

Региональная неоднородность климатических изменений

Н.М. Астафьева, М.Д. Раев, Н.Ю. Комарова

*Институт космических исследований РАН
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: ast@iki.rssi.ru*

Для эмпирической диагностики климата фундаментальную роль играют данные наблюдений: надежность их получения и адекватность интерпретации результатов анализа. Обычно глобальные климатические тренды, на основании которых делаются выводы об изменениях климата и о глобальном потеплении, выявляются при исследовании временного хода среднеглобальных значений геофизических параметров, глобальных и полушарных рядов Джонса приземной температуры воздуха, в частности. Однако последние исследования показывают, что многие геофизические параметры характеризуются большой региональной изменчивостью (реанализы Cullather RJ, Bromwich D, Serreze M. 2000. *Climatologie*. V5. и Гидрометеоцентра). Так, например, подъем температуры в течение последней четверти прошлого столетия был далеко не одинаково выраженным на континентах Северного полушария: Европа и Азия потеплели гораздо менее заметно, чем Африка и Америка. Такая же неоднородность обнаружена и в Мировом океане: в Атлантике и Индийском океанах наблюдались заметные положительные тренды, в Арктике — почти полное их отсутствие. В то же время, в некоторых регионах Южного полушария и в Антарктике наблюдалось даже небольшое круглогодичное похолодание. Пространственно-временная структура полей геофизических параметров (приземной температуры, в частности) характеризуется значительной неоднородностью, особенно во внетропических широтах. В этой связи особую значимость среди прочих приобретает изучение данных наблюдений в виде пространственно-временных полей. По вполне понятным причинам, пригодные для комплексного анализа данные в виде полей в достаточном объеме и с необходимым пространственно-временным разрешением охватывают лишь несколько последних десятилетий. Однако и за это время накоплено значительное количество спутниковой информации, ожидающей адекватного анализа. Региональные климаты формируют изменчивость глобального климата. Роль ИК- и СВЧ-радиометрических спутниковых наблюдений за изменениями геофизических полей регионального и глобального масштаба является основной.

Работа выполнена при поддержке ГРАНТа РФФИ 06-05-64276-а.

Введение

22 столетия назад древний грек из Никеи по имени Гиппарх (190–120 гг., II век до н.э.) использовал термин *клима* в его изначальном смысле — наклон — для обозначения природных условий на планете. Он описал пять климатических зон, природные условия в которых определяются лишь наклоном солнечных лучей к поверхности Земли. Гиппарх был гениальным астрономом, представляется уместным перечислить хотя бы некоторые его достижения. Он разработал теорию и составил таблицы движения Солнца и Луны, а также каталог положений 850 звезд, ввел их разделение по блеску на 6 величин, открыл явление прецессии, определил наклон экватора к плоскости эклиптики с ошибкой всего в 5 минут. Наконец, именно Гиппарх ввел географические координаты, которыми мы пользуемся до сих пор — широту и долготу. И он же выделил основной физической фактор, определяющий характер природных условий — наклон солнечных лучей к поверхности Земли.

Со времен Гиппарха прошло 22 столетия. Во второй половине XVIII века произошел бурный всплеск интереса к климатическим проблемам, скорее даже к проблемам погоды. Люди стали больше перемещаться по морям и земле, к тому же появился и начал широко использоваться телеграф. В 1872 в Лейпциге было созвано совещание об унификации метеонаблюдений и обмене метеосводками по телеграфу; основными метеоэлементами признаны температура, давление, скорость, осадки у поверхности. Была учреждена международная метеорологическая организация и несколько научных журналов, благополучно здравствующих до сих пор: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* (1873) в Лондоне, *Monthly Weather Review* (1873) в Вашингтоне и

Метеорологический вестник (1891) в России, переименованный в Метеорологию и гидрологию в 1935 году.

В последующие 100 лет интерес к погоде и климату только усиливался. Появились корабли погоды, буйковые станции, множество метеостанций: на 1 января 1973 года только в СССР работали 4000 метеостанций и 7500 наблюдательных метеопостов. По всему миру их было гораздо больше. На конгрессе метеорологов в Варшаве (1935) был утвержден реперный ряд и все сопоставления изменений климата рекомендовалось делать, опираясь на данные наблюдений за 30 лет. Осмысление накопленных данных наблюдений принесло свои плоды и на совещании в 1974 году в Стокгольме были выработаны определения погоды и климата. Погода — мгновенное состояние атмосферы. Климат — статистический ансамбль состояний, проходимых системой А-О-С (атмосфера – океан – суша) за периоды времени 30 лет (позже — за время сравнимое с периодом жизни человека [1]).

В последней четверти прошлого века появились серии метеорологических спутников с комплексами оптической аппаратуры, многоканальных СВЧ- и ИК-радиометров. Мощная вычислительная техника, предоставила новые возможности для численного моделирования процессов в системе океан – атмосфера и анализа данных наблюдений. Неизмеримо выросли возможности приборов и средств наблюдения.

К началу нашего века мы подошли с выработанными определениями погоды и климата и с осознанием почти неохватной широты проблемы, поскольку климат Земли формируется в открытой системе взаимосвязанных геосфер планеты. Компонентами климатической системы признаны атмосфера (вся), океан, поверхность суши, криосфера и процессы обмена теплом, моментом и веществом (влажностью особенно) между ними[1 – 3].

Пространственно-временные изменения климатических параметров

Вследствие того, что климатическая система Земли формируется в и под воздействием открытой системы взаимосвязанных геосфер планеты (это атмо-, океано-, крио-, лито- и антропо- сферы, поверхность континентов (гидро- и биосфера), а теперь уже и антропосфера, а также внешние факторы — астрономические, гелео- и геофизические), спектр колебаний системы простирается от сотен миллионов лет¹, сотен и десятков тысяч лет² до между- и внутригодовой изменчивости. На рис. 1 показана цикличность периодов потепления и похолодания климата ~100 и ~40 тыс. лет по кернам с Антарктической станции Восток, с Купола С (EPICA) и морских донных осадков.

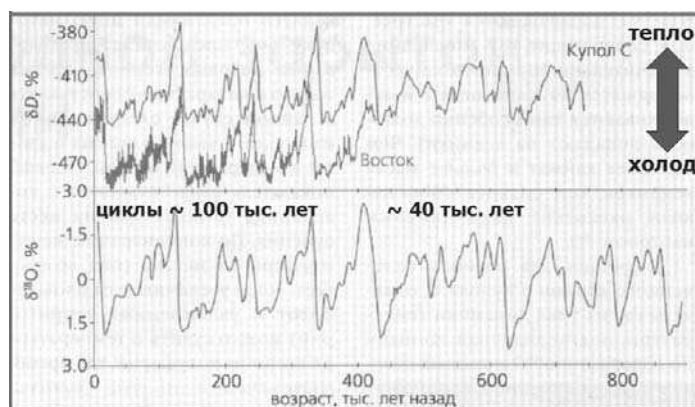


Рис. 1. Вверху — относительное содержание дейтерия δD во льду Антарктиды по данным кернов со станции Восток и с Купола С (EPICA). Внизу — динамика относительного содержания изотопа кислорода $\delta^{18}O$ в морских донных осадках. *Nature*. 1999. V.399. 2004. V.429. *Природа*. 2004. №8, №11

¹ цикличность ледниковых периодов на геологических масштабах ~150 млн. лет

² циклы инсоляции Миланковича ~100, ~41, ~26 и ~22 тыс. лет, связанные с естественными вариациями параметров орбиты Земли

Спектр климатических изменений очень широк — от сотен тысяч лет до междугодовых. На рис. 2 в качестве примера представлен спектр колебаний температуры воздуха в Северо-Атлантическом секторе земного шара, построенный по различным данным о температуре воздуха в Англии, Исландии и Гренландии.

Долговременные изменения одного из климатических параметров, объема льда, за последние 500 тыс. лет [4] показывают колебания климата на фоне квазицикличности больших ледниковых периодов с характерным масштабом 100–120 тыс. лет (рис. 3, сверху). Красной звездочкой помечено наше положение на этой кривой, синей отмечен последний ледниковый период — тот, в который попали древние люди. Мы еще только выходим из последнего периода большого оледенения и не достигли бывалых максимумов температуры. Малый ледниковый период накрыл Европу в XV–XVI веках [5]. До него, в X веке в Британии выращивали виноград (помечено красной звездочкой на средней части рис. 3), а Гренландия вполне оправдывала свое название, когда суда викингов заходили туда за продовольствием (помечено зеленой звездочкой). В XV веке наступило похолодание и сейчас 1000-метровым слоем льда покрыто 4/5 зеленого в прошлом острова Гренландия. Это похолодание коснулось в те далекие времена и России — так, например, в русских летописях упоминается, что в 1467 году январь был такой холодный, что много людей умерло на дорогах в Москве и других городах, 5 мая выпал снег в полголена и лежал 3 дня, 2 июня был мороз; в 1496 году зима была очень суровая и снежная, а весной в Москве произошло небывало сильное наводнение; в 1601 году вода в Москве-реке замерзла в августе, 21 числа.

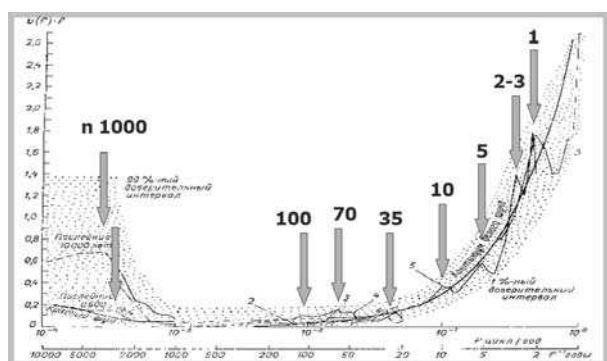


Рис. 2. Спектр колебаний температуры воздуха в Северо-Атлантическом секторе земного шара: 1, 2 и 5 — центральная Англия, ботанические данные и исторические свидетельства и инструментальные данные, соответственно; 3 — Исландия, исторические свидетельства; 4 — Гренландия, данные по относительно содержанию $\delta^{18}O$

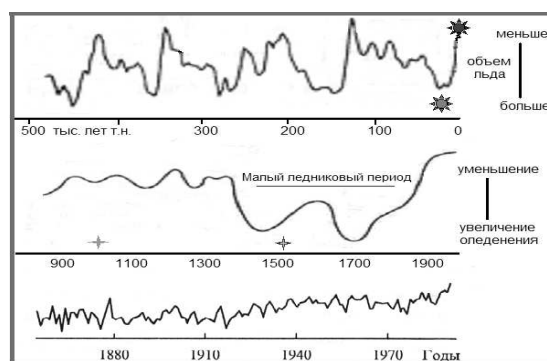


Рис. 3. Изменения климата на разных временных масштабах (сверху вниз): отношение изотопов в отложениях планктона, соответствующих объемам льда на земном шаре, 500 тысяч лет [4]; характер зим в восточной Европе, последняя 1000 лет [5]; приземная температура воздуха в Северном полушарии, 100 лет [6]

Достаточно заметные колебания климата происходят и на меньших временных масштабах, порядка нескольких десятилетий (70 – 80 летние циклы, например). Так в 30-х годах прошлого XX века поверхностная температура воздуха повышалась. В 1925 году температура января повсеместно по России оказалась выше положенной на 4 – 7°C. Заметно теплела, в частности, Арктика — вспомним хорошо известную историю спасения папанинцев с тающей льдины. В те годы происходило активное освоение северного морского пути, строились многочисленные ледоколы, предполагалось, что перевозки по северному морскому пути станут регулярными и рутинными. Однако климатическая система разрушила эти планы — в 40-х годах опять началось похолодание и всю последующую четверть века среднегодовая температура атмосферы понижалась [6]. Тогда

писали, что дальнейшее похолодание скажется на всем комплексе человеческой деятельности на Земле, что при уменьшении средней температуры на 4°C может наступить новый ледниковый период. Прошло не так уж много времени и просвещенное человечество снова в панике, но теперь уже по поводу глобального потепления. Россия, как обычно, впереди планеты всей: в разных регионах температура растет по-разному, но у нас быстрее (около градуса за последние 3 десятилетия, поскольку в зоне Сибирского максимума теплеет почти в 4 раза быстрее, чем в других регионах). Сток сибирских рек растет, Арктика теплеет, многолетние льды сокращаются и появляются сезонные. После предыдущего этапа освоения Арктики прошло немногим более 7 десятилетий. По-видимому, опять пришло время возродить северный морской путь.

Колебания климатической системы на примере процессов тропической зоны системы океан – атмосфера

Хорошими индикаторами изменений климата считаются крупномасштабные термодинамические взаимодействия тропической зоны системы океан – атмосфера такие, например, как термодинамический процесс глобального масштаба Южное колебание — Эль–Ниньо (ЮКЭН) и глобальный тропический циклогенез. Южное Колебание — крупномасштабный атмосферный процесс, развивающийся над акваторией Тихого океана, и тесно связанный с явлением Эль–Ниньо — резким потеплением океанических вод вблизи тихоокеанского побережья Центральной Америки. События Эль–Ниньо влияют на погоду не только тропических, но и внетропических умеренных широт. Южное Колебание — аномалия приземного атмосферного давления вдоль тропической зоны. Это одновременное колебание давления, температуры и осадков над восточными и западными частями Тихого океана; основным ее проявлением считается изменение разности давления между Южно–Тихоокеанским антициклоном и областью низкого давления, простирающейся над Индонезией и Северной Австралией. Вблизи центров действия Южного Колебания противоположного знака находятся станции на острове Таити ($17^{\circ}\text{ю.ш.}, 150^{\circ}\text{з.д.}$) и в городе Дарвин ($12^{\circ}\text{ю.ш.}, 150^{\circ}\text{в.д.}$) в Австралии. Одной из характеристик процесса ЮКЭН является индекс Южного Колебания — нормированная разность атмосферного давления, измеряемого на станциях Таити и Дарвин. Событиям Эль–Ниньо соответствуют отрицательные значения индекса Южного Колебания, другой стадии явления, Ла–Нинья, соответствуют положительные значения индекса. На рис. 4 (слева) представлены график значений индекса Южного Колебания за последние 130 лет (стрелками показаны интенсивные явления Эль–Ниньо) и вейвлет – спектры мощности.

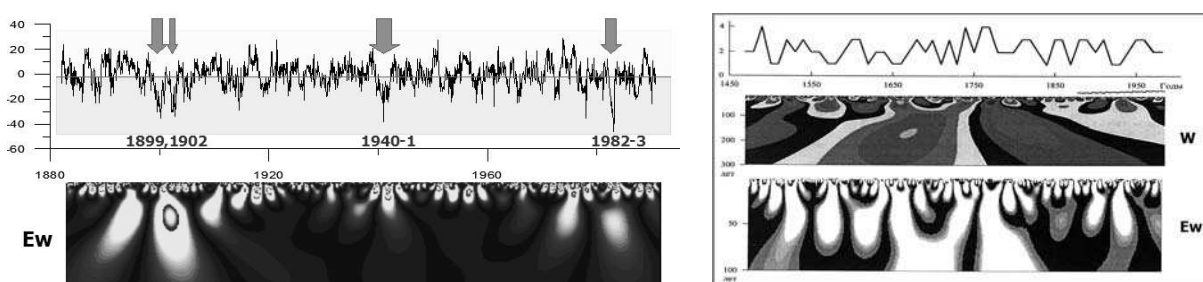


Рис. 4. Изменение значений индекса Южного Колебания за последние 130 лет и вейвлет – спектры мощности (слева). На рисунке справа: ряд событий Эль–Ниньо за последние 500 лет, картина коэффициентов вейвлет – преобразования и вейвлет – спектры мощности

Исследования показали, что ЮКЭН может оказывать крупномасштабное воздействие на климат умеренных широт, которое проявляется даже в результате длительного временного осреднения. Обнаружена связь Эль–Ниньо с усилением Алеутского минимума, циркуляцией западных ветров и осадками умеренных широт. Последствия явления Эль–Ниньо в умеренных широтах сильно меняются от случая к случаю: в основном вследствие существенной нелинейности откли-

ка общей циркуляции атмосферы умеренных широт на аномалии температуры поверхности океана (тропические и внетропические), в то время как отклик тропической атмосферы с достаточно хорошей точностью аппроксимируется линейной динамикой.

Существуют многочисленные попытки реконструкции истории ЮКЭН по свидетельствам о засухах, наводнениях, состоянии снега на горных вершинах и другим косвенным признакам. Среднегодовые данные о частоте событий Эль-Ниньо за последние 500 лет (рис.4, справа) основаны на свидетельствах о тайфунах в Южном Китае, холодных зимах в Восточной Азии, засухах в Австралии, наводнениях на Ниле и в Перу, которые могли иметь связь с Эль-Ниньо [7]. События происходят крайне нерегулярно, в среднем раз в 4 – 4,5 года (с разбросом от 2 до 10 лет). В результате применения вейвлет-преобразования к современной истории ЮКЭН и реконструированным данным [8, 9] обнаружены, в частности, локальные периодичности событий Эль-Ниньо с масштабом около 35–40 лет, который может быть связан с 70–80-летним циклом событий Эль-Ниньо (он хорошо виден на рис. 4). Отметим, что близкий к 70-летнему масштаб хорошо заметен также и в рядах долговременных изменений поверхностной температуры воздуха (и в периодичности, с которой становится судоходным северный морской путь).

Интенсивность и частота явлений Эль-Ниньо иногда ассоциируется с эпохами повышения и понижения глобальной температуры воздуха, потеплением климата [10]. В прошлом веке наиболее интенсивными и продолжительными (и катастрофическими по своим последствиям) были явления Эль-Ниньо, произошедшие в 1899–1902, 1940–1941 и 1982–1983 гг. Красной линией на графике, соответствующем реконструированным данным (рис. 4 справа), отмечена часть ряда, соответствующая современным инструментальным наблюдениям. При сравнении с 500-летними данными легко видеть, что интенсивнейшие за последнее столетие явления Эль-Ниньо являются вполне ординарными событиями на фоне более ранних явлений Эль-Ниньо. Прямой связи с периодами повышения и понижения глобальной температуры воздуха не обнаружено. Замечена хорошая корреляция с числами Вольфа, но не с 11-летним циклом (который обычно используется для поиска связей с солнечной активностью), а с его крупномасштабной модуляцией, причем с задержкой порядка 40 лет. Эту задержку можно объяснить инерционностью океана, далеко не сразу, в отличие от суши, отдающего атмосфере тепло, большую часть которого он получает от Солнца в тропической зоне.

Влияние Эль-Ниньо на атмосферную ситуацию над акваторией Тихого океана по данным микроволнового спутникового мониторинга

Используются данные спутникового мониторинга в рамках программы DMSP (Defense Meteorological Satellite Program <http://dmsp.ngdc.noaa.gov/dmsp.html>), на основе которых сформирована электронная коллекция GLOBAL-Field [11] глобальных радиотепловых полей Земли (в микроволновом диапазоне) с регулярностью 2 поля в сутки и плотностью покрытия $0,5 \times 0,5^\circ$ по поверхности (<http://www.iki.rssi.ru/asp/>). Это делает их пригодными для анализа глобальных и региональных процессов в атмосфере в широком диапазоне временных масштабов — от синоптических до внутри- и междугодовых.

Исследовались региональные особенности во временной динамике атмосферных процессов над акваториями Атлантического и Тихого океанов. Проведен вейвлет- и корреляционный анализ радиояркостной температуры на частотах 19, 22 и 85 ГГц, адекватно отражающих динамику дождевых облачных систем, а также распределение влаго- и водозапаса атмосферы над Мировым океаном. Обнаружены региональные особенности во временной динамике процессов в основных центрах действия над акваториями Атлантического и Тихого океанов. Региональные отличия существуют и на междугодовых масштабах изменений (в характере квази-двухлетней цикличности, например) и на синоптических. Характерные детали в вейвлет-спектрах свидетельствуют об элементах нелинейного и хаотического поведения, но выделенный синоптический масштаб изменений в рассмотренных областях различен. Изменение радиояркостной температуры в двух облас-

тах на широте Северного тропика (Тихий океан) содержит годовую компоненту колебаний. Она более слабая и менее регулярная в зоне действия Гавайского центра действия, но усиливается при продвижении на запад; квази-двухлетняя цикличность также становится более выраженной.

Сравнение структуры междугодовых изменений над разными акваториями МО показало наличие квази-двухлетних колебаний в атмосфере над Атлантикой и Тихим океаном. Четырех – пятилетние колебания более характерны для атмосферы над Тихим океаном. Междугодовая динамика отражает основные особенности общей циркуляции атмосферы, в частности, такие известные квазистационарные атмосферные колебания, как Арктическая осцилляция и Северо-Атлантическое колебание (NAO). Причиной выявленных квази-четырёхлетних колебаний над акваторией Тихого океана может быть явление Эль-Ниньо.

На рис. 5 в качестве примера приведены некоторые результаты. Показан фрагмент радиотеплового поля с выделенными в акватории Тихого океана областями. В правой части рисунка для этих областей представлены графики изменения яркостной температуры и картины коэффициентов вейвлет-преобразования. Проявления Эль-Ниньо 1997 года ярко выражены почти во всей экваториальной зоне и усиливаются при продвижении с востока на запад (области 1 – 2). Четырёх-пятилетние колебания наиболее интенсивны вблизи 180-ого градуса долготы и становятся менее ярко выраженными при дальнейшем продвижении на запад. Они практически незаметны на фоне интенсивной циклонической деятельности в западной части Тихого океана (область 4). Здесь доминируют квази-двухлетние колебания.

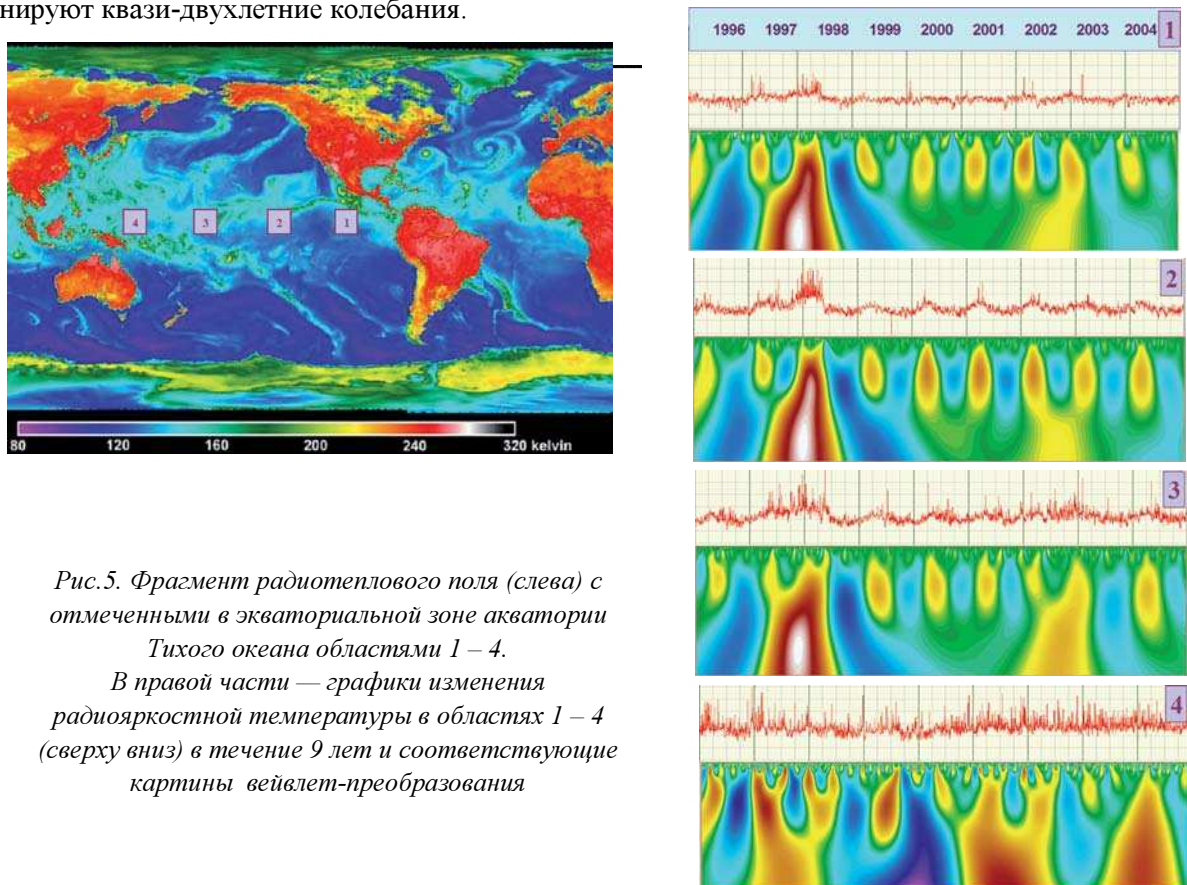


Рис.5. Фрагмент радиотеплового поля (слева) с отмеченными в экваториальной зоне акватории Тихого океана областями 1 – 4.

В правой части — графики изменения радиояркостной температуры в областях 1 – 4 (сверху вниз) в течение 9 лет и соответствующие картины вейвлет-преобразования

Ранее было показано [12], что события Эль-Ниньо влияют на погоду не только тропических, но и внетропических умеренных широт. Так наиболее интенсивные явления Эль-Ниньо, произошедшие в сороковых и восьмидесятих годах прошлого века заметно повлияли на изменение температуры поверхностного воздуха в Петербурге (60°с.ш., 30°в.д.). С продвижением вглубь территории страны, на восток климат становится все более континентальным. Влияние событий Эль-Ниньо заметно ослабевает в Оренбурге (52°с.ш., 56°в.д.) и практически исчезает в Иркутске (52°с.ш., 104°в.д.). Особенно хорошо это заметно на примере сильнейшего Эль-Ниньо 1940-х го-

дов. Распределенная по масштабам функция корреляции подтверждает тенденцию.

Региональные изменения климатических параметров

Климатическая система глобальна, но обладает заметными пространственными неоднородностями разных масштабов, которые меняются со временем с типичными периодами — внешними (астрономически обусловленными) и внутренними (периоды возможных автоколебаний системы).

На рис. 6 представлена серия графиков изменения приземной температуры воздуха за последние два десятилетия, 1979–1999 гг., прошлого века в разных регионах земного шара (Реанализы Cullather RJ, Bromwich D, Serreze M. 2000. *Climatologie*. V5. и Гидрометеоцентра РФ). В левой колонке показано изменение температуры воздуха над акваториями Мирового океана; в средней колонке — полушарная температура (с.п.) и отдельно для суши и океанов Северного полушария; в правой колонке — температура воздуха над континентами Земли.

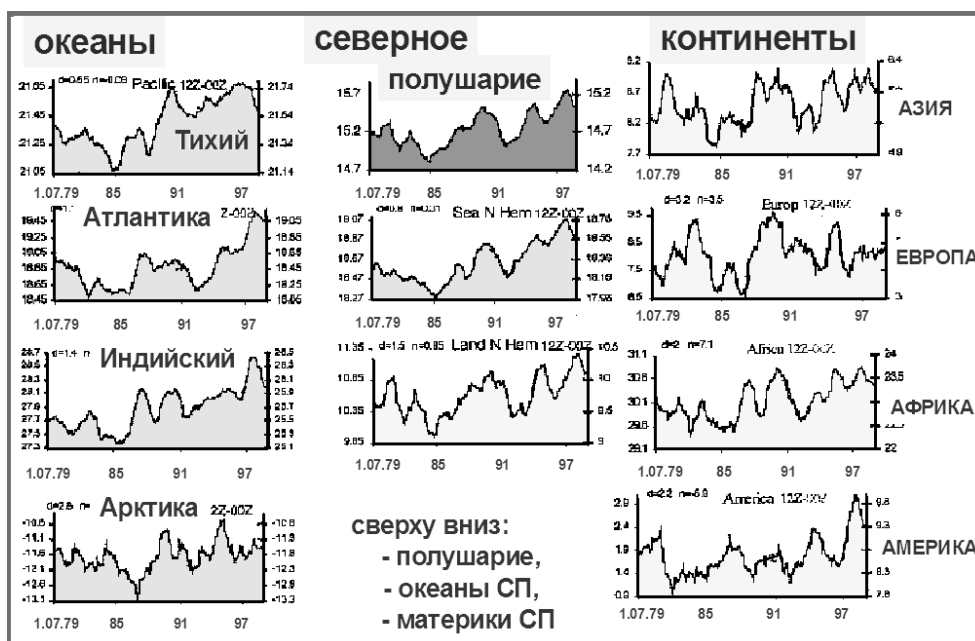


Рис. 6. Междугодовая изменчивость приземной температуры воздуха Северного полушария (центр), океанов (слева) и континентов (справа) в 1979 – 1999 гг. Реанализы Cullather RJ, Bromwich D, Serreze M. 2000. *Climatologie*. V5. и Гидрометеоцентра РФ

Междугодовая изменчивость приземной температуры воздуха существенно отличается в разных регионах Земли. Так, например, на континентах Северного полушария подъем температуры в течение последней четверти прошлого столетия был далеко не одинаково выраженным: Европа и Азия потеплели гораздо менее заметно, чем Африка и Америка. Такая же неоднородность обнаружена и в Мировом океане: в Атлантике и Индийском океане наблюдались заметные положительные тренды, в Арктике можно видеть почти полное их отсутствие. В то же время, в некоторых регионах Южного полушария и в Антарктике наблюдалось даже небольшое круглогодичное похолодание.

На рис. 7 показана 365-дневная скользящая средняя приземная температура в Северном полушарии (Гидрометеоцентр РФ). Подъем температуры, хорошо выраженный в 1998 – 99 годах после 1999 года приостановился. Изменения температуры в разных регионах Земли, представленные на рис. 6 и рис. 7, показывают, что нельзя делать категорические выводы о климатических

изменениях, климатических трендах, основываясь на глобальных или полушарных значениях приземной температуры воздуха (глобальных или полушарных рядах Джонса).

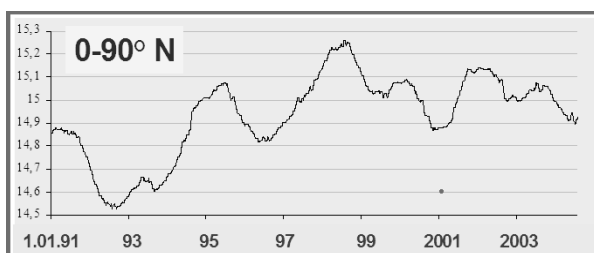


Рис. 7. 365-дневная скользящая средняя приземная температура воздуха в Северном полушарии по данным Гидрометеоцентра РФ

Заключение

Климатическая система планеты Земля — наша среда обитания и последствия резких изменений климата могут оказаться катастрофическими для нас. Поэтому вполне понятно то беспокойство, которое проявляют люди, оказывающиеся перед угрозой, настоящей или кажущейся, таких изменений. В разное время подробно обсуждались и обсуждаются такие проблемы как: «антропогенное» потепление начала прошлого века и период освоения северного морского пути в 30-х годах; похолодание 40-х годов прошлого века, окончившееся не новым ледниковым периодом, а потеплением; высотные полеты сверхзвуковых транспортных самолетов и проблема увеличения озонных дыр, которые уже начинают затягиваться; парниковые газы, глобальное потепление и требования снижения темпов развития промышленности; Каспийское море, которое обмелело так, что всерьез рассматривалась задача переброски северных рек, и которое теперь входит в свои старые берега и подтопляет окрестности.

Можно, по-видимому, еще найти подобные примеры — примеры проявления в некотором роде антропоцентризма. Потому что взгляд на проблему изменчивости климата с точки зрения истории человечества кардинально отличается от взгляда на ту же проблему с точки зрения геологического времени. Масштаб меняется и оказывается, что история с Каспийским морем или озонными дырами, например, повторялась неоднократно. Представляется уместным привести цитату: «Существует опасность, что сделанные в спешке попытки предугадать климатические перемены приведут к преждевременным мерам по «усовершенствованию» или контролю климата» (Х. Лэмб, Британская метеорологическая служба).

Климатическая система Земли глобальна; она хорошо сбалансирована и в то же время достаточно подвижна. Вопрос о том, существует ли опасность катастрофического глобального потепления, следует разделить на несколько вопросов: есть ли (было ли) потепление, какова его интенсивность, насколько оно глобальное и каковы причины, к нему приведшие. Потепление безусловно есть (и происходило неоднократно в прошлом), однако, не такое катастрофическое, как это часто в последние годы представляется (скорее в политических, чем в научных целях). Климатическая система глобальна, но обладает пространственными неоднородностями разных масштабов, которые меняются со временем. Это относится и к проблемам потепления – похолодания климата: глобальный климат определяется подстраивающимися региональными климатами. Что же касается причин потепления, то оно определяется скорее природными факторами, чем антропогенным воздействием.

Эпохи потепления и похолодания климата постоянно сменяют друг друга. Причем одна и та же ситуация при рассмотрении на разных временных масштабах климатических изменений может оказаться эпохой потепления на масштабах десятилетних изменений, эпохой похолодания на столетних масштабах и иной — на масштабах тысячелетий. Если вернуться на точку зрения в масштабах геологического времени, то место и роль человечества покажутся подобными месту и роли маленькой мышки, ухватившейся за хвост слона, который к тому же мчится в огромном стаде. Способно ли человечество своей злойной промышленностью раскачать такую мощную, хорошо сбалансированную и в то же время достаточно подвижную и легко подстраивающуюся систе-

му, как наша климатическая? Ведь его воздействие меньше, чем укус комара на вашей руке. Однако, что произойдет, если «комар» окажется малярийным или еще более губительным? Можно предположить, что Земля благополучно сотрет нас со своего лица и начнет новую, несомненно, успешную игру с континентами и жизненными формами.

Человечество сжигает топливо (углекислый газ), ведет сельскохозяйственную деятельность (изменение ландшафта), разводит скот (метан) и уничтожает леса Амазонии. Можно, правда возразить, что основное количество углекислого газа поставляет все-таки биосфера океана, а основной источник метана — болота тропической зоны (пока не растает наша или канадская вечная мерзлота, потенциальная метановая бомба).

Потепление 30-х годов прошлого века его современники не могли объяснить естественными причинами и в то время считалось, что оно обусловлено антропогенным фактором. Сейчас современные модели полностью объясняют то потепление исключительно естественными факторами (солнечная активность, вулканическая деятельность и пр.). Нынешнее потепление отличается заметно большей скоростью роста температуры воздуха. Современные модели не могут объяснить современное потепление, идущее с такой скоростью, естественными факторами. Как и 7 – 8 десятилетий назад, делается вывод о единственно возможной причине этого. В то же время, есть физические факторы, которые могут влиять на изменения климата, но не учитываются в современных моделях (зарегистрированные изменения гравитационного и магнитного полей; изменения углового момента, причиной которых может быть выкачка углеводородов, в частности; некоторые неучитываемые элементы полярного тепло- и массопереноса в атмосфере и пр.). Возможно, через несколько лет появятся модели, которые помогут понять и смогут объяснить современные изменения климата.

Работа выполнена при поддержке ГРАНТа РФФИ 06-05-64276-а.

Литература

1. Монин А.С. Теоретические основы геофизической гидродинамики // Л.: Гидрометеиздат, 1988. 420 с.
2. Кондратьев К.Я. Глобальный климат // СПб.: Наука, 1992. 359 с.
3. Кондратьев К.Я. Глобальные изменения климата: данные наблюдений и результаты численного моделирования // Исследование Земли из космоса, 2004. № 2. С. 61–96.
4. Hays J.D., Imbrie J., Shackleton M.J. Variations in the earth's orbit; pacemaker of the ice ages // Science. 1976. V. 194. P. 1121–1132.
5. Lamb H.H. The Changing Climate: Selected Papers. Methuen, London. 1966.
6. Mitchell J.M.Jr. The changing climate. In: Energy and Climate, Studies in Geophysics. National Academy of Sciences. Washington DC. 1997.
7. Shaowu W. Reconstruction of the El-Nino event chronology for the last 600 year period // Acta Meteorologica Sinica. 1992. V. 6. № 1. P. 47–57.
8. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145–1170.
9. Астафьева Н.М. Анализ долговременной структуры индекса Южного Колебания и событий Эль-Ниньо // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 1997. Т. 33. № 6. С. 850–859.
10. Enfield D.B., Cids L. Low-frequency changes in El-Nino — Southern Oscillation // J. Climatology. 1991. V. 4. P. 1137–1146.
11. Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А. Глобальное радиотепловое поле системы океан – атмосфера по данным микроволновых космических комплексов // Исследование Земли из космоса, 2006. № 3. С. 64-69.
12. Астафьева Н.М., Раев М.Д., Комарова Н.Ю. Локализованный спектральный анализ в геофизике // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: GRANP polygraph, 2005. Т. 1. С. 77-87.