

ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС: МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

УДК551.51
ББК 28.08

Л.С. Ивлев

АЭРОЗОЛИ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Обсуждается влияние аэрозолей природного и антропогенного происхождения на климатические процессы. Показано, что учёт аэрозольного воздействия на климат в настоящее время выполнен недостаточно корректно в первую очередь из-за неточности сведений о процессах генерации и физико-химических свойствах атмосферных аэрозолей. Изложено современное состояние знаний по этим вопросам.

Ключевые слова:

альbedo, вулканический материал, глобальные изменения климата, природные и антропогенные аэрозоли, стратосфера, сульфаты, фазовые переходы воды.

Климатическая система Земли существенно изменилась за время, прошедшее с начала промышленной революции, причем некоторые из изменений имеют явно антропогенное происхождение, что делает необходимым получение объективной информации об изменениях климата, их воздействиях и возможной реакции на изменения [24].

Для диагностики наблюдающихся изменений и изменчивости климата необходимо знать, насколько значительно и необычно существующее глобальное потепление; наблюдаются ли существенные изменения общей циркуляции атмосферы и океана, а также осадков и влагосодержания атмосферы; какова роль терригенных аэрозолей в климатических процессах и как быстро изменялся климат в далеком прошлом [5; 6; 8; 34].

Бесспорны изменения в составе атмосферы: увеличение содержания углекислого газа, аэрозоля ряда парниковых газов (ПГ) и, возможно, уменьшение содержания стратосферного озона, а также изменение структуры поля облачности.

Надёжно установлены факты 1) прогрева приземного воздуха, сопровождающиеся потеплением тропосферы и похолоданием стратосферы (спад восходящего потока длинноволновой радиации от тропосферы); 2) более быстрое потепление на суше, чем в океане; 3) более быстрое

потепление в высокогорных районах (за счет «альбедной» обратной связи); 4) выхолаживание атмосферы, обусловленное аэрозолями, сдерживающее повышение приземной температуры воздуха (ПТВ); 5) возрастание среднеглобального содержания водяного пара в атмосфере, усиление осадков и испарения, а также интенсификация глобального круговорота воды; 6) интенсификация «режима Эль Ниньо», что сопровождается сдвигом зон осадков на восток; 7) ослабление термохалинной циркуляции (ТНС), порождающее ослабление потепления в Северной Атлантике [8; 22]; 8) интенсивное проникновение потепления в глубину океана в высоких широтах.

Эти факты в изменении глобального климата далеко не всегда согласуются с концепцией антропогенного «глобального потепления» [23]. В частности, существует неадекватность моделей климата применительно к условиям Арктики [27]. В большинстве случаев рассчитанные тренды атмосферных характеристик слабее наблюдаемых. Вычисленное потепление климата оказалось наиболее значительным осенью над Арктическим океаном, тогда как наблюдаемое потепление сильнее всего проявлялось зимой и весной над континентами. В последние десятилетия наблюдается пространственное распространение погодных аномалий на многие регионы Земли.

Большинство моделей, в которых учтены как парниковые газы, так и сульфатные аэрозоли, согласуются с данными наблюдений за последние 50 лет. Однако модельные расчеты не объясняют потепление климата при учете только антропогенных факторов, и оказываются вполне адекватными, если принять во внимание как природные, так и антропогенные воздействия [8].

Возможно, что хорошее согласие рассчитанного и наблюдаемого векового хода ПТВ в значительной степени обусловлено случайной взаимной компенсацией погрешностей. Иллюстрацией неадекватности результатов численного моделирования являются их расхождения с наблюдениями относительно изменений температуры у земной поверхности и в свободной тропосфере. Согласно моделям, повышение температуры в тропосфере должно быть более быстрым, чем вблизи земной поверхности, тогда как наблюдения за период 1979–2000 гг. показывают, что повышение температуры в свободной тропосфере происходит более медленно, а, возможно, и отсутствует вообще, что может объясняться терригенной природой аэрозолей, имеющих значительное время жизни, особенно при вулканических извержениях.

Необходимо учитывать два противоположных фактора: антропогенно обусловленное потепление за счет роста концентрации CO_2 (усиления парникового эффекта) и похолодание, порожденное чисто рассеивающим сульфатным аэрозолем [7]. Численное моделирование климата привело к выводу, что наблюдавшиеся изменения теплосодержания океана можно объяснить главным образом ростом концентрации парниковых газов в атмосфере, но имеется большая неопределенность оценок РВВ за счет сульфатного аэрозоля и вулканических извержений. Следовательно, основной причиной неадекватности моделей климата [5; 6; 24] является неучет роли атмосферных аэрозолей, а также того обстоятельства, что климатическая система открыта по отношению к внешним космическим воздействиям. Согласие наблюдений и расчетов представляет собой результат подгонки, даже с точки зрения одного лишь климатообразующего фактора – атмосферных аэрозолей. В модельных расчетах практически не учитывается, что аэрозоли – не только рассеивающий, но и поглощающий компонент атмосферы [2; 4; 14; 15; 16].

Внезапные изменения климата особенно существенны в периоды перехода кли-

мата из одного состояния в другое, которые могут инициировать тектонические, в частности, вулканические процессы. Это, как и антропогенные воздействия на климат, может способствовать смещению климатической системы в сторону порогового уровня, что повышает вероятность внезапных изменений климата.

Трудности более долговременного предсказания катастрофического явления обусловлены хаотичностью тектонических процессов в сложно построенной земной коре, многообразием физических процессов, трудным учётом триггерных механизмов малых внешних возмущений, ведущих к взрывному развитию явления. Оптимистично настроенные исследователи считают, что можно использовать экспериментально установленные факты возникновения предвестников в очаге будущего землетрясения или вулканического извержения, а также успехи теории вероятностного прогноза катастрофы в условиях детерминированного хаоса.

Естественные и антропогенные факторы изменения климата. Некоторые результаты в области исследований изменения глобального климата не согласуются с концепцией антропогенного «глобального потепления». В частности, существует неадекватность моделей климата применительно к условиям Арктики. В большинстве случаев рассчитанные тренды атмосферных характеристик слабее наблюдаемых. Вычисленное потепление климата оказалось наиболее значительным осенью над Арктическим океаном, тогда как наблюдаемое потепление сильнее всего проявлялось зимой и весной над континентами. В последние десятилетия наблюдается пространственное распространение погодных аномалий на большие регионы, включая весь земной шар.

Усиление потепления климата в высоких широтах СП – характерный признак антропогенно обусловленного глобального потепления. Из анализа данных прямых измерений ПТВ на станциях «Северный Полюс» за 30 лет и дендроклиматических косвенных данных за последние 2–3 столетия следует, что упомянутого однородного усиления потепления не наблюдалось, а изменения климата как последнего столетия, так и десятилетий характеризовались сильной пространственно-временной неоднородностью: в Арктике одновременно формировались регионы как потепления, так и похолодания климата [19; 20].

Модельные расчеты не объясняют потепление климата при учете только ан-

тропогенных факторов, но оказываются вполне адекватными, если принять во внимание как природные, так и антропогенные воздействия (за счет парниковых газов и сульфатного аэрозоля). Численное моделирование реакции на только природные возмущающие воздействия не объясняет потепления во второй половине XX-го века. Этот вывод основан на анализе результатов численного моделирования изменения среднеглобальной ПТВ за последние 50 лет, из которых следует, что учет природно обусловленных возмущающих воздействий (солнечная активность, вулканические извержения) продемонстрировал похолодание климата (главным образом за счет крупных извержений, происшедших в 1982 и 1991 гг.), что позволило считать мало вероятным влияние лишь природных факторов климата [9].

По данным спутниковых наблюдений (начиная с 1979 г.), тренд среднеглобальной температуры нижней тропосферы (0–8 км) составил $+0,07^{\circ}\text{C}/10$ лет [9; 10]. Согласно данным аэрологических зондирований, имело место повышение среднеглобальной температуры нижней тропосферы, составившее около $0,03^{\circ}\text{C}/10$ лет и значительно уступающее росту ПТВ (примерно $0,15^{\circ}\text{C}/10$ лет) [14].

Авторы [14] выполнили численное моделирование изменений ПТВ с учетом наблюдавшегося роста концентрации ПГ и заданного повышения содержания сульфатных аэрозолей в тропосфере, влияние которого оценено путем эквивалентного изменения альbedo земной поверхности. Рассчитанное значение ПТВ составило $-0,2^{\circ}\text{C}$ и было обусловлено главным образом изменениями условий облачности и влажности почвы.

Пространственная структура и изменчивость высоты тропопаузы, определяемой по «холодной точке» (минимуму температуры) вертикального профиля температуры, определяются главным образом волнообразными флуктуациями, подобными волнам Кельвина.

Таким образом, необходимо учитывать всегда два противоположных фактора: антропогенно обусловленное потепление за счет роста концентрации CO_2 (усиления парникового эффекта) и похолодание, порожденное чисто рассеивающим сульфатным аэрозолем. Согласие наблюдений и расчетов представляет собой результат подгонки и в действительности отображает расхождение, а не согласие, которого не может быть по определению. Даже с точки зрения одного лишь климатообразую-

щего фактора – атмосферных аэрозолей. Давно и хорошо установлен тот факт, что аэрозоли – не только рассеивающий, но и поглощающий компонент атмосферы [5–7; 14–16]. Современные модели климата неадекватны [1–3; 13; 17; 18], что побуждает рассматривать их как всего лишь первоначальный этап развития численного моделирования климата.

Из некоторых оценок следует, что роль CO_2 как ПГ может сравняться с вкладом метана и окажется существенной также как фактор снижения качества воздуха на большей части СП. Концентрация метана в атмосфере возросла по сравнению с имевшей место (по косвенным данным) в 1750 г. в 2,5 раза и продолжает увеличиваться. Особый интерес представляет динамика закиси азота, включая проблему палеовариаций. Анализ динамики круговорота N_2O за последние 106 тыс. лет, приводит к выводу, что к концу последнего периода оледенения океанические выбросы N_2O в атмосферу возросли на $40 \pm 8\%$, что имеет важное значение для процесса круговорота углерода.

В последние десятилетия наблюдается пространственное распространение погодных аномалий на большие регионы, включая весь земной шар. Поэтому исключительно важное значение имеют дальнейшие исследования различных мод общей циркуляции атмосферы и океана и соответствующее совершенствование моделей общей циркуляции. В регионах холодного климата образование снежного покрова сопровождается сильным ростом альbedo, что благоприятствует дальнейшему похолоданию (так называемый «альбедный эффект»). Существенные климатические обратные связи ассоциируются с динамикой термохалинной циркуляции.

Численное моделирование климата привело к выводу, что наблюдавшиеся изменения теплосодержания океана можно объяснить главным образом ростом концентрации парниковых газов в атмосфере, но имеется большая неопределенность оценок РВВ за счет сульфатных аэрозолей и вулканических извержений [6; 7; 18].

Внезапные изменения климата особенно существенны в периоды перехода климата из одного состояния в другое. Поэтому если антропогенные воздействия на климат могут способствовать смещению климатической системы в сторону порогового уровня, то это означает возможность повышения вероятности внезапных изменений климата. При этом, важное значение имеет не только величина, но и

скорость антропогенного воздействия на климатическую систему. Более быстрое потепление климата должно способствовать более сильному ослаблению термохалинной циркуляции, что благоприятствует ускорению смещения к пороговому уровню изменений климата (в этих условиях динамика термохалинной циркуляции становится менее предсказуемой). Трудности идентификации и количественной оценки всех возможных причин внезапных изменений климата, низкая предсказуемость вблизи пороговых уровней свидетельствуют о том, что проблема внезапных изменений климата будет всегда отягощена более серьезными неопределенностями, чем проблема медленных изменений [17; 18].

Особый интерес в плане внезапных изменений климата представляют аэрозоли, возникающие в результате глобальных катастрофических явлений, которые могут служить спусковым механизмом внезапного изменения климата, и, которые практически всегда связываются с солнечным влиянием на земные процессы [2]. Физические механизмы этого влияния далеко не всегда ясны. Хотя достаточно основательно рассмотрены проблемы взаимодействия солнечных радиационных потоков на земные магнитосферу, ионосферу, атмосферу и подстилающую поверхность, однако процессы гравитационного и, возможно, электрического взаимодействия Солнца и Луны с внутренней частью Земли исследованы совершенно недостаточно. Учитывая массу взаимодействующих при этом объектов, а, следовательно, и энергетику происходящих в ней процессов, важность этих взаимодействий очевидна.

Например, вклад терригенных аэрозолей, возникающих при различных тектонических процессах и при выветривании почвы, в общее содержание атмосферных аэрозолей составляет примерно 40%. Но для больших высот ($z > 10$ км), где влияние рассеивающего солнечную радиацию фактора на радиационный режим атмосферы существенно, этот вклад может быть больше, в первую очередь за счёт аэрозолей вулканического происхождения. Причём особый интерес представляют аэрозоли, возникающие в результате глобальных катастрофических явлений, во время мощных вулканических извержений эруптивного типа, вносящие наиболее существенный вклад в изменчивость оптических характеристик атмосферы и, следовательно, – в глобальные изменения климата [7; 8; 23; 24; 27], и связаны с солнечным влиянием на климат Земли [2]. Выбранный в

стратосферу вулканический материал по актинометрическим наблюдениям существует в ней более года, то есть наблюдается флуктуации радиационного и температурного режима в средней атмосфере длительностью не менее года. Причём влияние аэрозолей как ядер конденсации на образование облачных систем и изменение глобального альbedo планеты Земля может быть существеннее, чем просто рассеивающего и поглощающего солнечную радиацию материала в разных слоях атмосферы. В нижних слоях атмосферы выделение и поглощение теплоты фазовых переходов по величине сравнимы с радиационными эффектами. При этом возникают динамические процессы, которые ещё более усложняют физическую картину.

Собственно пылевые частицы опускаются до тропосферы за несколько месяцев в зависимости от размеров частиц и высоты их выброса. Однако практически наблюдаемая более длительная замутнёность стратосферы обусловлена в первую очередь длительными процессами образования аэрозольных частиц очень малых размеров из газовой фазы вулканического материала (сернистый газ, водяной пар, хлориды, окислы азота и т.п.) [7]. Другой причиной длительного существования аэрозольного материала в высоких слоях атмосферы являются последовательные интенсивные извержения одного или нескольких вулканов после первого мощного извержения. В частности, наблюдается определённая связь между солнечной активностью – количеством солнечных пятен и извержениями, а также между вулканической активностью и изменением скорости вращения Земли. Для исследования последней были использованы данные, представленные в монографии [11].

Устанавливалась связь амплитуды вулканической активности (учитывающей число мощных извержений и их балльность) и скорости изменения частоты вращения Земли $\Delta v / \Delta t$. Для данных с 1860 по 1886 г. наблюдается сильная корреляция между изменениями скорости вращения и интенсивностью эруптивных извержений. Предположительно основными внешними (геофизическими и космическими) факторами триггерного воздействия на возникновение землетрясений и вулканических извержений могут являться: 1) солнечная активность, 2) скорость вращения Земли, 3) земные приливы, 4) различные геомагнитные явления и 5) метеорологические факторы.

Космические факторы, в частности ротационные силы, создают очень слабые напряжения, не превышающие 0,1 Па, а приливные силы в результате взаимодействия Луны, Солнца и Земли провоцируют напряжения до 10 Па. Ось вращения Земли испытывает периодические колебания и вынужденную нутацию с гармониками, обусловленными относительными положениями Солнца, Луны и Земли, основные из которых имеют периоды 13,7 суток, 27,6 суток, 6 месяцев, 1 год, 18,6 лет. Гармоника с периодом 18,6 лет имеет максимальную амплитуду $\cong 9''$. К этим колебаниям добавляются колебания, связанные со свободной периодической прецессией Земли – Чандлеровский период (1,2 года), а также кратные и почти кратные ему, и однолетний цикл, связанный с сезонной циркуляцией.

Из Фурье-анализа гармоник индекса SOI, выполненных в [9], следует, что основными гармониками угловой скорости вращения Земли (больше 1,5 года) являются: 1–2,1; 2–2,54; 3–2,74; 4–3,58; 5–4,58; 5–6,07; 7–10,4; 8–11,9; 9–18,7. Первые четыре связаны со свободной нутацией Земли, 6-я и 9-я – со взаимодействием с Луной, 7-я соответствует цикличности солнечной активности, 8-я обусловлена взаимодействием с Юпитером, 5-я – неясно. Цикличность угловой скорости вращения Земли вокруг своей оси с периодами в 2,1, 2,4, 2,8, 3,6, 6 лет, соответствующая гармоникам 1, 2, 3, 4, 6 вызвана чередующимися явлениями Эль-Ниньо или возникновение Эль-Ниньо связано со свободной нутацией Земли. На свободную нутацию Земли накладывается в первую очередь её взаимодействие с Луной. Также присутствуют гармоники, связанные с Солнцем и обусловленные, видимо, вращением Юпитера вокруг Солнца, периодичность которого должна отражаться на Солнце. Известно, что в спектре временного хода чисел Вольфа присутствует помимо 11-летнего цикла солнечной активности ещё и близкий к нему цикл, связанный с движением Юпитера. Гармоника 8 является достоверной и большой по амплитуде, не взирая на то, что погрешность её определения невысока. С учётом погрешности её можно причислить к влиянию Солнца (влияние основного 11-летнего цикла солнечной активности). В свою очередь Эль-Ниньо должно влиять на тектонические напряжения в земной коре: движения океана и атмосферы вносят коррекцию в скорость вращения Земли вокруг своей оси. Вероятно, механизм явления Эль-Ниньо – это

возникновение сильного толчка, приводящего к появлению течений, переносящих тепло на запад Тихого океана вследствие изменения параметров гравитационного взаимодействия Земли с другими телами Солнечной системы [9]. Обладая упругостью, Земля под влиянием приливообразующих сил деформируется, и внутри нее происходит перераспределение масс, обуславливая возникновение дополнительных сил. Такое возмущение индуцирует дополнительный гравитационный потенциал, возникающий от соответствующих деформаций.

Существует большое количество факторов, вызывающих изменения локальных полей напряжений. Например, постоянно действующая сила гравитации, которая не производит тектонической работы, но влияет на формирование местного поля напряжений. Дополнительные источники напряжений в земной коре связаны с участками разогрева, местного плавления, вулканизма. Возникающие при этом термонапряжения действуют на ограниченном пространстве, искажая более обширное поле напряжений, и могут быть причиной триггерных процессов сброса напряжений.

В последние годы развиваются идеи о значительно более важной роли процессов дегазации ядра Земли в ряде геофизических и метеорологических явлений [11], чем это принято считать: наличие на Земле постоянных бароцентров, аномальные атмосферные явления, корреляционно связанные с геофизическими

В [6] рассматривается связь с вулканическими процессами. Особенно важными для развития математических моделей тектонических процессов являются гипотезы о более высокой подвижности тектонических плит, чем принято (вместо 0,1–1 мм/год – десятки см/год [11]), а также пульсационная (гидридная) теория увеличения и уменьшения объёма Земли при её постепенном расширении.

Как уже утверждалось ранее, наиболее существенный вклад в изменчивость оптических характеристик атмосферы вносят мощные вулканические извержения эруптивного типа, для которых наблюдается определённая связь между солнечной активностью – количеством солнечных пятен и извержениями. Масс-спектрометрический анализ выбрасываемого вулканического материала показывает, что вода составляет 95% от всех газов вулканического происхождения. Очевидно, во время тектонических процессов морская вода в

случае быстрого «катастрофического» раздвижения участка коры и образовании гигантской полости заполняет последнюю. Заполнение этой полости водой, а не магмой, обладающей значительно большей вязкостью, реализуется при расслаивании и разломе плиты. Последующий нагрев воды и высокое давление среды ведут к изменению физико-химических свойств воды: она приобретает свойства кислоты и растворяет дно и потолок плиты, утоньшая их до состояния, в котором возможен прорыв водой, находящейся в сверхкритическом состоянии.

Тренд общего содержания аэрозолей в атмосфере. Анализ данных по аэрозольным загрязнениям с 1980 по 1990 гг. обнаруживает определённую тенденцию уменьшения содержания аэрозолей в этот период. Возможно, это обусловлено падением общего содержания аэрозолей после извержений вулканов Сант-Хеленс и Эль-Чичон. В то же время обнаруживается тенденция убывания концентрации взвешенных веществ в воздухе зарубежных городов Калькутты, Афин, Мадрида, Милана за десятилетний период с 1975 по 1985 гг. [1]. Сопоставление этих результатов позволяет сделать вывод, что убывание концентрации аэрозолей имеет явно не антропогенное происхождение, поскольку объём антропогенных выбросов в мире в 80^х годах почти не уменьшался.

Если полагать, что в данном случае существенно уменьшается фоновая компонента, обусловленная естественными природными процессами, то полученный результат отражает многолетнюю динамику существования атмосферных аэрозолей.

Данные многолетних рядов наблюдений свидетельствуют о наличии волнообразных изменений концентрации аэрозолей в нижней атмосфере, обусловленных естественными причинами, период колебаний которых близок к известному 11-летнему циклу. Анализ возможных причин появления длительных трендов счетной концентрации аэрозолей свидетельствует, что убывание концентрации антропогенных аэрозолей объясняет не более 15% изменения их величины, при общем изменении в несколько раз. Анализ других причин такой цикличности привел к выводу, что они создаются многолетней изменчивостью общей циркуляции атмосферы и, в частности, перестройкой зональной компоненты на меридиональную. Уменьшение счетной концентрации аэрозолей над территорией Западной Сибири в период

с 1984 по 1990 гг. сопровождалось уменьшением над этой территорией количества восточных форм циркуляции и небольшим ростом западной и меридиональных форм. Данные за 1983 и 1991 гг. отклоняются от этой тенденции. Аналогичный вывод можно сделать, обратившись к индексам циркуляции Каца: падение концентрации аэрозолей происходит на фоне общего роста интенсивности зональной формы циркуляции при относительно небольших вариациях интенсивности меридиональной.

Тренд концентрации аэрозолей в середине 80-х годов был обусловлен циркуляционными процессами: увеличением повторяемости и интенсивности зональной западной циркуляции при повышении повторяемости меридиональной циркуляции без существенного изменения ее интенсивности. Это подтверждается и ростом индекса циркуляции Блиновой, который представляет собой отношение линейной скорости движения воздуха вдоль круга широты к расстоянию до оси вращения Земли. Этот индекс с 1984 по 1989 гг. вырос с 34 до 42, т.е. интенсивность зональной циркуляции в этот период возрастала. При усилении интенсивности западного зонального потока над Уральскими горами увеличивается вероятность образования высотного гребня давления, который выполняет блокирующую роль. На территорию Западной Сибири начинают поступать воздушные массы с Северного Ледовитого океана по ультраполярным траекториям. На фоне усиления интенсивности западной зональной циркуляции одновременно имеет место повышение повторяемости блокирующих процессов над Уралом с 16% в 1983 г. до 30% в 1988 г. Отсюда следует, что тренд концентрации аэрозолей обусловлен сложением двух процессов: 1) повышением повторяемости умеренных воздушных масс, поступавших с Атлантического океана по зональным траекториям, и 2) изменением траектории арктических масс, которые попадали на территорию Западной Сибири не через Европейскую территорию России, а по ультраполярным (меридиональным) траекториям с Карского моря. Поэтому арктические массы были более чистыми [1].

Такой вывод следует также из анализа данных химического состава аэрозолей. За рассматриваемый период в составе аэрозолей значительно возросло содержание NH_4^+ , и Na^+ , которые относятся к морским аэрозолям. Из роста этих компонентов можно исключить антропогенный фактор.

Окончание следует

- [1] Белан Б.Д., Толмачев Г.Н. Временная изменчивость аэрозоля над Западной Сибирью в тропосфере // *Оптика атмосферы и океана*. Т.9. – 1996, № 1. – С. 99–105.
- [2] Ивлев Л.С. Начала физики погоды- и климатообразования. Ч. 1. Т. 2. Влияние аэродисперсных систем на динамические и другие климатообразующие процессы в атмосфере. Природные и техногенные аэрозоли. – СПб.: ВВМ, 2009. – 285 с.
- [3] Ивлев Л.С., Волгин В.М. Вулканы, как тепловые машины // *Международная конференция «Естественные и антропогенные аэрозоли. VI. 7–10.2008 г.» / Сборник трудов*. – СПб.: ВВМ, 2009. – 89–93 с.
- [4] Ивлев Л.С. Кондратьев К.Я. Хворостовский С.Н. Влияние космического мусора на состав, оптические свойства и физические процессы в верхней и средней атмосфере // *Оптический журнал*. Т. 68. – 2001, № 4. – С. 3–12.
- [5] Кондратьев К.Я. Глобальные изменения климата: данные наблюдений и результаты численного моделирования // *Исследования Земли из космоса*. – 2004, № 2, С. 61–96.
- [6] Кондратьев К.Я., Ивлев Л.С. О воздействии антропогенного аэрозоля на климат // *Доклады АН*. Т. 340. – 1995, № 1. – С. 98–100.
- [7] Кондратьев К.Я., Ивлев Л.С., Крапивин В.Ф. Свойства, процессы образования и последствия воздействий атмосферного аэрозоля: от нано – до глобальных масштабов. – СПб.: ВВМ, 2007. – 858 с.
- [8] Маккитрик Р. Тренды в данных о температуре воздуха, полученные с учетом внутренне обусловленной корреляции // *Изв. Русского геогр. об-ва*. Т. 134. – 2002, вып. 3. – С. 16–24.
- [9] Никольский Г.А., Черкасов А.А. Факторы, формирующие Эль-Ниньо, связанные с движением Земли // *Материалы между. конференции «Естественные и антропогенные аэрозоли» 29.09–04.10.1997*. – СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 1998. – С. 73–82.
- [10] Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 366 с.
- [11] Сывороткин В.А. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. – М.: Геоинформцентр, 2002. – 250 с.
- [12] Anastasio C., Martin S.T. Atmospheric nanoparticles // *Rev. Miner. And Geochem*. V. 44. – 2001. – P. 293–349.
- [13] Angell J.K. Effect of exclusion of anomalous tropical stations on temperature trends from a 63-station radiosonde network and comparison with other analyses // *J. Climate*. V. 16. – 2003, № 13. – P. 2288–2295.
- [14] Christy J.R., Spencer R.W. Reliability of satellite data sets // *Sci*. V. 301. – 2003, № 5636. – P. 1046–1047.
- [15] Collins M., Senior C.A. Projections of future climate change // *Weather*. V. 57. – 2002, № 8. – P. 283–287.
- [16] Essex C., McKittrick R. Taken by Storm. The Troubled Science, Policy and Politics of Global Warming. – Toronto: Key Porter Books, 2002. – 320 p.
- [17] Haigh J.D. Climate variability and the influence of the Sun // *Sci*. V. 294. – 2001, № 5549. – P. 2109–2111.
- [18] Han J.-H., Hung H.-M., Martin S.T. Size effect of hematite and corundum inclusions on the efflorescence relative humidities of aqueous ammonium nitrate particles // *J. Geophys. Res*. V. 107. – 2002, № 9–10. – P. AAC3/1–AAC3/10.
- [19] Hanson D.R., Eisele F.L. Measurement of prenucleation molecular clusters in the NH₃, H₂SO₄, H₂O system // *J. Geophys. Res*. V. 107. – 2002, № D12. – P. AAC10/1–AAC10/18.
- [20] Heintzenberg J., Okada K., Luo B.P. Distribution of optical properties among atmospheric submicrometer particles of given electrical mobilities // *J. Geophys. Res*. V. 107. – 2002, № D11. – P. AAC2/1–AAC2/10.
- [21] Jaworowski Z. Sun rules the climate // *21st Century Science and Technology*. Winter 2003/2004. – 2003. (In print).
- [22] Kondratyev K.Ya. *Multidimensional Global Change* // Chichester, U.K.: Wiley/PRAXIS, 1998. – 761 pp.
- [23] Kondratyev K.Ya. Key issues of global change at the end of the second millennium // *Our Fragile World: Challenges and Opportunities for Sustainable Development*. V. 1. – EOLSS Vorruner, 2001. – P. 147–165.
- [24] Kondratyev K.Ya., Cracknell A.P. *Observing Global Climate Change*. – L.: Taylor & Francis, 1999. – 562 p.
- [25] Lean J., Rind D. Earth's response to a variable Sun // *Sci*. – 2001, v. 292. – P. 234–236.
- [26] Metzger S., Dentener F., Pardo S., Lelieveld J. Gas/aerosol partitioning. 1. A computationally efficient model // *J. Geophys. Res*. V. 107. – 2002, № D16. – P. ACH16/1–ACH16/24.
- [27] Metzger S., Dentener F., Krol M., Jenken A., Lelieveld J. Gas/aerosol partitioning. 2. Global modeling results // *J. Geophys. Res*. V. 107. – 2002, № D16. – P. ACH17/1–ACH17/23.
- [28] Moritz R.E., Bitz C.M., Steig E.J. Dynamics of recent climate change in the Arctic // *Sci*. – 2002, v. 297. – P. 1497–1502.
- [29] Narukawa M., Kawamura K., Hatsushika H., Yamazaki K., Li S.-M., Bottenheim J.W., Anlauf K.G. Measurement of halogenated dicarboxylic acids in the Arctic aerosols at polar sunrise // *J. Atmos. Chem*. – 2003, v. 44/ – P. 323–335.
- [30] Oreopoulos L., Marshak A., Cahalan R.F. Consistency of ARESE II cloud absorption estimates and sampling issues // *J. Geophys. Res*. V. 108. – 2003, № D1. – P. 13/1–13/16.
- [31] Quinn P.K., Miller T.L., Botes T.S., Ogren J.A., Andrews E., Shaw G.E. A 3-year record of simultaneously measured aerosol chemical and optical properties at Barrow, Alaska // *J. Geophys. Res*. V. 107. – 2002, № D11. – P. AAC8/1–AAC8/15.
- [32] Quinn P., Bates T. Comparison of regional aerosol chemical and optical properties from the European, Asian, and North American plumes // *IGACTiv Newsletter*. – 2003, № 28. – P. 24–30.
- [33] Shamir N.J., Veizer J. Celestial driver of Phanerozoic climate? // *GSA Today*. V. 13. – 2003, № 7. – P. 4–10.
- [34] Stratospheric Processes and their Role in Climate (SPARC). A Project of the WMO/ICSU/IOC World Climate Research Programme (WCRP). SPARC Assessment of Stratospheric Aerosol Properties. Febr. 2006. WCRP-124, WMO/TD № 1295, SPARC Report № 4. – 322 pp.