

Влияние облачности на радиацию и климат

Кеда Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Введение

Облака являются наиболее изменчивой компонентой климатической системы и при этом играют ключевую роль в энергетике атмосферы. К числу наиболее актуальных разработок в области численного моделирования климата принадлежат: создание высокоразрешающих моделей для ограниченных пространственных масштабов, пригодных для параметризации динамики облачности в моделях климата; оценка вкладов облачно-радиационного воздействия (включая его суточный ход) и микрофизических процессов (с учетом роли аэрозоля) в формирование свойств и структуры облачного покрова; совершенствование алгоритмов восстановления характеристик облачности по данным дистанционного зондирования. Для решения перечисленных задач ниже будут рассмотрены методы расчета характеристик солнечной радиации (полусферических потоков, интенсивностей и поглощения), определения оптических характеристик облаков из данных радиационных измерений, влияние видов облаков на климат и методы изучения облачности планеты.

1. Влияние облачности на климат

Достаточно сложно понять поведение облаков. Исследователям лишь примерно удалось установить, как меняется облачность при повышении температуры, и как это влияет на климат.

Но новые экспериментальные разработки обещают помочь установить истину. Облака играют очень важную роль для климата. С одной стороны, они отражают в среднем 20% солнечного излучения, то есть с той стороны Земли, где день, они ее охлаждают. Научные расчеты показывают, что этот эффект очень значим. Если глобальная степень облачности увеличится примерно

на два процента, повышение степени отражения солнечных лучей может компенсировать потепление, вызванное высвобождением углерода в результате человеческой деятельности. Кроме того, облака также сдерживают около 10% термического излучения Земли как ночью, так и днем. Поэтому, так легко объяснить роль облаков в общей климатической системе. Кроме того, из-за недостатка информации об облаках, труднее делать прогнозы, насколько потеплеет на Земле в следствии парникового эффекта. Долгое время единственным источником сбора данных были наблюдения с Земли и полеты на воздушных шарах. Первые спутники 1960-х гг открыли новую эру в исследовании облаков. С их помощью ученые наконец-то получили общую картину облачности, зато перед ними встала другая проблема: если во время наблюдений с Земли не хватало данных о верхних слоях облаков, то во время наблюдений со спутника - о нижних слоях. Информация с радаров и спутников, а также собранная с помощью самолетов и кораблей, позволяет составлять прогнозы погоды. И, вопреки всему, в вопросах прогнозирования облачности и осадков прогресс незначителен. Все еще достаточно трудно понять природу облаков и отразить их образование и поведение путем компьютерного моделирования. За исключением сажи, частицы диаметром свыше 300 нанометров практически без исключения могут служить в качестве ядер конденсации для облачных капель.

Существует много видов облаков, которые по-разному отражают солнечные лучи и инфракрасное излучение с Земли, впитывают и выпускают их. Даже если из-за глобального потепления общая степень облачности относительно Земли не изменится, может измениться общее распределение видов облаков. В зависимости от этого, парниковый эффект может увеличиться или уменьшиться.

Именно это является одной из наибольших препятствий не только для прогнозирования погоды, но и для оценки уровня развития земного климата. Поэтому, собственно, в 2007 году Международная группа экспертов по изменению климата (IPCC-InternationalPanelonClimateChange) в своем докладе подтвердила, что эти ограниченные знания об образовании и поведении облаков является наибольшей погрешностью в прогнозировании глобального потепления. Наверняка мы знаем: с более теплой земли испаряется больше воды. Но это вовсе не означает, что облачность в целом увеличивается, ведь из-за высокой температуры воздуха она

может впитывать больше влаги. Кроме того, изменения климата зависят не только от изменений общей степени облачности.

Также имеются определенные изменения относительно распределения различных видов облаков. Толстые кучево-дождевые облака влияют на парниковый эффект, тонкие перистые облака имеют несколько меньшее влияние, а низкие тонкие слои облаков - почти не влияют. Эта неточность позволила Стефану Е. Шварцу (Stephen E. Schwartz) из Брукхейвенской национальной лаборатории (Brookhaven National Laboratory) в Аптон, Нью-Йорк, в 2008 году сделать вывод, что и по сей день мы не можем сказать наверняка, какое количество минеральных ресурсов следует использовать, чтобы достичь определенной верхней грани глобальной температуры.

Перисто-кучевые облака. Известны также как занавесные облака (облака-занавес), возникают тогда, когда большие массы теплого воздуха поднимаются, охлаждаются и конденсируют влагу. Таким образом, эти облака состоят преимущественно из кристаллов льда. Согласно последнему отчету Международной группы экспертов по изменению климата, для более влажных территорий характерно большее количество осадков, в то время как для засушливых - меньшее количество. Прямой связи между долговременными выбросами аэрозолей и парниковых газов, с одной стороны, и облаками и осадками - с другой, до сих пор не обнаружено. Прежде всего, это объясняется недостатком данных об аэрозолях и облаках. Надежные показатели измерений аэрозолей на поверхности имеются лишь недавно (в последние несколько десятилетий), и для немногих участков. Трехмерное моделирование глобального распределения пыли возможно лишь с помощью компьютерных технологий на основе измерений радиационного излучения на поверхности, а также на основе данных со спутников. Использование данных со спутников для анализа тенденций является, однако, проблематичным. Большинство спутников по наблюдению за атмосферой, предназначены для прогнозирования погоды, не требующей наличия стабильных сенсоров длительного назначения. Поэтому при переходе на новые системы спутников постоянно возникают сбои в измерениях, вследствие чего проблематичны четкие выводы о тенденциях, касающихся аэрозолей, облаков и радиационного баланса.

Перистые облака. Перистые облака - это облака, состоящие исключительно из льда, и находятся на значительной высоте.

Но даже при наличии качественных данных со спутников было бы очень трудно определить антропогенное воздействие человеческой деятельности на образование облаков. Причиной этого является собственные свойства атмосферы. В крупном масштабе нижние слои атмосферы ведут себя не стабильно. Через широкие горизонтальные и вертикальные переносы воздуха и тепла сильно варьируется тип и степень облачности. Выделить информацию о человеческом влиянии на данное метеорологическое варьирование можно только путем очень точных десятилетних измерений. Процессы регионального перемещения воздушных масс, как и термодинамические процессы, влияют не только на образование облаков, но и на твердые частицы, находящиеся в этих же воздушных массах. Поэтому облака и аэрозоли часто меняются параллельно друг другу. Это может вызвать ложное утверждение о том, что между свойствами пыли и облаков существует причинная связь. С другой стороны, вполне возможно, что процессы, происходящие в облаках, подвергаются воздействию антропогенных частиц пыли. Поэтому нельзя наверняка утверждать, каким образом частицы пыли влияют на альбедо облаков, степень облачности и осадков.

Большинство существующих на сегодня моделей климата описывают процессы, происходящие примерно в 100 километрах над определенным порядком величин. Этот отрезок не охватывает большую часть процессов, связанных с облаками. В свою очередь, эти процессы описываются поверхностно, с помощью формул, параметры которых вычисляются на основе процессов. При этом, наибольшую неудачу терпят попытки смоделировать влияние частиц аэрозолей на облака и климат, поскольку этот процесс на нижнем конце шкалы. Именно поэтому влияние аэрозолей на глобальное потепление до сих пор почти не изучено.

Аэрозоли и ледовые облака. Кроме газов, частиц аэрозолей и капель воды, в облаках встречаются кристаллы льда - прежде всего, когда они переохлажденные. При этом, их температура становится такой, что, вообще-то, вся вода должна замерзнуть. Но на самом деле, большое количество воды остается в жидком состоянии, из-за отсутствия центров кристаллизации. Незначительное количество кристаллов льда, находящихся в охлажденных облаках,

увеличивается за счет капель до тех пор, пока они не начнут падать, унося с собой другие кристаллы и капли. Внутри самих облаков, и на пути между облаком и земной поверхностью, они тают в теплой воздушной массе. Это - самый распространенный способ образования осадков. [1]

Слоисто-дождевые облака. Облака этого вида часто вызывают длительные дожди, и поэтому образуют голубовато-серую, плотную, почти без контуров массу.

Какие частицы аэрозолей могут быть кристаллизационными ядрами, и какие процессы в числе возможных способствуют образованию льда, - этот вопрос пока остается без ответа. Также метеорологам, почти ничего не известно о том, почему в холодных облаках гораздо больше мелких льдинок, чем их могут образовать кристаллизационные ядра. Этот вопрос особенно важен для изучения явления выпадения дождей в тропиках и средних широтах. Холодные облака трудно исследовать. Для самолетов они опасны, потому что могут быстро покрыть поверхность самолета слоем льда. Исследование таких облаков на расстоянии с помощью спутников также неполное, потому что разница размеров, форм и расположения кристаллов льда значительно влияют на трактовку расчетов. Франк Штратманн из Института Лейбница по исследованию тропосферы в Лейпциге вместе с другими учеными провел исследование поведения холодных облаков в лабораторных условиях. Но и здесь оказалось довольно сложно сделать выводы. Чистые ледовые облака (перистые) в большинстве случаев находятся ближе к верхней границе тропосферы - в слое воздуха на расстоянии 8-18 километров над поверхностью Земли, где и создаются погодные условия. На такой высоте температура часто достигает ниже 40 С по Цельсию. Как именно образуются ледовые облака, и как они влияют на климат, - все это в дальнейшем остается недостаточно изученным для того, чтобы использовать эту информацию для моделирования погоды и климата. Поскольку до перистых облаков очень трудно добраться, и учитывая ограниченные возможности для их изучения, для определения таких параметров как количество, протяженность, форма, порядок расположения и оптические особенности, - существует мало информации. Кроме того, очень мало известно о факторах, влияющих на их образование, как: относительная влажность или перемещение воздушных масс.

В крупных лабораториях облаков, таких как AIDA при Технологическом центре Карлсруэ, ученые исследуют условия формирования облаков в масштабе до десяти метров. При этом их в первую очередь интересует роль аэрозолей как ядер конденсации. Более глубокое понимание сущности ледяных облаков является очень важным, поскольку на их образование существенно влияет человеческая деятельность. Наибольшее движение воздушных масс наблюдается у верхней границы тропосферы. При благоприятных условиях перистые облака, обусловленные движением самолетов (хорошо известные полосы конденсации), могут укрывать значительные части неба в участках, где воздушное движение очень активно. Это в 2005 году в своих исследованиях выяснил Ульрих Шуман из Института атмосферной физики при Немецком центре авиационно-космического движения в городке Оберпфaffenхофен.

Поскольку облака, в следствии своего высокого альбеда играют критическую роль, но она до сих пор еще точно не определена в количественном отношении в энергобалансе земли, для более точного определения их влияния на климат необходимы новые методики. Они хотя и существуют, но до сих пор не были реализованы. Одна из них основывается на том, что часть месяца, на который не попадают прямые солнечные лучи, видно ночью из-за того, что на него падает солнечный свет, отраженный от Земли. Астрономы говорят в таком случае о пепельном лунном свете, отражающий альбеда нашей планеты. Как уже доказали в 2003 году ЭнрикПалле из Института астрофизики Канарских островов в Ла-Лагуна (Тенерифе), и Йонг КИУ из Государственного университета Монтаны, что в Бозман, данное явление годится для выявления изменений отражательной способности атмосферы, вызванных изменением климата. Эти изменения могут, между прочим, быть следствием изменений облачного покрова. Альбеда освещенной солнцем части измеряется спутником NASA DISCOVER, что обеспечивает длительное наблюдение. Он должен получить постоянное местонахождение на орбите - так называемую точку Лагранжа 1. [3]

Полосы конденсации. Авиационное движение также влияет на климат, поскольку при определенных условиях самолеты вызывают образование перистых облаков в форме полос конденсации.

К сожалению, спутник пылится на складе NASA, поскольку программа претерпела сокращений из-за дефицита бюджета. Тем не

менее, на орбите кружат прототипы спутников, такие как CloudSat, которые благодаря своим активным устройствам для измерения - в частности, лидара и радара - больше всех своих предшественников пригодны для определения трехмерного распределения частиц аэрозолей, облаков и осадков во всем мире. На показатели этих спутников должны в будущем ориентироваться все климатические и погодные модели. Следующее поколение спутников, которые сейчас находятся в стадии разработки, должна объединить классические методы измерений с новейшими, чтобы по каждому участку получить максимум информации об облачности.

Данная информация поможет ученым лучше понять природу облаков, что, в свою очередь, будет способствовать повышению точности климатических и погодных моделей. Ограничивающим фактором служит емкость доступных мэйнфреймов. Единственная на сегодня модель облаков NICAM с разрешением в несколько километров, является частью японского варианта моделирования Земли (Earth Simulator), до недавнего времени была самым быстрым компьютером в мире. С ее помощью можно моделировать процессы, происходящие в облаках, гораздо лучше, чем раньше, не прибегая при этом к аппроксимации. По мнению Уильяма Д. Колинза из Калифорнийского университета (Беркли), и Масаки Сато из Университета Токио, результаты первых процессов моделирования (симуляции) существенно отличаются от других моделей с большим масштабом, относительно связи между изменениями климата и облачностью. Что именно это означает, еще необходимо исследовать. На главный вопрос о том, как повлияет антропогенная изменение климата на облачность и осадки, и какие последствия это будет иметь для глобального энергетического баланса, четких ответов пока нет. Приблизиться к ним можно, только используя новые экспериментальные и теоретические подходы. Это требует активного взаимодействия многих ученых. Более детальные прогнозы относительно масштабов глобального потепления можно ожидать только тогда, когда мы лучше изучим и поймем механизм сложного взаимодействия облаков с другими элементами системы Земли. [2]

2. Влияние облачности на радиацию

Процесс переноса солнечного излучения в облаках описывается уравнением переноса, но в отличие от безоблачной атмосферы многократное рассеяние играет ведущую роль. Здесь мы рассматриваем только горизонтально однородную атмосферу. Применительно к облачному случаю это означает рассмотрение модели бесконечно-протяженного и однородного по горизонтали облачного слоя. В природе такой модели лучше всего соответствуют слоистообразные облака. Остановимся на свойствах слоистообразной облачности, которые позволяют использовать описанные теоретические методы в применении к реальной облачности. [1]

К слоистообразным облакам нижнего яруса относят слоистые (St), слоисто-кучевые (Sc), слоисто-дождевые (Ns) облака, к слоистообразным облакам среднего яруса – высококучевые (Ac), высокослоистые (As) и к слоистообразным облакам верхнего яруса – перисто-слоистые (Cs), а также фронтальные системы облаков Ns–As, As–Cs, Ns–As–Cs. Протяженные слоистообразные облака играют важную роль в цепочке обратных связей климатической системы, существенно влияя на альбедо и радиационный баланс системы подстилающая поверхность – атмосфера, а также общую циркуляцию атмосферы. Слоистообразные облака, распространяясь на огромные пространства, могут воздействовать на изменение радиационного баланса Земли не только в региональном, но и в глобальном масштабе.

Альбедо облаков значительно выше, чем альбедо океана или суши без снежного покрова. Опираясь на этот факт и полагая, что облака препятствуют нагреванию подстилающей поверхности и подоблачного слоя атмосферы в низких и средних широтах, обычно заключали, что облачность вносит отрицательный вклад в радиационный баланс Земли. При этом в высоких широтах облака не усиливают отражения света, так как альбедо снежной поверхности тоже велико, в этом случае предполагается их преобладающая роль в нагревании атмосферы.

Однако в последние десятилетия выяснилось, что ситуация более сложная: облака сами поглощают некоторую часть падающей на них солнечной радиации, способствуя тем самым нагреванию атмосферы на всех широтах. Таким образом, на первый план в

исследовании слоистообразных облаков выходит проблема взаимодействия облачности и радиации. Для построения численных радиационных моделей облачности требуется задание адекватных оптических моделей (т.е. вполне соответствующих природе рассматриваемого явления), поэтому возникает необходимость определения оптических параметров облаков: объемных коэффициентов рассеяния и поглощения. Атмосферные аэрозоли, включаясь в процессы взаимодействия коротковолновой солнечной радиации и облачности, играют неоднозначную роль в формировании теплового режима атмосферы и подстилающей поверхности. При этом выделяют “прямое” и “непрямое” воздействие атмосферных аэрозолей. Прямое воздействие вызвано поглощением солнечной радиации сажевым и другими атмосферными аэрозолями. Непрямое воздействие объясняется тем, что атмосферные аэрозоли, особенно гигроскопичные, необходимы для конденсации водяного пара и образования капель. Поэтому более высокая концентрация аэрозолей увеличивает количество капель, а значит и оптическую толщину облака, что в свою очередь усиливает отражение солнечной радиации и уменьшает ее поглощение в атмосфере и на поверхности Земли. Из результатов самолетных радиационных наблюдений последнего десятилетия было выявлено, что влияние прямого и непрямого аэрозольных эффектов на увеличение или ослабление поглощения солнечной радиации различно в разных регионах и в разных облаках. [4]

В работе в результате детального анализа роли парникового эффекта в глобальном изменении климата подчеркивается, что на современном этапе невозможно правильно оценить радиационное воздействие облаков и аэрозолей на глобальное потепление.

Как справедливо отмечено при изучении характеристик облаков по результатам какого-либо эксперимента необходимо четко представлять себе, что получаемые характеристики и параметры облачности относятся именно к данной реализации в данный период времени. Тем не менее, наблюдается определенная повторяемость отдельных параметров слоистообразной облачности, характерная для отдельных климатических зон. Так например, преимущественная высота слоистообразных облаков в полярной и умеренной зонах находится в пределах 2 км, в тропической зоне – 3 км.

В атмосфере при образовании и прохождении атмосферного фронта слоистообразные облака, которые находятся на расстоянии не более 200 км от приземной линии фронта, называются фронтальными. По данным спутниковых наблюдений, ширина фронтальной зоны в Центральной Европе может достигать 1000 км. Длина этой зоны составляет 7000 км. Облачные зоны расчленены на макроячейки размером несколько сотен километров, которые в свою очередь состоят из облачных полос или сплошного поля, имеющего неоднородные по плотности ячейки облачной массы размером в десятки километров, .

Поля облаков верхнего яруса размером менее 200 км типичны для холодного фронта, а размером от 500 до 600 км – для теплого фронта.

Наиболее часто встречаются фронтальные облака нижнего яруса с горизонтальными размерами в пределах 50 км в условиях холодного фронта и 75 км в условиях теплого. При исследовании слоистообразной облачности вполне правомерно моделировать ее бесконечно протяженными в горизонтальном направлении слоями. Кроме того, слоистообразная облачность является весьма стабильной во времени, поэтому описываемый ниже метод определения ее оптических параметров, основанный на наземных измерениях потока солнечной радиации для разных зенитных углов Солнца (т.е. в разные моменты времени с промежутком ~ 1–2 часа), оказывается возможным применять на практике[4].

Заключение

В современной климатологии большое значение играет изучение облаков и их влияние на климат Земли и солнечное излучение. Облака в зависимости от своего расположения в атмосфере выполняют разные функции. К слоистообразным облакам нижнего яруса относят слоистые (St), слоисто-кучевые (Sc), слоисто-дождевые (Ns) облака, к слоистообразным облакам среднего яруса – высококучевые (Ac), высокослоистые (As) и к слоистообразным облакам верхнего яруса – перисто-слоистые (Cs), а также фронтальные системы облаков Ns–As, As–Cs, Ns–As–Cs. Протяженные слоистообразные облака играют важную роль в цепочке обратных связей климатической системы, существенно влияя на альбедо и радиационный баланс системы подстилающая

поверхность – атмосфера, а также общую циркуляцию атмосферы. Слоистообразные облака, распространяясь на огромные пространства, могут воздействовать на изменение радиационного баланса Земли не только в региональном, но и в глобальном масштабе.

Таким образом, на первый план в исследовании слоистообразных облаков выходит проблема взаимодействия облачности и радиации. Для построения численных радиационных моделей облачности требуется задание адекватных оптических моделей, поэтому возникает необходимость определения оптических параметров облаков: объемных коэффициентов рассеяния и поглощения.

Литература

1. Дорожная климатология: учебник для студентов специальности "Автомобильные дороги" учреждений, обеспечивающих получение высшего образования / Белорусский национальный технический университет. - Минск: БНТУ, 2005. - 483, [1] с;
2. Глобальное потепление: Докл. Гринпис: Пер. с англ. / Д.Леггетт, С.Шнайдер, Д.Вудуэлл и др.. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. - 272 с.;
3. Ч. 1.: Метеорология, аэрология и климат. Ч. 2. Агрометеорология. Т. 7. Белорусская ССР, вып. 3-4 (за 1964-1966 гг.) - 152 с.;
4. Комплексный анализ турбулентности, облачности и осадков с использованием радиозондовых, станционных и радиолокационных измерений: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук: 11.00.09 / Толмачева Наталья Игоревна. - Пермь, 2000. - 15 с.