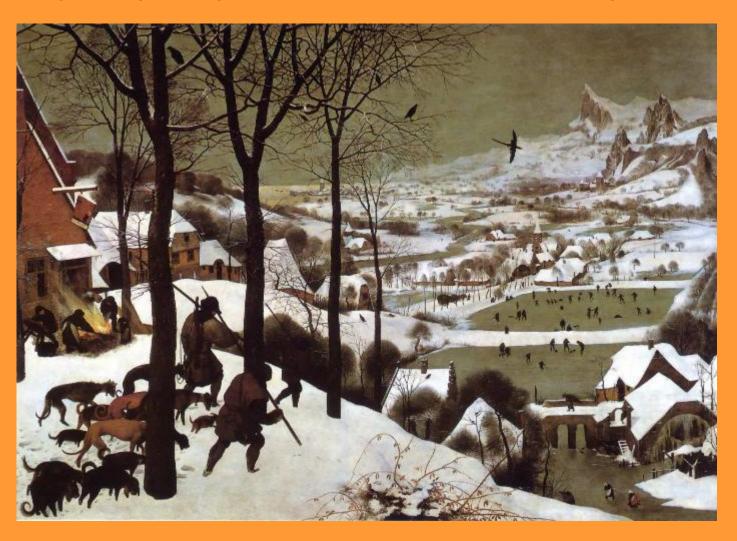


Глобальные изменения климата — Кто виноват?

Лекцию читает
Илья Игоревич Любечанский,
Институт систематики
и экологии животных СО РАН

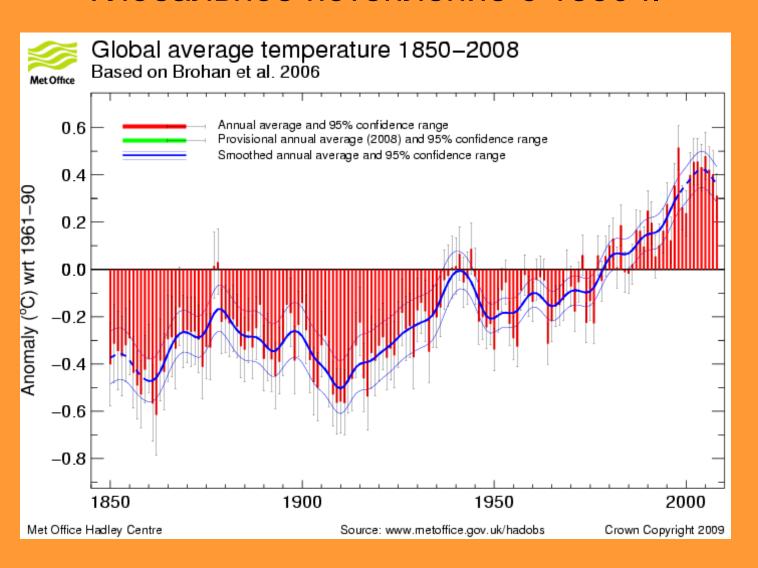
Питер Брейгель-старший. «Возвращение охотников». 1565. В Европе разгар «Малого ледникового периода».



Пальмы в Астрахани. Около 1400 г.



Глобальное потепление с 1850 г.



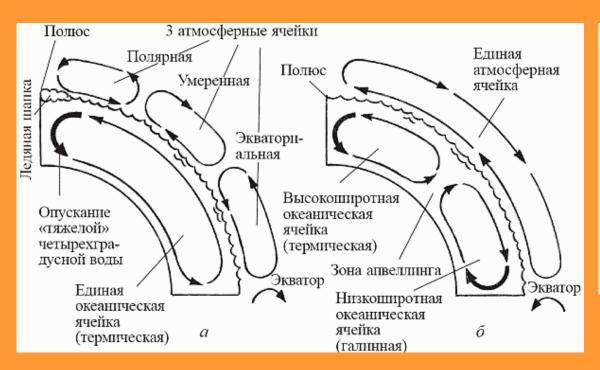
Факторы изменения климата

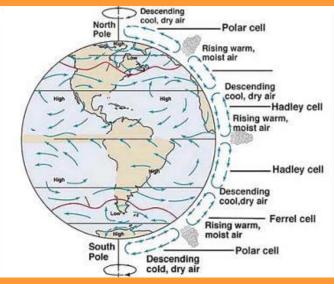
- изменение размеров, рельефа и взаимного расположения материков и океанов (десятки млн. лет),
- изменения параметров орбиты и оси Земли (десятки тысяч лет ледниковые периоды),
- изменение светимости солнца (11-летний солнечный цикл и др.),
- изменение прозрачности атмосферы и её состава в результате изменений вулканической активности Земли,
- изменение концентрации парниковых газов (CO2 и CH4) в атмосфере,
- изменение отражательной способности поверхности Земли (альбедо),
- изменение количества тепла, имеющегося в глубинах океана (циклы Эль-Ниньо Ла-Нинья, Северо-Атлантическая осцилляция; порядка 10 лет).

«Климатическая машина»:

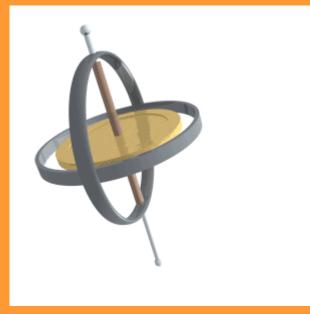
Схема циркуляции в атмосфере и гидросфере: а — криоэра (циркуляция в океанах термическая);

б — термоэра (циркуляция в океанах галинная)





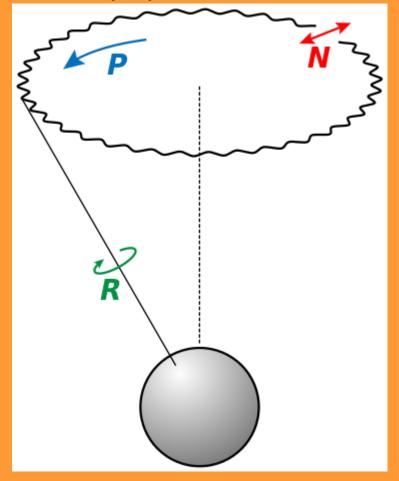
Вращение (R), прецессия (P) и нутация (N)



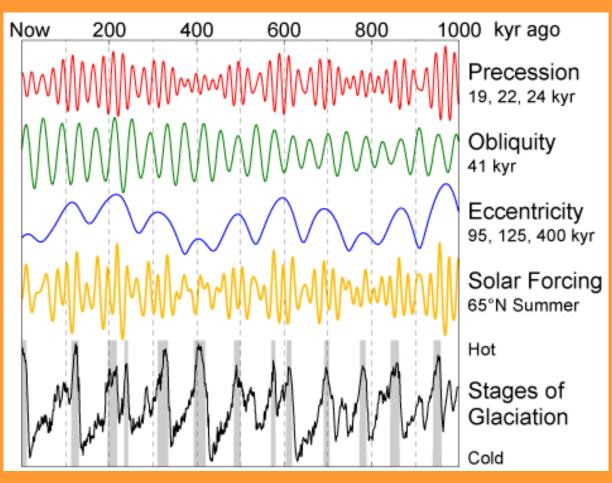
Полный цикл земной прецессии составляет около 26000 лет. Вековые колебания земной оси – 41000 лет Изменение земной орбиты

(эллипс – круг – эллипс под

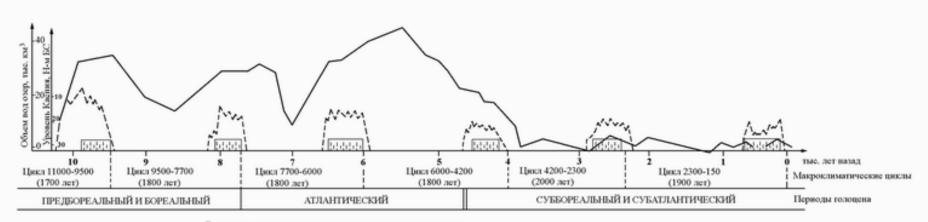
90 градусов) - 91000 лет



Циклы Миланковича – причина периодических оледенений Земли (kyr – тысяч лет)



Развитие макроклиматических циклов голоцена (Кривенко, 1990)



Развитие макроклиматических циклов голоцена.

- периоды похолодания по Н.В.Кинду (1976)

трансгрессии Каспия по Г.И.Рычагову (1977) и С.И.Варущенко и др. (1987)

 суммарное изменение объема вод главных бессточных озер мира в голоцене по сравнению с современным по С.И.Варущенко и др. (1987)

- граница плювиальной и субплювиальной эпох голоцена

Многовековые, вековые и внутривековые климатические циклы Евразии и прогноз их дальнейшего развития (Кривенко, 1990)

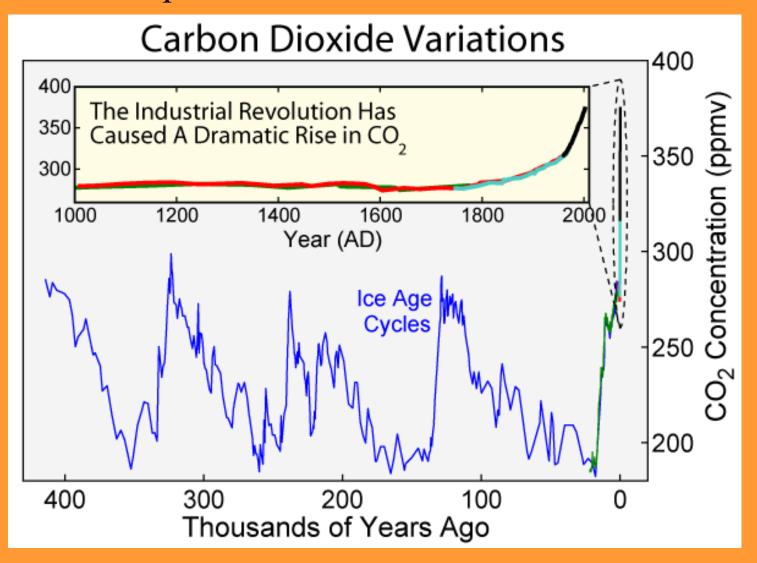


и прогноз их дальнейшего развития.

Крупные вулканические извержения снижают температуру планеты

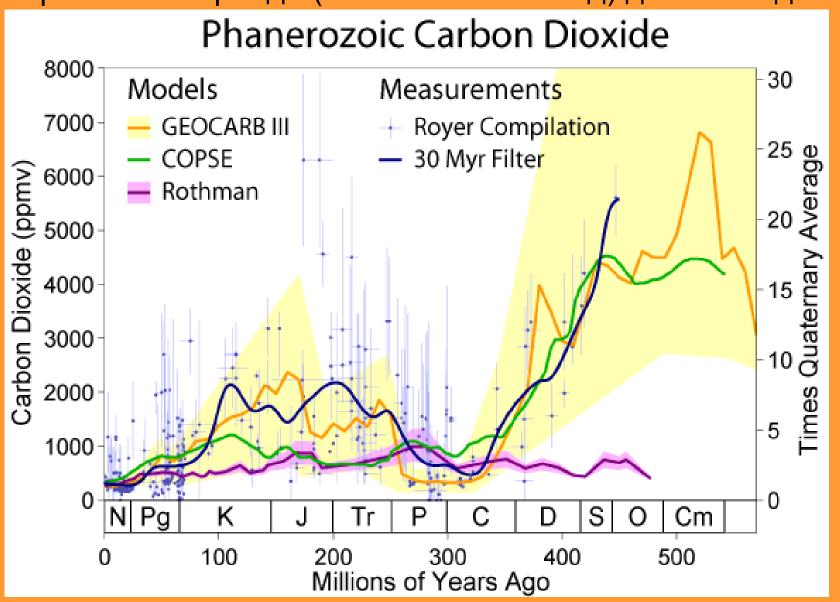
- извержение вулкана Тамбора в Индонезии в 1815 году вызвало заметное похолодание в Европе (-ΔT = 3⁰C), и подорожание зерна.
- Более мощное извержение индонезийского вулкана Кракатау в 1883 году тоже отозвалось по всей планете, но уже послабее – среднеглобальная температура упала лишь на 1,2°C.
- В 1968 г. похолодание после извержения вулкана Агунг в Мексике было едва заметным (-ΔT = 0,28⁰C).
- Извержение вулкана Пинатубо на Филиппинах в 1991 г. не вызвало заметного охлаждения вовсе.

Изменение концентрации углекислого газа в течение ледниковых периодов и «Хоккейная клюшка»

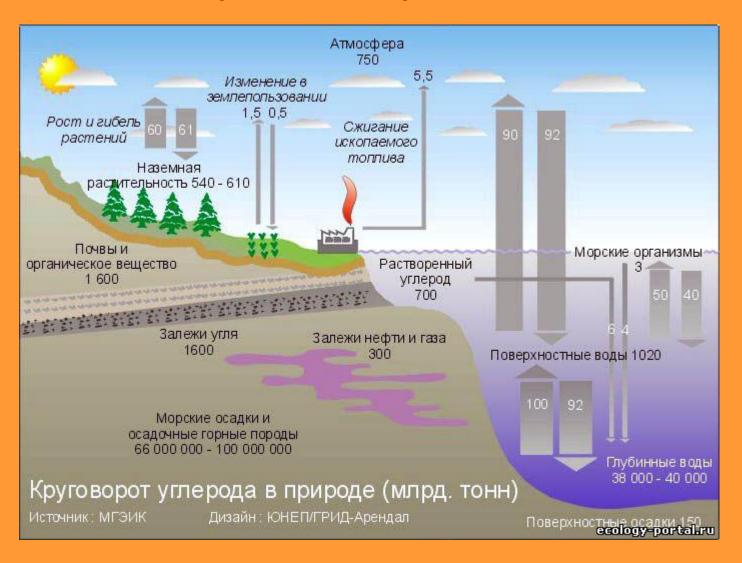


Изменение количества углекислого газа в атмосфере с

кембрийского периода (540 млн. лет назад) до наших дней



Круговорот углерода



- Практически вся текущая биомасса планеты около 2,4·10¹² тонн
- Большинство источников эмиссии CO_2 являются естественными. Перегнивание органического материала, такого как мертвые деревья и трава, приводит к ежегодному выделению 220 млрд тонн двуокиси углерода, земные океаны выделяют 330 млрд. В ходе индонезийских лесных и торфяных пожаров 1997 года было выделено 13–40 % от среднегодовой эмиссии CO_2 , получаемой в результате сжигания ископаемых топлив.
- Суммарное антропогенное выделение СО₂ не превосходит 8 % от его естественного годового цикла, наблюдается увеличение концентрации, обусловленное не только уровнем антропогенных выбросов, но и постоянным ростом уровня выбросов со временем.
- Современный вулканизм в среднем приводит к выделению 2·10⁸ тонн CO₂ в год, что составляет величину менее 1 % от антропогенной эмиссии.

Вклад различных газов в парниковый эффект

• Водяной пар

36 – 72 %

Диоксид углерода (CO2)
 9 – 26 %

Метан

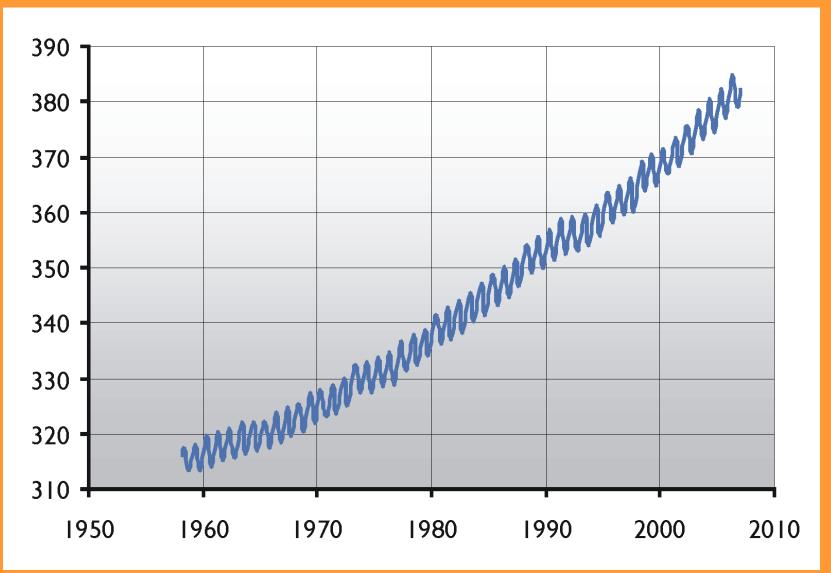
4 - 9 %

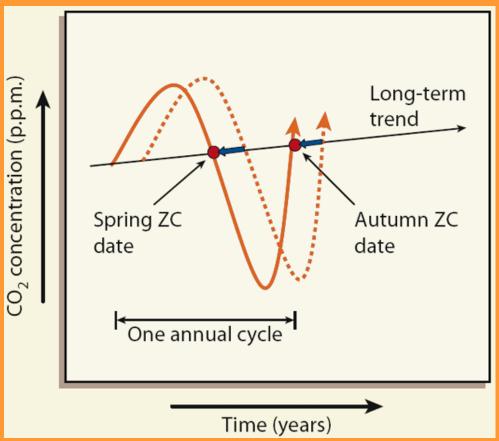
Озон

3 - 7 %



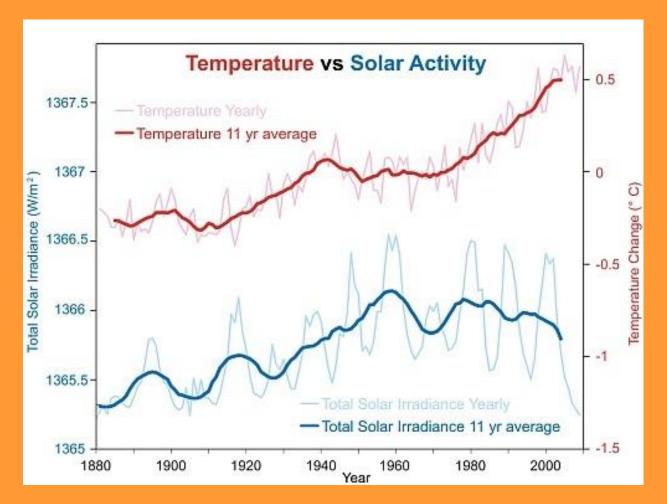
«График Килинга» - рост содержания углекислого газа в атмосфере (частей на 1 млн., ppm) по данным обсерватории Мауна-Лоа (Гавайи)



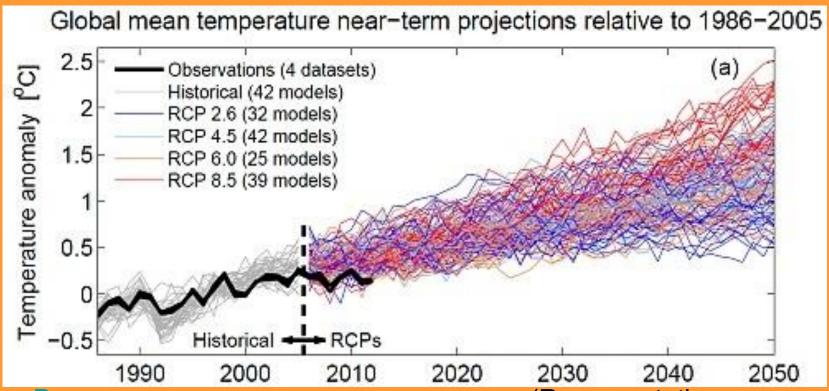


• Сезонные колебания содержания СО2 в атмосфере, наложенные на линию многолетнего тренда (изменение во времени слева направо). Показан один годовой цикл (one annual cycle). За последнее десятилетие вся кривая сместилась влево: фотосинтез начинает преобладать над дыханием всё раньше и раньше (сдвиг даты, обозначенной как «весеннее пересечение нулевой отметки» — Spring zero crossing date). Удивительно, что дата, соответствующая «осеннему пересечению нулевой отметки» (Autumn zero crossing date), также сместилась на более ранние сроки. В теплые дни осени дыхание возрастает особенно интенсивно и это сводит на нет результаты активного фотосинтеза весной.

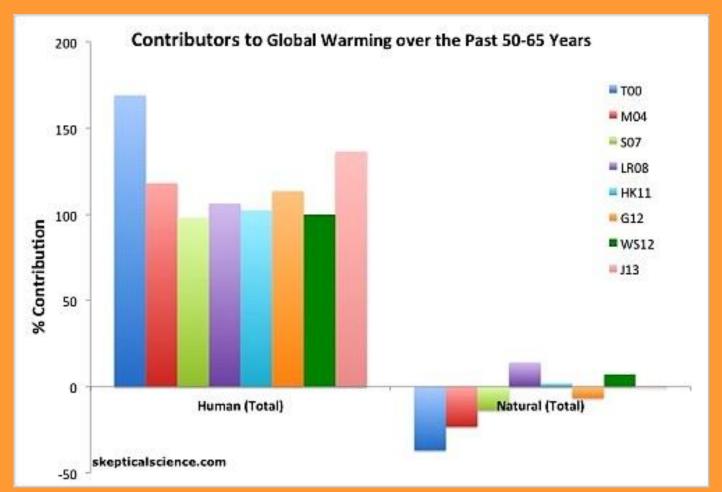
Рис. из статьи: Miller J.B. <u>Carbon cycle: Sources, sinks and seasons</u> // *Nature*. 2008. V. 451. P. 26–27



Ежегодные изменения среднемировой температуры (тонкая светлокрасная линия) и 11-летний средний показатель (толстая тёмно-красная линия), по данным NASA GISS. Общая годовая поверхностная плотность потока солнечного излучения (тонкая голубая линия) и 11-летний средний показатель (толстая синяя линия), по данным Krivova et al. (с 1880 по 1978 год) и PMOD (с 1979 по 2009 год).



«Репрезентативные пути концентрации» (Representative Concentration Pathways, RCPs). Их называют в зависимости от того, сколько дополнительной энергии уловят парниковые газы в 2100 году: 2,6 Вт/м² поверхности Земли, 4,5, 6,0 или 8,5. RCP8.5 — сценарий типа «всё по-старому» (выбросы продолжают расти с нынешней скоростью), остальные подразумевают снижение выбросов в различной степени. Два средних сценария различаются тем, что в одном концентрация парниковых газов стабилизируется до конца века, в другом — после.



• Вклад человеческой деятельности и естественных факторов в наблюдавшееся приповерхностное глобальное потепление последних 50–65 лет, по данным Tett et al. 2000 (Т00, синий), Meehl et al. 2004 (М04, красный), Stone et al. 2007 (S07, светло-зелёный), Lean and Rind 2008 (LR08, фиолетовый), Huber and Knutti 2011 (HK11, голубой), Gillett et al. 2012 (G12, оранжевый), Wigley and Santer 2012 (WS12, тёмно-зелёный) и Jones et al. 2013 (J12, розовый).

- 0,85 на столько градусов Цельсия суша и океаны Земли нагрелись с 1880 по 2012 год.
- 19 на столько сантиметров вырос уровень моря с 1901 по 2010 год.
- 40 на столько процентов выросла концентрация углекислого газа в атмосфере с 1750 по 2011 год.
- 90 столько процентов дополнительной энергии, поступившей в климатическую систему с 1971 по 2010 год, поглотили океаны.
- 30 000 000 000 столько тонн льда, по оценке, ежегодно терял в среднем Антарктический ледяной щит с 1992 по 2001 год.
- **34 000 000 000** столько тонн льда в тот же период ежегодно таяло в Гренландии.
- 147 000 000 000 столько тонн льда, по оценке, ежегодно терял в среднем Антарктический ледяной щит с 2002 по 2011 год.
- 215 000 000 000 столько тонн льда, по оценке, ежегодно терял в среднем Гренландский ледяной щит с 2002 по 2011 год.
- 275 000 000 000 столько тонн льда, по оценке, ежегодно теряли в среднем мировые ледники в период с 1993 по 2009 год.
- 1 339 000 000 000 столько тонн углекислого газа добавили атмосфере ископаемое топливо и производство цемента в 1750–2011 годах.
- **2 000 000 000 000** столько тонн углекислого газа попало в атмосферу в результате сжигания ископаемого топлива, производства цемента, вырубки лесов и расчистки земли в 1750–2011 годах.

- Изменения в природных сообществах
- 1. Массовое обесцвечивание и гибель кораллов, связанное с потеплением вод в тропической зоне.
- **2.** Увеличение частоты и мощи тропических циклонов, связанное с потеплением поверхностных вод.
- 3. Учащение приходов явления Эль-Ниньо массива тёплой воды, вытесняющей холодное Перуанское течение и связанное с временным «обращением» областей повышенного и пониженного давления в Тихом океане.
- 4. Появились сезонные колебания температуры и влажности (фактически зачатки «сухого периода» и «дождливого периода») в зоне экваториальных лесов в Африке и Южной Америке.
- 5. Практически исчезло охлаждающее действие мощных вулканических извержений.

- Изменения в природных сообществах
- 6. Направленные изменения ареалов ряда видов птиц в умеренной зоне северного полушария вместе со сдвигами широтных границ природных зон, объяснимые лишь на основе гомеостатической функции биоты и противодействия изменениям, связанным с выбросами парниковых газов и глобальным потеплением.
- 7. Сдвиг на более ранние сроки фенодат прилёта птиц, зацветания растений, начала брачной активности земноводных и т.п., особенно в арктических экосистемах.
- 8. Потепление сильней проявляется в высоких широтах, чем в низких; в северном полушарии, чем в южном, зимой, а не летом.
- 9. Прогрессирующее исчезновение льдов в высокой Арктике, также не показывающее периодичности вслед за температурой.
- 10. Прогрессирующее таяние вечной мерзлоты, выделение метана из метангидратов в дополнение к выделяемому из «кольца свалок» вокруг крупных городов, оттаивающих болот и при пищеварении разводимого скота.

Что будет, если растают все ледники? Европа



Что будет, если растают все ледники? Азия

