полушария по комплексу «давление—температура—влажность—озон» (зима)

На рис. 1 приведены в качестве примера результаты комплексного прикладного районирования северного полушария для зимнего сезона, проведенного для комплекса вертикальных профилей таких оптически активных параметров атмосферы, как давление, температура, влажность и озон, и позволившего нам построить четырехэлементную модель безоблачной атмосферы. А на рис. 2 представлены результаты климатического районирования по многолетнему режиму облачности. При этом в качестве признаков классификации использованы вероятности (повторяемости) пяти градаций общего количества облаков (0, 1–4, 5–6, 7–9 и 10 баллов). При совмещении результатов климатического районирования, приведенных на рис. 1 и 2, получим пятиэлементную классификацию климатов Земли (напомним, что в классификации климатов под элементом обычно понимают метеорологические величины, дифференциальные и интегральные характеристики, различные индексы и т.д.).

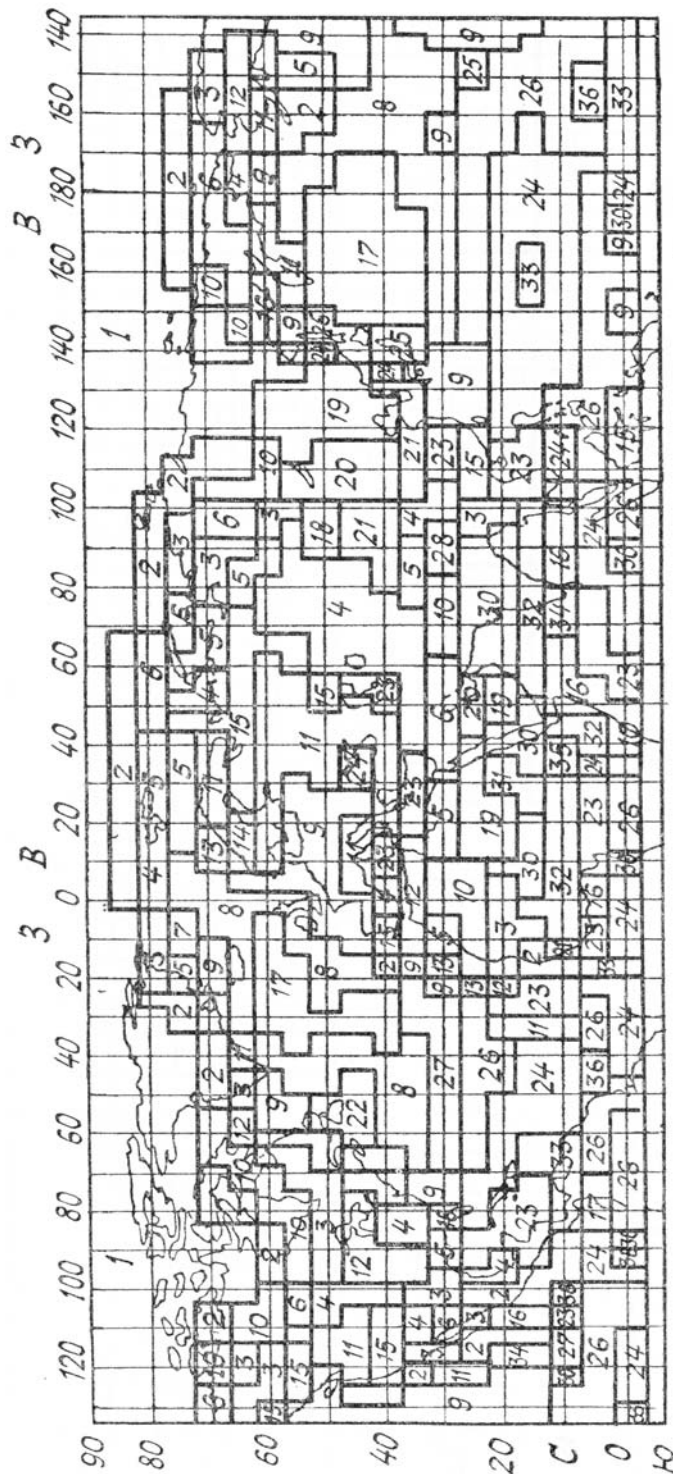


Рис. 2. Климатическое районирование северного полушария по многолетнему режиму облачности (зима)

При проведении численной классификации в качестве исходной информации использовались: результаты температурного зондирования атмосферы 120 станций северного полушария за 10-летний (1961 — 1970 гг.) период наблюдений, данные 20-ти озонметрических станций, взятые за период с 1963 по 1985 год и регулярно публикуемые Всемирной метеорологической организацией в серии «Глобальные данные по озону», и многолетние (1976—1983 гг.) спутниковые наблюдения за облачностью, осредненные по пятиградусным трапециям и подготовленные во Всесоюзном НИИ гидрометеорологической информации — Мировом центре данных.

Анализ результатов прикладного районирования показывает, что зимой все северное полушарие можно подразделить на 51 квазиоднородный район (летом — на 48) по вертикальному распределению комплекса «давление — температура — влажность — озон» и 36 однородных облачных районов (летом — 40), по режиму глобального поля облачности, причем границы выявленных районов по комплексу метеорологических величин и по режиму облачности, как правило, не совпадают.

Для каждого выявленного климатического района определялись высотные профили средних значений $\bar{\xi}$ и стандартных отклонений σ_{ξ} оптически активных компонент атмосферы, а для статистических центров районов – межуровневые автокорреляционные и взаимокорреляционные матрицы R_{ij} . Для облачности получены повторяемости различных градаций P_k ($k = 1, 2, 5$) и среднее количество облаков, покрывающих площади трапециевидов 5×5 градусов.

В качестве примера в табл. 1 приведены статистические характеристики оптически активных компонент атмосферы для одного из типичных квазиоднородных районов (район 4.6 на рис. 1) и соответствующих однородных облачных районов (они выделены пунктиром на рис. 1), которые «покрывают» территорию этого квазиоднородного района. Сразу же подчеркиваем, что из-за большого объема данных сведений о корреляционных матрицах, рассчитанных для указанного квазиоднородного района, в настоящей статье не приводятся. Совокупность статистических характеристик средних значений и стандартных отклонений, приведенных в таблице, и матриц автокорреляционных связей следует рассматривать в качестве параметров пятиэлементной региональной климатической модели атмосферы для квазиоднородного района 4.6.

**Региональная климатическая модель атмосферы
для типичного квазиоднородного района (район 4.6, зима)**

а. Модель безоблачной атмосферы

Таблица

Высота, км	Давление, гПа		Температура, К		Влажность, г/кг		Озон, мПа	
	\bar{p}	σ_p	\bar{T}	σ_T	\bar{q}	σ_q	P_3	σ_{P_3}
0	1016	0,4	296	3,3	9,7E+0	1,1E+0	2,1	1,2
2	805	0,2	288	2,7	4,4E+0	1,3E+0	2,5	1,0
4	632	0,3	277	3,0	1,4E+0	1,0E+0	2,3	0,8
6	491	0,3	265	3,7	4,7E-1	5,4E-1	1,9	0,7
8	377	0,3	252	4,5	1,7E-1	1,0E-1	1,7	0,6
10	285	0,3	238	4,9	7,2E-2	5,1E-2	1,5	0,6
12	212	0,4	224	5,0	1,2E-2	1,0E-2	1,5	0,7
14	155	0,4	211	5,3	3,9E-3	2,6E-3	1,9	0,8
16	111	0,3	201	5,9	1,9E-3	1,2E-3	1,7	1,0
18	79	0,2	201	6,1	2,0E-3	1,0E-3	3,3	1,3
20	57	0,2	207	5,9	2,1E-3	8,4E-4	6,8	1,8
22	42	0,1	211	5,8	2,2E-3	5,6E-4	9,9	1,8
24	32	0,1	216	5,7	2,4E-3	6,2E-4	12,6	2,2
26	25	0,1	220	5,6	2,6E-3	6,3E-4	11,9	2,5
28	19	0,1	225	5,6	2,8E-3	6,6E-4	11,3	2,1
30	11	0,1	230	5,7	3,0E-3	6,8E-4	9,7	1,0

б. Модель облачной атмосферы

№ облачных районов	Среднее кол-во обл. \bar{X} , %	Повторяемость градаций					в пределах обл. района, %					
		P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	$\sigma_{\bar{X}}$	σ_{P_1}	σ_{P_2}	σ_{P_3}	σ_{P_4}	σ_{P_5}
4.6.03	34	39	21	14	23	3	2,1	1,9	2,3	2,1	2,2	1,3
4.6.16	39	22	36	19	22	1	1,5	1,9	2,0	1,3	0,3	1,5
4.6.30	63	05	18	22	48	7	1,5	1,3	2,0	1,6	2,1	1,4
4.6.32	24	49	32	13	10	2	1,3	1,3	1,7	1,0	1,0	0,6
4.6.34	31	30	38	17	14	1	1,5	1,5	2,2	1,4	1,6	0,6

Более подробно изложить методы и результаты комплексного прикладного районирования и построения глобально-региональных моделей атмосферы, разрабатываемых в целях информационного обеспечения систем землеобзора и задач атмосферной оптики, предполагается в ряде последующих статей.

В заключение отметим, что, по мнению авторов, дальнейшие усилия исследователей, занимающихся вопросами прикладного моделирования оптико-метеорологических полей, должны быть направлены на:

– создание численных оптико-климатических моделей атмосферы, учитывающих, с одной стороны, основные климатообразующие факторы и их короткопериодные вариации (от нескольких недель до нескольких лет), а с другой стороны, динамику и фотохимию верхних слоев атмосферы, наиболее чувствительных к воздействию флуктуации солнечной радиации;

– разработку методов объективного районирования земного шара по данным об оптическом состоянии атмосферы, полученным на основе численных оптико-климатических моделей;

– исследование вклада и приоритетности учета различных оптически активных компонент атмосферы в процессе ослабления электромагнитного излучения, распространяющегося вдоль заданных атмосферных трасс;

– совершенствование оптико-метеорологических моделей за счет учета оптико-физических свойств верхнего деятельного слоя океана и процессов взаимодействия океана и атмосферы;

– поиск функциональных связей гидрофизических, метеорологических и оптических характеристик вдоль трассы распространения электромагнитного излучения.

Кроме того, существенное внимание следует уделить разработке теоретических основ и методов прогноза естественной изменчивости регионального и глобального оптического климата с учетом ранее накопленной информации об оптико-физическом состоянии атмосферы (а также океана) и на основе постоянного усвоения новейших экспериментальных данных, получаемых регулярно с помощью различных измерительных систем и в первую очередь систем спутниковых наблюдений. Это позволит не только создать более надежные и полные глобально-региональные оптико-климатические модели, способные адекватно воспроизводить как фоновые характеристики, так и изменения оптического климата Земли, но и постоянно проверять построенные модели по данным наблюдений и выявлять их пригодность для предвычисления изменений оптического климата в масштабах месяцев (или лет).

1. Зуев В. Е., Креков Г. М. Оптические модели атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 256 с.
2. Зуев В. Е., Макушкин Ю. С., Пономарев Ю. Н. Спектроскопия атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.
3. Зуев В. Е., Кабанов М. В. Оптика атмосферного аэрозоля. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 256 с.
4. Зуев В. Е. Оптика атмосферы. Итоги и перспективы. – Оптика атмосферы, 1988, № 1, с. 5–12.
5. Зуев В. Е., Комаров В. С. Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 264 с.
6. Балтер Б. М., Егоров В. В. Методы и возможности дистанционного зондирования (обзор зарубежной литературы за 1972–1977 гг.)/Под ред. Р.З. Сачдеева. Итоги науки и техники, серия «Исследование космического пространства». Т. 16. М: ВИНТИ, 1977. – 192 с.
7. Природа Земли из космоса. Изучение природных ресурсов Земли с помощью данных, передаваемых со спутников по радиоканалам/Под ред. Н.П. Козлова. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 152 с.
8. Кондратьев К. Я., Тимофеев Ю. М. Метеорологическое зондирование атмосферы из Космоса. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 280 с.
9. Кондратьев К. Я., Григорьев А. А., Рябинович Ю. И., Шульгина Е. М. Метеорологическое зондирование подстилающей поверхности из космоса. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 247 с.
10. Кондратьев К. Я. Спутниковая климатология. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 315 с.
11. Смоктий О. И. Моделирование полей излучения в задачах космической спектродоиметрии. – Л.: Наука, 1986. – 352 с.
12. Воробьев В. И., Фадеев В. С. Характеристики облачного покрова северного полушария по данным метеорологических спутников. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 174 с.
13. Глобальное поле облачности/Под ред. Л.Т. Матвеева. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 278 с.
14. Мак-Картни Э. Оптика атмосферы. – М.: Мир, 1979. – 424 с.
15. Атмосфера стандартная. ГОСТ 4401–81. М.: Изд. стандартов. 1981. – 180 с.
16. U. S. Standard Atmosphere. U. S. Government Printing Office, Washington, 1976. – 289 p.
17. Snejzys J. I. et al. – Env. Res. Paper, ATGL–TB–80–0067, 1980. № 697.
18. Justus C. C. et al. Four-I Global Reference Atmosphere Technical Description, Part–1. NASA US C–TMX–64871, Sept. 1974.
19. Greaves J. H., Sherr P. P., Glasser A. H. – Remote sensing environm., 1970, v. 1, № 2, p. 95–101.
20. Greaves J. R., Spiegler B. B., Willand I. H. Development of a global cloud cover model for simulating Earth–vies–wing space missions NASA contractor Report Or–61345, 1971.
21. Greaves J. H. – J. Appl. Meteorol., 1973, v. 12, № 1, p. 12–21.
22. Henderson-Sellers A., Hughes N. A., Wilson B. – Amer. Meteorol. Roc., 1981, v. 62, № 9, p. 1300–1307.
23. Hughes N. A., Henderson-Sellers A. – Int. J. Remote Sens., 1983, v. 4, № 1, p. 169–173.
24. Hughes N. A., Henderson-Sellers A. – Bull. Amer. Meteorol. Soc, 1985, v. 64, № 3, p. 250–257.
25. Бобровников В. Т. Математические модели облачности для априорного планирования наблюдений Земли из космоса, 1981, № 1, с. 83–89.
26. Borgel G. E. The nature and types of climatic classifications: an overview. Department of Geography, UCLA, 1969. – 89 p.
27. Комаров В. С., Ломакина Н. Я., Михайлов С. А. Статистические и аналитические модели высотного распределения малых газовых составляющих, атмосферы. Томск, 1986. – 29 с. (Препринт № 12/Томский филиал СО АН СССР).
28. Груза Г. В., Раньков Е. Я. – Метеорология и гидрология, 1972, № 2, с. 12–22.
29. Николаев Ю. В. Классификация гидрометеорологических процессов с помощью ЭВМ. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 36 с.
30. Груза Г. В., Рейтенбах Р. Г. Статистика и анализ гидрометеорологических данных. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 216 с.
31. Ременсон В. А. – В сб.: Метеорологические прогнозы, Л.: Изд. ЛПИ, вып. 82, 1983, с. 78–85.
32. Мирвис В. М. – Труды ГГО, вып. 330, 1975, с. 156–170.
33. Lund I. A. – J. of Appl. Meteorol., 1963, v. 2, p. 56–65.

34. Dyer T. G. S. — Quarterly Journal of the Royal Met. Soc, 1975, v. 101, p. 1005—1013.
35. Willmott C. J. — Archiv for Meteorol. Geophysic. and Bioclimatol., 1977, ser. B 24, p. 269—281.

Институт оптики атмосферы
СО АН СССР, Томск
Военный инженерный
краснознаменный институт
им. Можайского, Ленинград

Поступила в редакцию
20 апреля 1988 г.

V. S. Komarov, V. A. Rimenson. **Physico-Statistical Models for Atmospheric Optics Problems: Current Status and Outlook.**

Current Status and outlook for physicostatistical atmospheric models as applied to the design, development and use of optical sounding systems are discussed. Special emphasis is given to the general principles and postulates underlying the applied classification of the Earth's climates and construction of globally—regional models by means of taxonomic methods. As an example, the results of such a climatic zoning obtained for the Northern hemisphere on the basis of a comprehensive analysis of the altitude distribution of the pressure—temperature—humidity—ozone complex and the global cloudiness are considered. The parameters of the five-element climatic model of the atmosphere for a typical quasi-homogeneous region are presented.